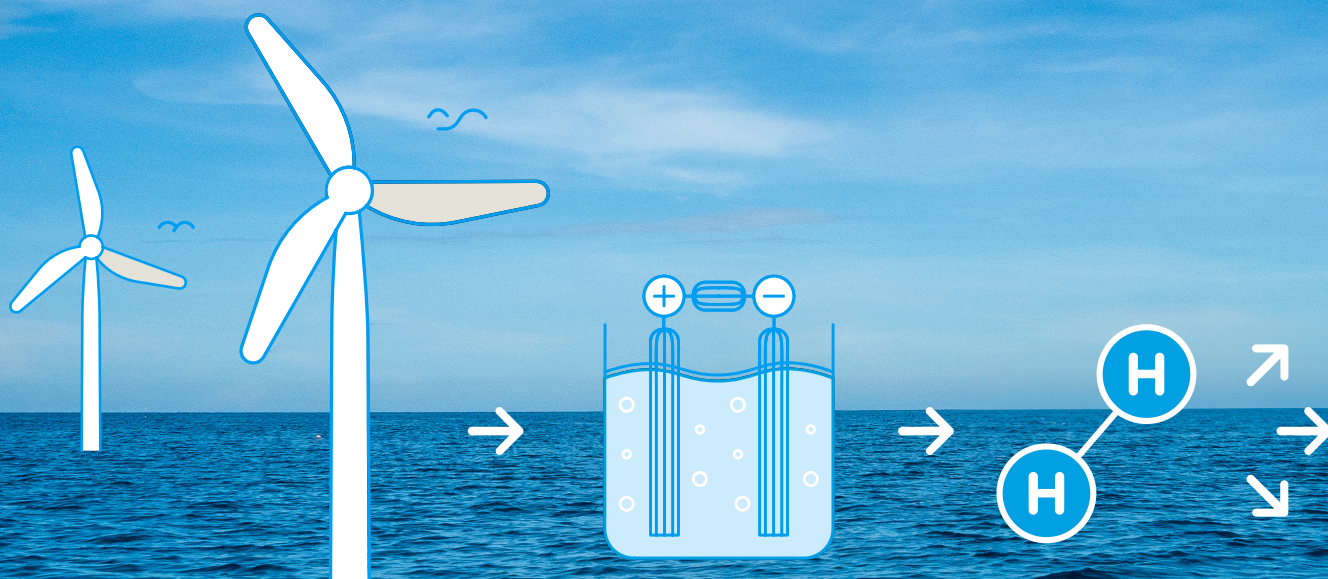


Analyse af potentielle miljøpåvirkninger ved PtX-anlæg på havet i Danmark

Energistyrelsen
August 2025

RAMBOLL

Bright ideas.
Sustainable change.

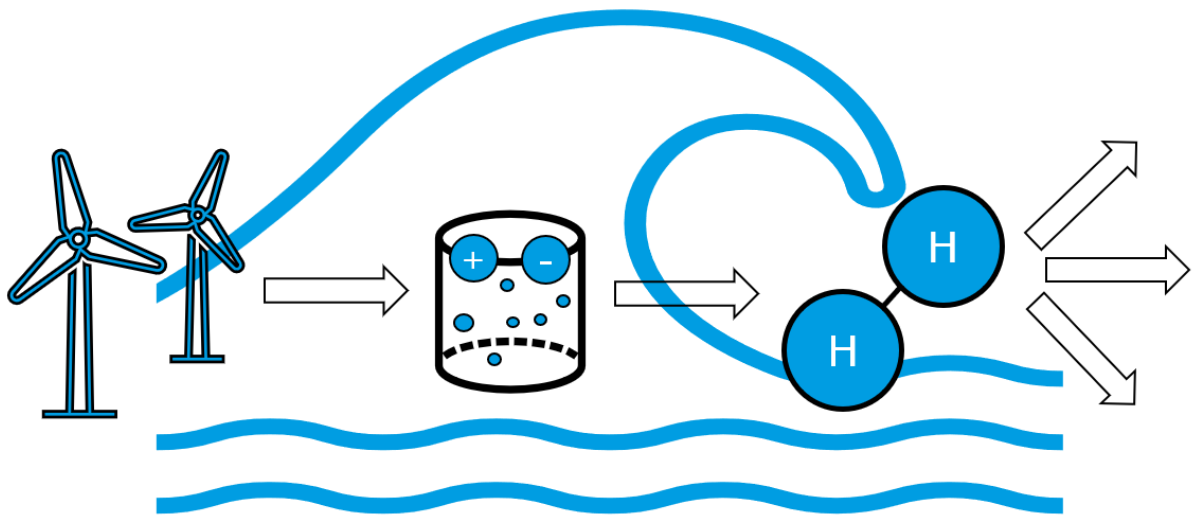


Til
Energistyrelsen

Dokumenttype
Rapport

Dato
August 2025

Analyse af potentielle miljø- påvirkninger ved PtX-anlæg på havet i Danmark



Analyse af potentielle miljøpåvirkninger ved PtX-anlæg på havet i Danmark

Projektnavn	Analyse af potentielle miljøpåvirkninger ved PtX-anlæg på havet i Danmark
Projektnr.	1100058936
Modtager	Energistyrelsen
Dokumenttype	Rapport
Version	5.0
Dato	19. Aug 2025
Udarbejdet af	TSDK, SSBH, SRK, ADN, JAK, JLSU, EKLN, SJN, OG, CMEH, MKMG, FRDE
Kontrolleret af	TSDK, SSBH, SRK, CMEH
Godkendt af	SRK

1.	Indledning	12
1.1	Læsevejledning	13
2.	Teknisk beskrivelse af PtX-anlæg	15
2.1	Introduktion	15
2.2	PtX-teknologien	16
2.3	Offshore PtX-anlæg	24
2.4	Udbygningskoncepter	35
2.5	Udledninger fra PtX-anlæg under drift	43
2.6	Udslip fra utilsigtede hændelser	46
2.7	Input til miljøanalysen	49
2.8	Forudsætninger anvendt ved de tekniske analyser	54
3.	Modellering af udledning af vand og biocid	55
3.1	Indledning	55
3.2	Strøm- og dybdeforhold i danske farvande	56
3.3	Forudsætninger for modellering af scenarier på udledninger fra PtX-anlæg	60
3.4	Resultater for scenarier på modelleret temperaturspredning	65
3.5	Resultater fra modellering af udslip af biocid	76
3.6	Opsamling på modellering	81
4.	Presfaktorer, receptorer og potentielle miljøpåvirkninger	83
4.1	Presfaktorer	83
4.2	Receptorer	89
4.3	Potentielle miljøpåvirkninger	91
5.	Fysiske begrænsninger på det danske havareal	164
5.1	Tekniske krav til anlæg og drift	164
5.2	Potentielle miljøpåvirkninger	167
5.3	Natura 2000-områder (habitat- og fuglebeskyttelsesområder)	174
5.4	Fugle	175
5.5	Bilag IV	175
5.6	Alment og strengt beskyttede havstrategiområder	176
5.7	Danmarks Havplan	178
5.8	Skibstrafik	179
5.9	Marin infrastruktur og restriktive områder	180
6.	Forventede vilkår	182
6.1	Velkendte vilkår anvendt for miljøpåvirkninger på havet	182
6.2	Mulige vilkår fra indsatsprogrammet under Danmarks Havstrategi II	184
6.3	Vilkår ved PtX-projekter tæt på land	185
6.4	Potentielle problemstillinger	187
7.	Konklusion	188
7.1	Teknisk beskrivelse af PtX-anlæg	188
7.2	Modellering af udledning af vand og biocid	188
7.3	Presfaktorer, receptorer og potentielle miljøpåvirkninger	189
7.4	Identificerede fysiske begrænsninger på det danske havareal	194
8.	Referencer	200
9.	Appendix	209
9.1	Opbygning af den numerisk model	209

Ordliste

Forkortelse	Engelsk	Dansk
AEC	Alkaline Electrolysis Cell	Alkaliske elektrolysecelle
AOX	Adsorbable organic halides	Adsorberbart Organisk Halogen. Omfatter de organiske forbindelser med indhold af klor, brom eller iod, der kan adsorberes fra vand på aktivt kul. AOX er en samleparameter, hvor medbestemte stoffer afhænger af den metode, der benyttes.
CAPEX	Capital Expenditure	Anlægsudgifter
DOC	Dissolved Organic Carbon	Opløst organisk kulstof
DRI	Direct Reduced Iron	Direct Reduced Iron er en nøgleproces i produktionen af stål, som anvender brint som reduktionsmiddel i stedet for kul
EEZ	Exclusive Economic Zone	
FPSO	Floating Production, Storage and Offloading Unit	
GBS	Gravity Based Structure	En offshore fundamentstruktur lavet i beton eller stål, der indeholder lager- og ballasttanke
HP	High Pressure	Højt tryk (eller tryksat system)
IMO	International Maritime Organization	Den Internationale Søfartsorganisation
Jacket		Understellet på en offshore platform, som er en struktur lavet af stål. Jacket'en er funderet ned i havbunden.
LCO ₂	Liquified Carbon Dioxide	Flydende kuldioxid
LNG	Liquified Natural Gas	Flydende naturgas
MARPOL	International Convention for the Prevention of Pollution from Ships	
MeOH	Methanol	Metanol
Miljøpåvirkning		Samlet betegnelse for de påvirkninger af recipienter en eller flere presfaktorer kan medføre. Dette kan være ændringer i sedimentforhold, fortrængning eller nedsat lagdeling.
MW	Megawatt	
NO _x	Nitrogen Oxides	Nitrogenoxider
OPEX	Operational Expenditure	Driftsudgifter
OSPAR	Oslo-Paris Convention	
PEM	Proton exchange membrane electrolysis	Protonudvekslingsmembran elektrolyseceller
PM	Particulate Matter	Partikler
PMC	Percentage of Maximum Concentration	
PtX	Power to X	Dækker over en række teknologier, hvor strøm udnyttes til at fremstille brint og som evt. viderekonverteres til andre brændstoffer (e-fuels)
Presfaktor		Samlet betegnelse for de effekter og emissioner, der sker som følge af et projekts realisering. Dette kan være arealinddragelse, undervandsstøj, udledning af produktionsvand etc.
PSU	Practical Salinity Units	
Recipient		Samlet betegnelse for de komponenter af miljøet, der kan blive påvirket af en eller flere presfaktorer. Dette kan være havbunden, havpattedyr eller de hydrografiske forhold i et område.
RWGS	Reverse Water-Gas Shift	
SOEC	Solid Oxide Electrolyzer Cell	Fast oxid elektrolysecelle
SO _x	Sulfur Oxides	Svovloxider
SSC	Suspended Sediment Concentration	
TOC	Total Organic Carbon	Totalt organisk kulstof
Topside		Er den sektion som indeholder procesanlægget på offshore platforme, hvor topside er understøttet af en jacket
TS	Transport Securities	
Turret		Et specialiseret fortøjningssystem, der bruges af FPSO'er (se tidligere). Systemet tillader fartøjet at forblive fortøjet, mens det frit kan dreje (weathervaning) rundt om tårnet, hvilket er vigtigt i barske havmiljøer, hvor vind, bølger og strømme konstant ændrer retning.
VOC	Volatile Organic Compound	Flygtige organiske forbindelser, der let bliver til dampe eller gasser

Sammenfatning

For at efterleve målene i klimaloven skal Danmark reformere energisystemet, til dette formål er vedvarende energi og produktion af Power-to-X (PtX)-brændstoffer udpeget som vitale for at udfase den nuværende brug af fossile brændstoffer. PtX er defineret som omdannelsen af vedvarende elektrisk energi f.eks. fra vindmøller eller solceller, til brændstoffer såsom brint, metanol, ammoniak og jetfuel. Fælles for alle PtX-produkter er, at den vedvarende elektriske energi anvendes til at producere brint i en elektrolyseproces, hvorefter brinten sammen med f.eks. nitrogen eller CO₂ kan anvendes til at producere andre PtX-brændstoffer. PtX-anlæg findes i dag kun på land i Danmark, og det er pt. ikke tilladt at etablere PtX-produktion på havet. I forbindelse med en kommende udbygning af PtX i Danmark, kan det dog blive relevant at etablere PtX-anlæg på havet.

På den baggrund har Energistyrelsen fået gennemført en analyse, der tilvejebringer et øget vidensniveau om anlæg og drift af PtX på havet og de mulige miljømæssige udfordringer, som følger heraf. Analysen er opdelt i fem hoveddele: 1) Beskrivelse af forventede tekniske anlæg og afledte udledninger, 2) Modelleringer af forventede væsentlige udledninger til havet, 3) Beskrivelse af presfaktorer (også kendt som miljøeffekter i andre sammenhænge) og potentielle miljøpåvirkninger, 4) Generelle begrænsninger på det danske havareal, og 5) Forventede vilkår ved anlæg og drift af PtX-anlæg på det danske havareal.

Den tekniske analyse tager udgangspunkt i eksisterende eller nærtforestående teknologier, som er tilstrækkeligt beskrevet. Der er identificeret tre overordnede udbygningskoncepter: 1) Møllebaserede PtX-anlæg, 2) Platformbaserede PtX-anlæg og 3) Skibsbaserede (FPSO¹) PtX-anlæg. Inddraget i analysen er produktionen af brint, ammoniak, metanol og jetfuel og andre olieprodukter. Komplexiteten af koncepterne stiger fra anlæg der udelukkende producerer brint, til de mest komplekse anlæg som inkluderer produktion af jetfuel og andre kulbrinte produkter. For hvert udbygningskoncept er der foretaget beregninger af potentielle udledninger af vand og mulige miljøfarlige forurenende stoffer, samt luftemissioner. Udledningernes størrelse vil i høj grad afhænge af den elektriske effekt de gældende anlæg forbruger, som det ses i Tabel 1-1. Som udgangspunkt er set på elektrolysekapaciteter på hhv. 15 og 25 MW for brintmøller og 500 MW for platformløsningen.

Tabel 1-1 Udledninger fra de undersøgte anlæg

Anlægstyper			Udledninger til havet under drift				
Brintmølle	Brintplatform	E-fuels på Platform eller FPSO	Samlede vandudledninger*	Kemikalieudledninger per type			Luftemissioner
				Biocid** 5 ppm	Udfældning*** 7,5 ppm	Andre udledninger	
X			300/500 m ³ /t ved 15/25 MW mølle	1,5/2,5 l/t v. 15/25 MW	0,03-0,05 l/t v. 15/25 MW	-	7-12 tons brint/år v. 15/25 MW
	X		19.000 m ³ /t	50 l/t	0,8 l/t	-	240 tons brint/år
	X	Ammoniak	19.000 m ³ /t	95 l/t	0,8 l/t	-	2.500 tons ammoniak/år. Kan opsamles vha. et rensesystem og

¹ Flydende produktionsskib (Floating Production, Storage and Offloading Unit)

							sendes det til land
	X	Metanol	18.000 m ³ /t	90 l/t	0,8 l/t	15 PPM metanol og <50 PPM andre organiske biprodukter i procesvand (30 m ³ /t)	3.640 tons gasser/år. Primært CO ₂ og lidt metan. Tilsvarende 3.200 tons CO ₂ /år.
	X	Jetfuel	17.600 m ³ /t	90 l/t	0,8 l/t	15 ppm kulbrinter (efter rensning) i procesvand (60 m ³ /t)	3.565 tons gasser/år. Primært CO ₂ og lidt metan. Tilsvarende 3.200 tons CO ₂ /år.
*Det udledte vand benævnes samlet som kølevand, men består af kølevand og restvand fra elektrolyse. **Biocid tilsættes det samlede vandvolumen i processen, for at undgå biologisk vækst i anlægget. ***Dette kemikalie tilsættes for at forhindre udfældninger i elektrolyseenheden.							

På baggrund af de præsenterede udledninger af kølevand og biocid er der gennemført modelberegninger af spredningen af opvarmet kølevand med højere salinitet end det omkringliggende havvand og biocid til havvand i forbindelse med driften af et offshore PtX-anlæg. Salinitetsforøgelsen i det udledte vand vil være ca. 1% og vil derfor være inden for den naturlige variation af saliniteten i de danske farvande. Ændringer i saliniteten omkring udledningspunktet vil således være ubetydelige i danske farvande, og der er således alene fokuseret på spredningen af opvarmet kølevand og udledning af de tilsatte kemikalier. Modellen er gennemført for fire forskellige udledningspunkter med forskellige vanddybde- og strømningsforhold. De gennemførte modeller forholder sig til temperaturændring ved udledning af kølevandet, som typisk ved udledningspunktet vil være 12 grader varmere end det omgivende havvand. I de modellerede udledningsscenarier er kølevandsmængden på 20.000 m³/t, som er den maksimale forventede udledning fra et PtX-anlæg. Modelresultaterne viser generelt, at temperaturstigningerne i recipienten er relativt små og begrænset til et lokalt område omkring udledningspunktet upåagtet udledningsscenariet, og der ses kun korte og afgrænsede perioder med temperaturstigninger over cirka 1 °C. De største temperaturstigninger for de fire udledningsscenarier ligger på mellem 2,3 °C og 4,6 °C. De største stigninger i temperatur er alle af pulserende karakter, og forekommer kortvarigt (relativt få timer) og kun få gange (cirka 1-6 gange) i løbet af den 14-dages lange modelperiode. Disse afgrænsede og kortvarige faner af relativt varmt vand, ses kun inden for et meget lokalt område tæt på udledningspunktet (ved 3 km afstand er den modellerede maksimale temperaturstigning på ≤ 1 °C). Da det opvarmede kølevand vil medføre en reduceret densitet (vandet bliver lettere end det omgivende hav), vil den største lokale påvirkning forekomme i den øvre del af vandsøjlen. Desuden forudsættes, at der potentielt kan forekomme udledning af forskellige kemikalier, hvoraf det mest kritiske er vurderet at være biocid med en estimeret koncentration ved udløb til havet på ca. 1,5 ppm. De modellerede eksempler af spredning af biocid viser generelt, at det udledte biocid vil falde hurtigt i koncentrationen inden for et lokalt område omkring udledningspositionen (afhængig af de lokale strømforhold). Fanen med biocidrester vil følge dynamikken som beskrevet for det opvarmede kølvand og således vil de største koncentrationer forekomme tæt på udledningen i den øverste del af vandsøjlen.

Den gennemsnitlige dybdemidlede biocidkoncentration i modelleringsperioden kan anvendes til at vurdere, om der er risiko for en eventuel toksikologisk påvirkning af marine organismer. De modellerede biocidkoncentrationer er holdt op imod Predicted No Effect Concentration (PNEC) dvs. den koncentration hvor der ikke forventes nogen effekt på en specifik organisme. Effektkoncentrationen er varierende og vil være afhængig den enkelte art, livsstadie, eksponeringstid, og de specifikke forhold som eksempelvis salinitet, pH, temperatur og mængden af organisk stof. Typisk vil larvestadier og andre planktonorganismer være mest sårbare. Baseret på modelleringen af de fire udledningsscenarier vurderes det, at der for flere marine organismer vil være en risiko for

toksiske effekt i umiddelbar nærhed af udledningspunkter. Biocidkoncentrationerne forventes ikke at udgøre nogen risiko for selv de mest sårbare organismer i en afstand på 1-2 km fra udledningspunktet. Det bør understreges at den egentlige effekt af restbiocid i kølvandsudledning vil afhænge af de stedspecifikke hydrauliske- og kemiske parametre, samt det marine økosystem i recipientområdet. De estimerede mulige påvirkningsafstande i denne rapport bør således ses som indikative. Det kan dog udledes, at risikoen for en evt. påvirkning af marine organismer vil være forøget i områder med lavere dybde og strømforhold.

I miljøanalysen er der identificeret en række presfaktorer og relevante miljøemner for det marine miljø. Identifikationen tager udgangspunkt i generelle betragtninger om presfaktorer og utilsigtede hændelser identificeret i den tekniske analyse samt presfaktorer fra lignende anlæg af tilsvarende omfang og karakter, som der måtte forventes ved anlæg og drift af PtX-anlæg på det danske havareal. Presfaktorerne er analyseret i forhold til relevante direktiver (vandrammedirektivet, internationale naturbeskyttelsesdirektiver og havstrategidirektivet). Dernæst er der i miljøanalysen gennemført en vurdering af potentielle fysiske begrænsninger, der måtte være på det danske havareal, for udbygning af PtX. Heri tages der både udgangspunkt i tekniske krav til anlæg og drift, de identificerede presfaktorer og miljøemner, samt eksisterende udpegninger og arealanvendelser. Til sidst er der beskrevet potentielle og forventede vilkår til håndtering af miljøpåvirkninger i forbindelse med godkendelser og tilladelser ved konkrete offshore PtX-projekter. Tabel 1-2 sammenfatter resultaterne af miljøanalysen, de identificerede fysiske begrænsninger og potentielle og forventede vilkår.

Tabel 1-2 Rangering af relevante forhold ved potentiel udbygning af PtX på det danske havareal. Grøn repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne ikke vil være problematisk, gul repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne kan sætte visse begrænsninger, der dog kan håndteres gennem for eksempel simple projektering, afværgeforanstaltninger eller fastsættelse af vilkår, mens lilla repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne kan sætte store begrænsninger, der enten forhindrer PtX-anlæg eller potentielt kræver større projektilpasninger.

	Rangering	Forklaring
Presfaktorer		
Undervandsstøj		Intensiteten, varigheden og den geografiske udbredelse af potentielle miljøpåvirkninger fra undervandsstøj kan i de fleste tilfælde reduceres gennem specifikke afværgetiltag og projektiltag. Dog er havpattedyr generelt meget følsomme over for undervandsstøj og visse arter er strengt beskyttede (bilag IV-arter). Undervandsstøj i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan derfor være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Fysisk forstyrrelse over vand		Intensiteten, varigheden og den geografiske udbredelse af potentielle miljøpåvirkninger fra fysisk forstyrrelse over vand er i de fleste tilfælde begrænset. De største påvirkninger vil være i forbindelse med fortrængning af havfugle fra potentielt vigtige fødesøgnings- og rasteområder. Dette kan formentlig undgås i forbindelse med konkret projektering. Visse havfugle er dog generelt følsomme over for fortrængning, og danske fugle er beskyttet under fuglebeskyttelsesdirektivet som bilag I-arter. Fysisk forstyrrelse i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan derfor være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Tab og forstyrrelse af havbund		Intensiteten, varigheden og den geografiske udbredelse af potentielle miljøpåvirkninger fra tab og forstyrrelse af havbunden vil i de fleste tilfælde begrænset. Tab og forstyrrelse af havbunden i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal vil derfor formentlig udelukkende medføre få eller ingen konsekvenser for havmiljøet.

Sedimentspild		Intensiteten, varigheden og den geografiske udbredelse af potentielle miljøpåvirkninger fra sedimentspild vil i de fleste tilfælde være begrænset i geografisk omfang, varighed og intensitet. Tab og forstyrrelse af havbunden i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal vil derfor formentlig udelukkende medføre få eller ingen konsekvenser for havmiljøet.
Luftemissioner		Påvirkningerne af luftkvaliteten er i de fleste tilfælde relativt kortvarige (dage til måneder) og reversible ved projekter tilsvarende det, der forventes ved anlæg af offshore PtX. Udbredelsen af påvirkning er primært lokale tæt ved offshore installationslokaliteterne og med lave kendte intensiteter. Påvirkning af luftkvaliteten vurderes dermed meget begrænset. Udledning af drivhusgasser er kortvarige (dage til måneder), men påvirkningerne af klimasystemet er permanente og irreversible. Der vil desuden være en positiv effekt på klimasystemet, fordi de producerede brændstoffer formentlig vil medvirke til fortrængning af fossile brændstoffer.
Spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer		Baseret på modelleringen af de fire udledningsscenarier vurderes det, at der for flere marine organismer vil være en risiko for toksiske effekt i umiddelbar nærhed af udledningspunkter. Biocid-koncentrationerne forventes ikke at udgøre nogen risiko for selv de mest sårbare organismer i en afstand på 1-2 km fra udledningspunktet. Biocidet hypoklorit omsættes til blandt andet adsorberbart organisk halogen (AOX), herunder kloroform, hvis koncentration formentlig vil være under miljøkvalitetskravet. Mens spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer formentlig ikke vil udgøre en begrænsning af udbygning af PtX på åbent vand og uden for vandforekomster kystnært, kan der være øget risiko for overskridelse af miljøkvalitetskrav i målsatte kystvande og ikke-målsatte vandområder. Grundet analysens overordnede niveau kan sådan en konkret vurdering ikke gennemføres for samtlige identificerede stoffer på nuværende tidspunkt og skal gennemføres i forbindelse med en miljøvurderingsproces. Spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Udledning af opvarmet kølevand		Udledning af opvarmet kølevand vil kun medføre begrænset påvirkning af det marine miljø. Modelresultaterne viser generelt, at temperaturstigningerne i recipienten er relativt små og begrænset til et lokalt område omkring udledningspunktet upåagtet udledningsscenariet, og der ses kun korte og afgrænsede perioder med temperaturstigninger over cirka 1 °C. De største temperaturstigninger for de fire udledningsscenarier ligger på mellem 2,3 °C og 4,6 °C. De største stigninger i temperatur er alle af pulserende karakter, og forekommer kortvarigt. Modellen forholder sig ikke til udstrømningshastighed- og retning ved udledningspunktet. Det vurderes dog usandsynligt, dog ikke umuligt, at der under særlige forhold kan forekomme perioder, hvor det udledte opvarmede vand vil have kontakt med havbunden, hvor det kan påvirke bundhabitat- og økosystemer. Grundet disse forhold ved mere stille strømforhold og lavere vanddybder vil mere kystnære og stillestående vandområder potentielt udgøre områder, hvor miljøpåvirkningen fra udbygningen af PtX ved udledning af opvarmet kølevand vil være større end det forventede ved dybere og mere offshore lokationer. Udledning af opvarmet kølevand i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.

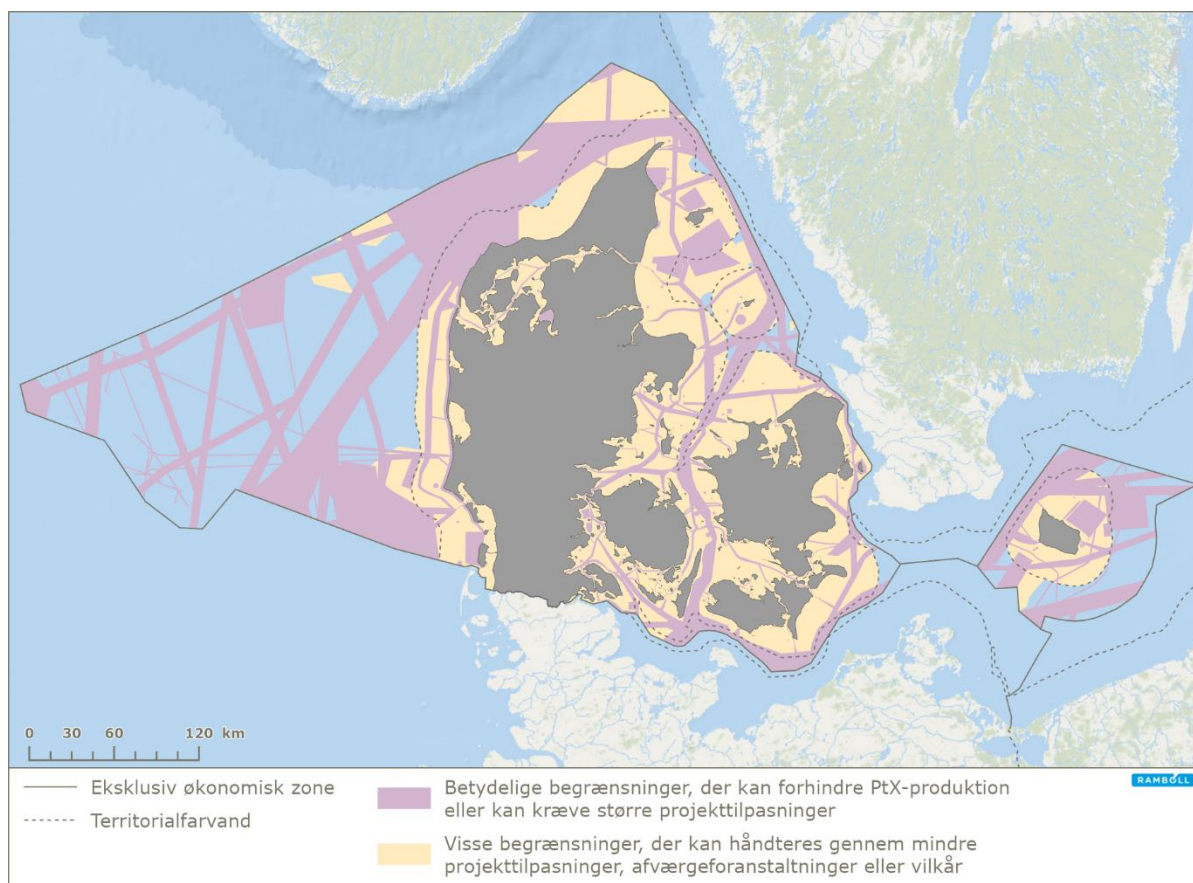
Udledning af produktionsvand med forhøjet salinitet		Udledning af produktionsvand med forhøjet salinitet vil forventeligt kun medføre ubetydelige ændringer i salinitet i det marine miljø.
Udledning af dødt organisk materiale i kølevand		Udledning af dødt organisk materiale vil formentlig kun medføre ubetydelige påvirkninger af vandsøjlen da der vil ske en hurtig opblanding og fortynding. Hvis en del af det organiske materiale skulle sedimentere ud til havbunden, kan det give anledning til et lokalt mer-iltforbrug, der kan påvirke de lokale fysiske og kemiske forhold. Det vurderes dog kun at medføre en lille stigning i dødt organisk indhold i et meget lokalt område omkring udledningspunktet. Påvirkningen af havbunden vil i høj grad afhænge af lokale hydrografiske forhold. Ved et konkret projekt kan dette vurderes nærmere.
Utilsigtede hændelser		
Udslip af brint		Der er ikke fundet et scenarie med udslip af brint som medfører betydelige miljøpåvirkninger.
Udslip af ammoniak		Udslip af ammoniak kan påvirke det marine miljø og udgøre en sundhedsfare. Graden af påvirkning vil afhænge af en lang forhold, men ved udslip af ammoniak i størrelsesordenen identificeret i analysen kan der ske påvirkninger i op til flere kilometers afstand. Effekterne på marine miljøer kan være længerevarende. Udslip af ammoniak er en utilsigtet hændelse, hvis sandsynlighed minimeres bedst muligt. Til trods for dette vil der ud fra et miljø- og sikkerhedshensyn formentlig være visse geografiske begrænsninger på det danske havareal, især i kystnære områder, hvor ammoniakproduktion og -lagring vil udgøre en betydelig risiko. Udslip af ammoniak i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Udslip af metanol		I forbindelse med et større spild af metanol i åbne danske farvande må den akutte påvirkning af marine organismer forventes at være begrænset til et område i umiddelbar nærhed af spildpunktet. Der forventes ikke langvarige påvirkninger af det marine økosystem med mindre, at der lokalt forefindes sårbare arter og fauna, som kun langsomt vil kunne reetablere sig området. I kystnære områder med lav vandudskiftning vil risiko for påvirkning være større. Udslip af metanol i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan dog være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Udslip af jetfuels og andre olieprodukter		Generelt kan et større spild jetfuel forventes at skabe en højrisikozone for toksiske effekter på mellem 5 og 50 kvadratkilometer omkring udslippet, hvor akutte toksiske virkninger er sandsynlige. En bredere zone, hvor subletale effekter kan påvirke det marine liv, kunne strække sig over hundredvis af kvadratkilometer, afhængigt af vejret, strømforholdene og tidsforløbet efter udslippet. Den akutte toksiske effekt fra et spild vil være mest intens inden for de første 1-3 dage efter udslippet, hvor koncentrationerne er høje tæt omkring udslipspunktet. Under gunstige forhold (varmt, blæsende og åbent farvand) vil risikoen for akut toksicitet aftage hurtigt herefter. I koldere eller stillestående farvande samt i sårbare kystnære områder, kan den akutte toksicitet varer længere, op til en uge eller mere, før koncentrationerne er fortyndet eller fordampet til et niveau, hvor de ikke længere er risiko for akut påvirkning. Sedimentering af oliekomponenter kan medføre længerevarende påvirkning af bundfauna. Udslip af jetfuels og andre olieprodukter i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan dog være begrænsende

		for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Fysiske og biologiske forhold, arealudpegninger og – anvendelser		
Vanddybde		De påkrævede vanddybder for anlæg og drift af PtX sætter en potentiel begrænsning for udbygningen af PtX på det danske havareal. De identificerede tekniske løsninger i kapitel 2 kræver i mange tilfælde vanddybder på over 15 meter. Dog kan fremtidige løsninger potentielt muliggøre projektløsninger, der kan anlægges og driftes i områder af det danske havareal præget af mere grundt vand.
Natura 2000-områder (Habitat- og fuglebeskyttelsesområder)		Potentiel væsentlig påvirkning og skade på udpegningsgrundlag og Natura 2000-områders integritet kan være i strid med habitatdirektivets bestemmelser. Alt afhængig af den specifikke påvirkning, vurdering og projektering af det konkrete projekt kan konsekvensen reduceres, hvormed skade potentielt kan afvises. Grundet det potentielle behov for tilpasning af projekter eller fysisk begrænsning af det danske havareal grundet regler om beskyttelse, udgør Natura 2000-områder generelt en begrænsning af udbygning af PtX på det danske havareal eller kommende konkrete projekter
Bilag IV-arter		En egentlig afgrænsning af det danske havareal er ikke muligt grundet arternes mobile adfærd og mangel på udpegede afgrænsede yngle- og rasteområder for hvalarterne under bilag IV. En potentiel udbygning af PtX på havet skal dog tage hensyn til arternes strenge beskyttelse, hvilket potentielt kan medføre klare afgrænsninger af det tilgængelige areal. En potentiel påvirkning kan reduceres gennem passende afværgetiltag og projektering. En potentiel påvirkning af bilag IV-arter kan være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Alment og strengt beskyttede havstrategiområder		For alment og strengt beskyttede havstrategiområder gælder en række beskyttelser, der afgrænser tilladte aktiviteter inden for områderne. For alment beskyttede havstrategiområder gælder det, at der skal gennemføres en konkret vurdering med sigte på at kunne afvise skade på områdets integritet. Kun få menneskelige aktiviteter er tilladt inden for strengt beskyttede områder, herunder rørledning og kabler, dog ikke havvindmøller og platforme, hvilket udelukker udbygning af PtX på havet inden for områderne under nuværende gældende lovgivning.
Skibsruter		Skibsruter udgør en klar arealbegrænsning grundet øget risiko for ulykker. Samtidig ligger skibsruterne i dansk farvand fast, hvorfor arealet må forventes, ikke kunne anvendes ved udbygning af PtX på havet.
Marin infrastruktur		Eksisterende arealanvendelser til marin infrastruktur, sikkerheds- og forbudszoner på det danske havareal udgør relativt små områder. De er dog ofte vigtige af sikkerhedshensyn eller ligger i relation til vigtige havnefaciliteter og skibsruter. Det forventes derfor, at være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter, og arealet må i vid udstrækning forventes ikke at kunne anvendes ved udbygning af PtX på havet.
Vilkår		
Velkendte vilkår, vilkår på baggrund af Danmarks Havstrategi II, og vilkår ved PtX-projekter tæt på land		De beskrevne potentielle vilkår udgør forhold, der potentielt kan være begrænsende for udbygningen. Dette kan skyldes flere forhold, for eksempel manglende juridisk afklaring, fordyrende projektilpasninger eller krav til indrapportering.

På baggrund af rangeringen i Tabel 1-2 er der udarbejdet et kort, der visualiserer de relevante begrænsninger. Visualiseringerne dækker over de teknisk eller miljømæssige forhold, der kan afgrænses på et kort. Det er således ikke samtlige potentielle begrænsninger, der er inkluderet på

kortet, og en række udslipscenarier og beskyttede dyrearters udbredelse er ikke medtaget. Samlet set er der identificeret begrænsende faktorer på 75,8 % af det danske havareal dækkende både de indre farvande og Nordsøen. Alment og strengt beskyttede havstrategiområder, skibsruter, restriktionszoner og eksisterende marin infrastruktur er samlet områder, hvor det vurderes, at udbygning af PtX ikke kan finde sted eller medfører større projektilpasninger og udgør 44,4 % af det danske havareal. Resterende arealer, hvor der måtte være begrænsninger, udgør således 56 %, hvor det vurderes at udbygning af PtX på det danske havareal i et vist omfang kan være begrænset.

Samlet set vurderes det, at en potentiel udbygning af PtX på det danske havareal potentielt kan være begrænset af en række anlægstekniske krav, fysiske forhold på det danske havareal, potentielle miljøpåvirkninger under anlæg og drift, samt eventuelle vilkår, der måtte blive stillet i forbindelse med et konkret projekt. De identificerede begrænsninger udgør ikke forhold, der er vurderet nødvendigvis at umuliggøre en udbygning af PtX på det danske havareal, men tydeliggør snarere forhold, der anbefales at blive taget i betragtning ved kommende udarbejdelse af kommende relevante bekendtgørelser, planlægning og projektering, samt miljøvurderingsprocesser. Samtidig kan fremtidig udvikling af nye installations- og driftsteknologier og løsninger vise sig at muliggøre anlæg og drift af PtX med mindre miljøpåvirkninger, der dermed også potentielt vil muliggøre placering i områder, hvor der tidligere ville være begrænsninger.



Figur 1-1 Samlet oversigt over identificerede fysiske begrænsninger for en udbygning af PtX-produktion på det danske havareal. Begrænsningerne er rangeret efter kvalificering i Tabel 7-2. Gul repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne kan sætte visse begrænsninger, der dog kan håndteres gennem for eksempel simple projektering, afværgeforanstaltninger eller fastsættelse af vilkår, mens lilla repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne kan sætte store begrænsninger, der enten forhindrer PtX-anlæg eller potentielt kræver større projektilpasninger.

1. Indledning

Danmark står over for at skulle foretage en massiv udbygning af havvind de kommende år for at kunne realisere nationale målsætninger om 70 pct. reduktion af udledning af drivhusgasser i 2030 og for at opnå klimaneutralitet på længere sigt. Danmark har en ambition om at udbygge med op til 35 GW havvind i Nordsøen inden 2050. Med den politiske aftale om udvikling og fremme af brint og grønne brændstoffer (Aftale Om Udvikling Og Fremme Af Brint Og Grønne Brændstoffer Fra 15. Marts 2022, 2022) er der enighed om at udvikle en Power to X (PtX)-sektor i Danmark, der skal bidrage til at strømmen fra havvindmølleparkerne kan omsættes til grønne brændstoffer. Hermed kan PtX-teknologien i kombination med havvind bidrage til, at Danmark overgår fra et fossildrevet til et eldrevet samfund.

Det er i dag ikke tilladt at etablere PtX-produktion på havet. Energistyrelsen oplever dog en stigende interesse fra markedsaktører, der indikerer, at PtX-produktion på havet kan være relevant i relation til den vedvarende energi (VE)-udbygning. På den baggrund har Energistyrelsen fået gennemført en analyse, der tilvejebringer et øget vidensniveau om PtX på havet og de medfølgende miljømæssige udfordringer, som skal bidrage med et opdateret overblik over potentialet for PtX på havet i Danmark.

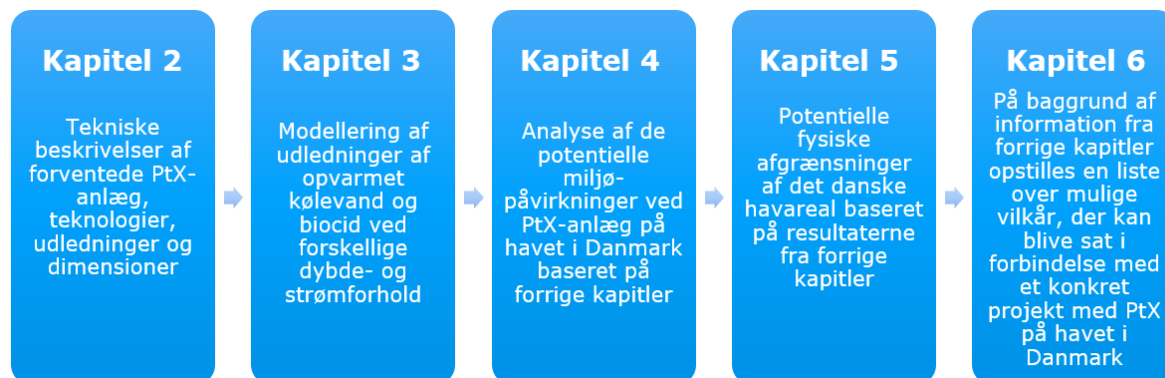
Ønsket om udbredelse og anvendelse af PtX-teknologier på havet i Danmark kræver et øget vidensniveau om de krævede tekniske offshore anlæg såvel som anlæggenes potentielle påvirkninger af natur og miljø. Med nærværende analyse beskrives derfor hvilke typer af PtX-anlæg, der kan blive relevant at etablere på havet i Danmark og de potentielle påvirkninger af natur og miljø. De potentielle miljøpåvirkninger vurderes endvidere i forhold til potentiel indvirkning på målsætninger i de europæiske naturbeskyttelsesdirektiver (habitat- og fuglebeskyttelsesdirektiverne) samt vandrammedirektivet og havstrategidirektivet.

Analysen er begrænset til det marine og kystnære miljø og natur, og der foretages derfor ikke vurderinger og analyser af potentielle påvirkninger af menneskers sundhed og sikkerhed. Analysen har ikke til opgave at identificere specifikke lokationer for placering af et PtX anlæg, og eventuelle akkumulerede effekter er således ikke vurderet, da disse i høj grad vil være områdebestemt. Analysen vil dog indeholde en generel vurdering af hvilke havområder, der kunne være mindre egnede til placering af et PtX-anlæg ud fra de overordnede hydrauliske- og miljømæssige forhold samt planlagte og eksisterende aktiviteter og arealudpegninger og -anvendelser. Analysen tager desuden ikke hensyn til økonomiske faktorer, der måtte være begrænsende for en udbygning af PtX på havet i Danmark.

Analysen bygger ikke på konkrete projekter, og de potentielle miljøpåvirkninger vurderes derfor ud fra en række potentielle mulige tekniske scenarier for PtX-anlæg, modelberegninger af udledninger, og viden om miljøpåvirkninger fra lignende anlæg og aktiviteter. Grundet dette kan analysen kun laves på et overordnet niveau, og i forbindelse med kommende mulige PtX-anlæg på havet skal der gennemføres projektspecifikke miljøvurderinger, hvor de forventede miljøpåvirkninger skal behandles og vurderes nærmere i forhold til den på det relevante tidspunkt gældende lovgivning.

1.1 Læsevejledning

Analysen består af fem hoveddele, der er fordelt på kapitlerne 2 til 6: 1) Beskrivelser af forventede tekniske anlæg og afledte udledninger, 2) modelleringer af forventede udledninger af produktionsvand, 3) beskrivelser af presfaktorer (også kendt som miljøeffekter i andre sammenhænge) og potentielle miljøpåvirkninger, 4) generelle begrænsninger på det danske havareal, og 5) forventede vilkår ved anlæg og drift af PtX-anlæg på det danske havareal. Sammenhængene mellem kapitlerne er vist i Figur 1-1.



Figur 1-1 Sammenhæng mellem analysens forskellige kapitler

I kapitel 2 beskrives og analyseres de overordnede komponenter/byggeklodser for mulige PtX-anlæg på havet med åbenhed overfor nye teknologier, bl.a. nye PtX-teknologier, placering på platforme, integrering i vindmøller, viderekonvertering af brint, og eksport og import koncepter, såsom rørledninger og skibe. Ud fra disse beskrivelser og analyser udpeges et overordnet tekniske scenarie, der danner udgangspunkt for modelleringerne i kapitel 3. Der er udvalgt et scenarie med en platformbaseret løsning med en effekt på 500 MW brintanlæg, hvor der videresyntetiseres til både ammoniak, metanol og jetfuel + andre oliebaseerede produkter. Samtidig inkluderes skibstrafik i både anlægs- og driftsfase og muligheden for rørledninger. Disse forskellige kombinationer inddrages for at sikre, at alle relevante presfaktorer kommer med i analysen af potentielle miljøpåvirkninger.

I kapitel 3 er der foretaget en række modelleringer af udledninger af opvarmet produktionsvand og biocid fra PtX-anlæg med udgangspunkt i 500 MW brintanlæg. Der gives en beskrivelse af de forudsætninger, der ligger til grund for modelleringen af påvirkningen, som følge af udledninger fra et offshore PtX-anlæg. Modelopsætning er beskrevet i appendix 9.1. Modelleringerne er gennemført ud fra fire lokationer i dansk farvand, der hver repræsenterer en bestemt kombination af høj/lav strøm og stor/lav vanddybde. Samtlige lokationer er modelleret i den danske del af Østersøen, men de forskellige kombinationer af strøm- og dybdeforhold repræsenterer en stor del af det danske havareal. Resultaterne vises som arealplots og tidsserier, hvor temperaturændringer visualiseres i rum og tid. Ud fra tilsvarende strøm- og dybdeforhold kan modelresultaterne derfor generaliseres til andre dele af det danske havareal. Dernæst vises spredning af biocid for de valgte scenarier. Spredning af biocid vises som arealplots.

I kapitel 4 identificeres de forventede presfaktorer og de afledte potentielle påvirkninger på relevante recipienter i det danske havmiljø. Identifikationen af presfaktorer og miljøpåvirkninger bygger på resultaterne fra kapitel 2, kapitel 3 og erfaringer fra tidligere projekter, der af karakter og omfang er tilsvarende det, der må forventes ved anlæg og drift af PtX på det danske havareal ud fra den bedst tilgængelige viden. I kapitel 4 lægges der vægt på en analyse af de presfaktorer og

potentielle miljøpåvirkninger, der måtte være relativt unikke for anlæg og drift af PtX-anlæg på havet. Det betyder, at gængse presfaktorer og potentielle miljøpåvirkninger, som allerede er kendt fra tilsvarende projekter, såsom undervandsstøj og sedimentspild vægtes lavere i analysen. Efter hver presfaktor beskrives eventuelle usikkerheder og relevante afværgetiltag eller miljøhensyn for anlægs- og driftsfasen. Den forventede teknologiudvikling og fremtidige metoder til en bæredygtig og skånsom nedtagning af PtX-anlæg kendes ikke i detaljer. Grundet disse forhold medtages nedtagningsfasen ikke i den nærværende analyse.

I kapitel 5 beskrives en række forhold, arealanvendelser og eksisterende aktiviteter, der kan være medvirkende til at sætte fysiske begrænsninger for udrulning af PtX på det danske havareal. Disse omfatter blandt andet de identificerede potentielle miljøpåvirkninger, beskyttede naturområder og skibstrafik.

I kapitel 6 er de forventede vilkår ved kommende udbygning af PtX på det danske havareal beskrevet. Beskrivelserne af forventede vilkår tager udgangspunkt i resultaterne fra foregående kapitler, gældende lovgivning, der måtte finde anvendelse ved PtX-anlæg og afledte aktiviteter på havet, og relevante krav og vilkår, der allerede finder gængs anvendelse ved lignende projekter.

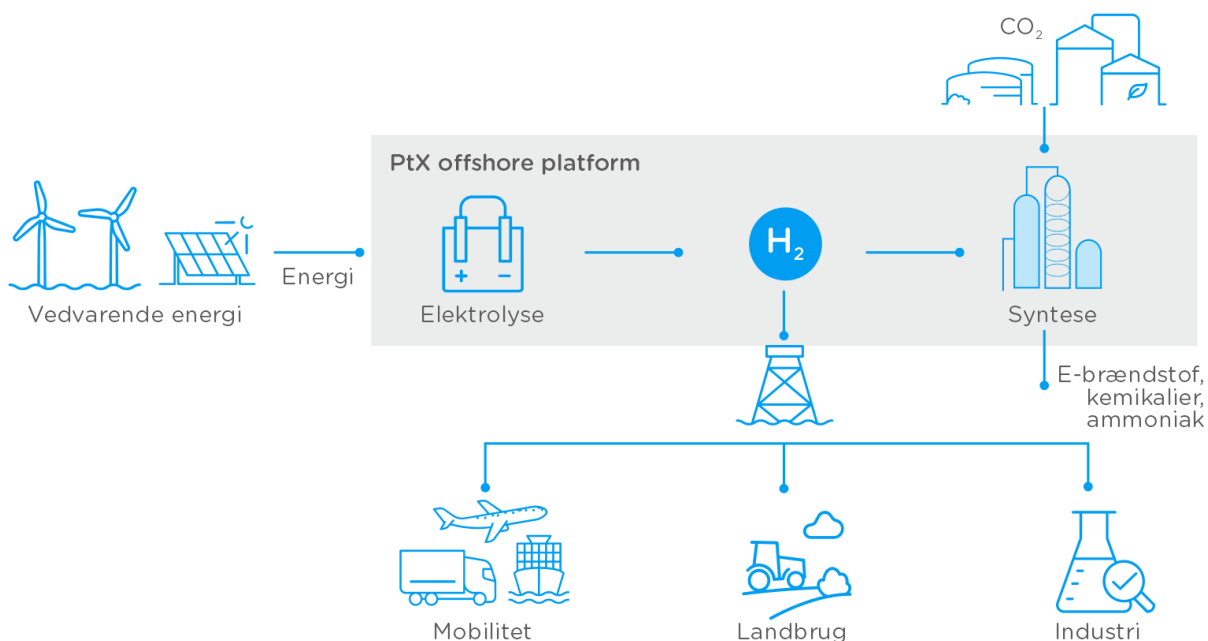
Til slut konkluderes der overordnet på analysens dele og der præsenteres oversigtskort og beskrivelser af havarealets egnethed baseret på resultaterne fra de foregående kapitler.

2. Teknisk beskrivelse af PtX-anlæg

2.1 Introduktion

Power to X (forkortet PtX) er defineret som omdannelsen af vedvarende elektrisk energi f.eks. fra vindmøller eller solceller til brændstoffer såsom brint, metanol, ammoniak, og jetfuel. Fælles for alle PtX-produkter er, at den vedvarende elektriske energi anvendes til at producere brint i en elektrolyseproces, hvorefter brinten sammen med f.eks. nitrogen eller CO₂ kan anvendes til at producere kemiske slutprodukter som metanol, ammoniak eller jetfuel og andre kulbrinteprodukter.

PtX-anlæg projekteres og opføres for nuværende som landbaserede løsninger, mens der er begrænset erfaring med at etablere tilsvarende anlæg offshore. De overordnede trin for PtX fra grøn strøm, til brint og mere avancerede PtX-brændstoffer og videre til slutbrugere er vist i Figur 2-1.



Figur 2-1 Skematisk oversigt over PtX-trin fra vedvarende energi over produkter til slutbrugere.

I dette kapitel beskrives principperne i PtX-teknologierne, de overordnede processer og de strukturenheder, der forventes at indgå i offshore PtX-produktionsenheder. Baseret på disse antagelser defineres en række udbygningskoncepter, der vil udgøre fundamentet for analysen af de potentielle miljøpåvirkninger ved anlæg og drift af PtX på havet. Beskrivelserne er søgt beskrevet med åbenhed overfor udviklingen af teknologier, bl.a. nye PtX-teknologier, integrering af PtX-anlæg i vindmøller, afledte produkter efter selve brintproduktionen, og eksport- og importkoncepter såsom rørledninger og skibe.

For alle beskrevne løsninger identificeres brugen af typiske kemikalier, udslip til miljøet fra anlægene under drift, som særligt omfatter udledning af vand med kemikalierester og forøget temperatur og salinitet. Endvidere gennemgås potentielle utilsigtede udslip af produkter og kemikalier kortlægges.

2.2 PtX-teknologien

I 2023 var der på verdensplan installeret 1,4 GW vandelektrolyse til brintproduktion, og den mængde elektrolysekapacitet, der var blevet tilføjet i løbet af 2023, svarede til den kumulerede mængde elektrolyse installeret året før, i årene til og med 2022. Det er specielt i Kina den øgede elektrolysekapacitet er kommet til, da Kina i 2020 stod for mindre end 10 % af den samlede globale kapacitet, men i 2023 var det cirka 80 % af den samlede globale elektrolysekapacitet. Kina har bl.a. verdens største nuværende elektrolyseprojekt på 260 MW som er blevet etableret af Sinopec (International Energy Agency, 2024).

PtX kan bruges til at dekarbonisere tung industri, som ikke på andre måder kan gøres mere bæredygtige. Dette gælder f.eks. ved anvendelse af bæredygtig metanol og ammoniak til brændstof i skibsindustrien, anvendelse af bæredygtig e-jetfuel i flyindustrien eller anvendelse af bæredygtig brint i stedet for fossil naturgas i stålindustrien (DRI-processer) og på raffinaderier (f.eks. til hydrocracking og hydrotreating). På grund af faldende priser på bæredygtig strøm, og en stigende efterspørgsel på at dekarbonisere den kemiske industri, har der de seneste år været stigende efterspørgsel på bæredygtig brint og PtX. Vandelektrolyse er en gammel velkendt teknologi, men de anlægsstørrelser der er behov for til at dekarbonisere den tunge industri, er endnu ikke demonstreret. For at nedbringe prisen på PtX, bliver der også udviklet nye elektrolyseteknologier og underteknologier indenfor elektrolyse for at forbedre effektivitet og nedbringe footprint (IRENA, 2020).

De senere år har efterspørgslen på PtX inkl. bæredygtig brint været stigende bl.a. pga. subsidier i en række europæiske lande (bl.a. SDE++ i Holland og European Hydrogen Bank), planlægning af en europæisk brintinfrastruktur (supporteret af IPCEI) og en stigende PtX-efterspørgsel bl.a. drevet af RFNBO (renewable fuels of non-biological origin)-kvoter.

EU's direktiv for vedvarende energi (RED III) tilsiger, at 42 % af industrielt brintforbrug i EU skal overholde RFNBO-reglerne i 2030, og 60 % i 2035. Hvis det anvendes på det nuværende brintforbrug i Nordvesteuropa, vil dette alene indebære cirka 1,6 Mt og 2,3 Mt vedvarende brintforbrug i hhv. 2030 og 2050 (Clean Hydrogen Partnership, 2024). Hertil kommer forbrug i øvrige sektorer (skibsfart og luftfart), som også omfattes af EU-direktiver.

Det europæiske PtX-marked har den seneste tid oplevet en opbremsning, som bl.a. er drevet af forsinkelser på brintinfrastrukturen og at de optimistiske prisfremskrivninger ikke er blevet en realitet. De tidligere ambitioner om 10 mio. ton grøn brint i 2030 er nedjusteret til 2 mio. ton grøn brint i 2030 af EU-kommissionen (Burchardt et al., 2023; Martini, 2024). Til forskel for det europæiske PtX-marked er det amerikanske og kinesiske PtX-marked dog stadig i vækst med stigende efterspørgsel bl.a. drevet af IRA (Inflation Reduction Act) i USA og store kinesiske projekter (Kristensen, 2024; Schmidt, 2024).

De fleste planlagte PtX-anlæg er for nuværende landbaserede, men offshore placering af PtX-anlæg bliver også diskuteret længere ude i fremtiden (2035-2050). Mens der er åbenlyse udfordringer ved offshore PtX-produktion f.eks. i forhold til vedligehold af PtX-systemer, som på nuværende tidspunkt stadig er relativ umoden teknologi i større skala, er der også potentielle fordele ved offshore produktion på den lange bane, når teknologien er mere moden. Fordelene vil f.eks. være lavere energitransportomkostninger ved transport af brint i stedet for elektricitet og det kan åbne for nye potentielle produktionsområder længere fra land, som man ellers ikke ville udnytte til elproduktion (North Sea Wind Power Hub, 2022).

I PtX-anlæg er kernen brintproduktion, hvorefter der evt. kan tilkobles anlæg som viderekonvertere brint til at andre produkter. I denne rapport er beskrevet koncepter for produktion af brint,

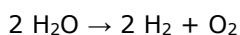
ammoniak, metanol og jetfuel, hvor kompleksiteten af anlæggene er stigende i den nævnte rækkefølge. Disse fire teknologier er inkluderet for at beskrive en bred vifte af mulige fremtidige PtX-løsninger, og dermed afdække miljøpåvirkninger fra forskellige PtX-teknologier. Disse typer af PtX-teknologier er dem som ofte diskuteres i branchen og litteraturen (Klima- Energi- og Forsyningsministeriet, 2021).

I det følgende gennemgås indledningsvis teorien bag de 4 PtX-processer, som vurderes i denne rapport i forhold til implementering offshore:

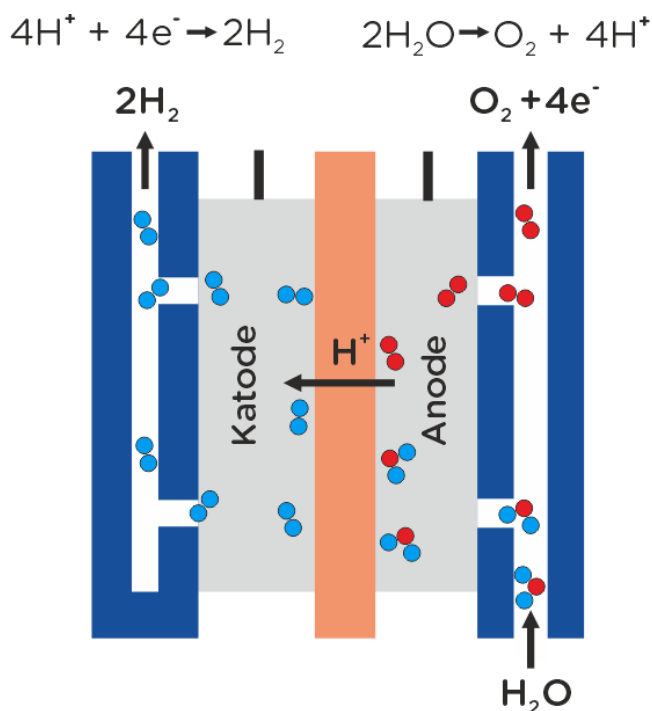
- Brint
- Ammoniak
- Metanol
- Jetfuel og andre hydrokarbonprodukter

2.2.1 Brint

Brint produceres ved en elektrolyseproces, hvor der kan benyttes forskellige typer af elektrolyse-celler. Uanset hvilken specifik teknologi der anvendes, forbliver den overordnede reaktion ens for alle typer elektrolyseceller, hvor vandmolekylet spaltes ved hjælp af elektricitet - også kendt som elektrolyse. Som følge heraf produceres brint og oxygen eksemplificeret i følgende reaktion.



Ovenstående reaktion kan deles op i to halvcellereaktioner, som foregår ved de to elektroder i elektrolysestakkene, se Figur 2-2. De forskellige elektrolyseteknologier adskiller sig ved de to halvcellereaktioner og stort set alle tekniske parametre for de forskellige elektrolyseteknologier er defineret ud fra halvcellereaktionerne, såsom f.eks. driftstemperatur og materialevalg, hvilket direkte influerer pris og levetid.



Figur 2-2 Overordnet processer i en elektrolysecelle (US Department of Energy, 2024).

Følgende kriterier vil være afgørende for valg af elektrolyseteknologier offshore (International PtX Hub, 2025):

1. Pladsbegrænsning: Offshore-platforme har begrænset plads, så kompakt teknologi er afgørende.
2. Driftssikkerhed og robusthed: Teknologien skal kunne klare udfordrende miljøforhold som høj luftfugtighed, saltvand og korrosion.
3. Effektivitet og fleksibilitet: Anlægget skal være energieffektivt og hurtigt kunne tilpasse sig udsving i strømforsyningen.

De primære typer af elektrolyseceller er alkaliske elektrolyseceller (AEC), protonudvekslingsmembranelektrolyseceller (PEM) og fastoxidelektrolyseceller (SOEC), men der findes også andre typer som f.eks. kan Bipolar Membrane Electrolysis (BPME) være relevant ved nicheproduktioner. De 3 hovedtyper af elektrolyseceller har hver deres egne fordele og ulemper, se Tabel 2-1. Den samlede vurdering mht. elektrolysecellerne er:

- Stabilitet og driftssikkerhed: Alkaliske systemer (AEC) er ideelle til industriel brug med kontinuerlig drift.
- Fleksibilitet og effektivitet: PEM-systemer er bedst til dynamiske, vedvarende energikilder.
- Mulige fremtidige celler: SOEC og AEM (Anion Exchange Membrane elektrolyseanlæg) er lovende teknologier, men stadig under udvikling.

Tabel 2-12 Fordele og ulemper ved de 3 hovedtyper af elektrolyseceller

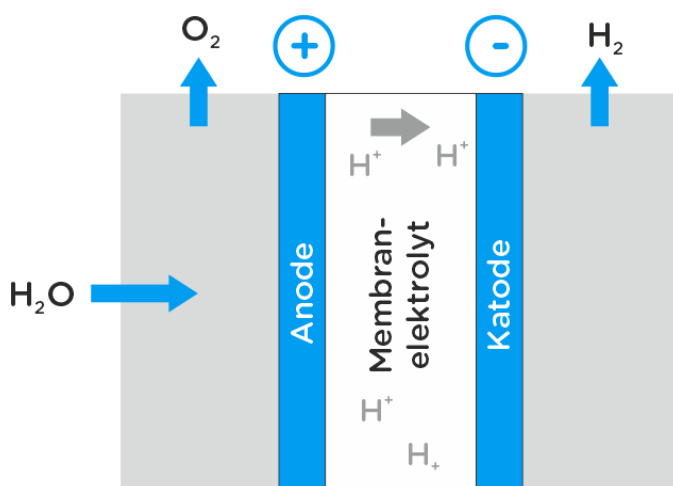
Elektrolyse teknologier	Fordele	Ulemper
AEC (Alkaliske Elektrolyseceller) Bruges traditionelt til produktion af hydrogen ved elektrolyse af vand med en flydende alkalisk elektrolyt (typisk kaliumhydroxid/lud).	• Moden teknologi: Velaftprøvet og pålidelig med mange års erfaring. • Billig: Relativt lave anlægs- og driftsomkostninger sammenlignet med nyere teknologier. • Stabile operationer: Kan håndtere kontinuerlig drift i store skalaer. • Ikke krævende på materialer: Kræver ikke kostbare katalysatorer som platin eller iridium.	• Lav dynamisk respons: Ikke velegnet til hurtige op- og nedskaleringer, hvilket gør det mindre fleksibelt i forhold til varierende strøm fra vedvarende energikilder. • Relativt lav energieffektivitet: Sammenlignet med PEM og SOEC. • Større fysiske dimensioner: Mindre kompakt end andre teknologier
PEM (Proton Exchange Membrane) Elektrolyseanlæg Bruges til produktion af hydrogen ved hjælp af en polymermembran som elektrolyt.	• Høj effektivitet: Bedre energiudnyttelse end alkaliske systemer. • Kompakt design: Kræver mindre plads og er mere fleksibelt. • Hurtig dynamisk respons: Velegnet til varierende energikilder som sol og vind. • Højere tryk: Kan producere hydrogen ved højere tryk, hvilket reducerer behovet for efterfølgende komprimering.	• Høje omkostninger: Dyr materialer (platin- eller iridiumkatalysatorer og membraner). • Kortere levetid: Udsat for degradation under længere drift. • Begrænset skala: Mere velegnet til mindre og mellemstore applikationer.
SOEC (Solid Oxide Electrolyzer Cell)	• Højeste effektivitet: Kan udnytte varme fra eksterne kilder,	• Høje driftstemperaturer: Kræver avancerede materialer, sjældne

Højtemperatur-elektrolyseanlæg, der anvender en keramisk faststof-elektrolyt	hvilket yderligere reducerer elektricitetsbehovet. • Kan omdanne CO₂: Ud over vand kan systemet omdanne kuldioxid til syntetiske brændstoffer. • Integrerbar med industrielle processer: Udnytter overskudsvarme fra andre anlæg.	jordarter, og isolering, hvilket øger omkostningerne. • Lang opstartstid: Ikke egnet til variabel energikilde. • Teknologisk umoden: Mangler demonstration i stor skala og er ikke bredt kommercielt implementeret.
--	--	---

Baseret på den tilgængelige viden, og med erfaringer fra planlagte brintanlæg, vurderes tryksatte systemer som de fortrukne teknologier til brug på offshore anlæg, dvs. PEM-systemerne og på sigt tryksat alkaliske elektrolyseceller (HPAEC). Sidstnævnte har en længere levetid sammenlignet med PEM, da den anvender membraner som er mere robuste og ikke indeholder dyre ædelmetaller såsom platin og iridium. HPAEC er dog for nuværende mindre velegnet til svingende strømfor- syning, fylder mere og har lavere effektivitet end PEM-systemer. Indtil der sker yderligere udvik- ling, vurderes PEM-teknologien at være den fortrukne løsning som følge af:

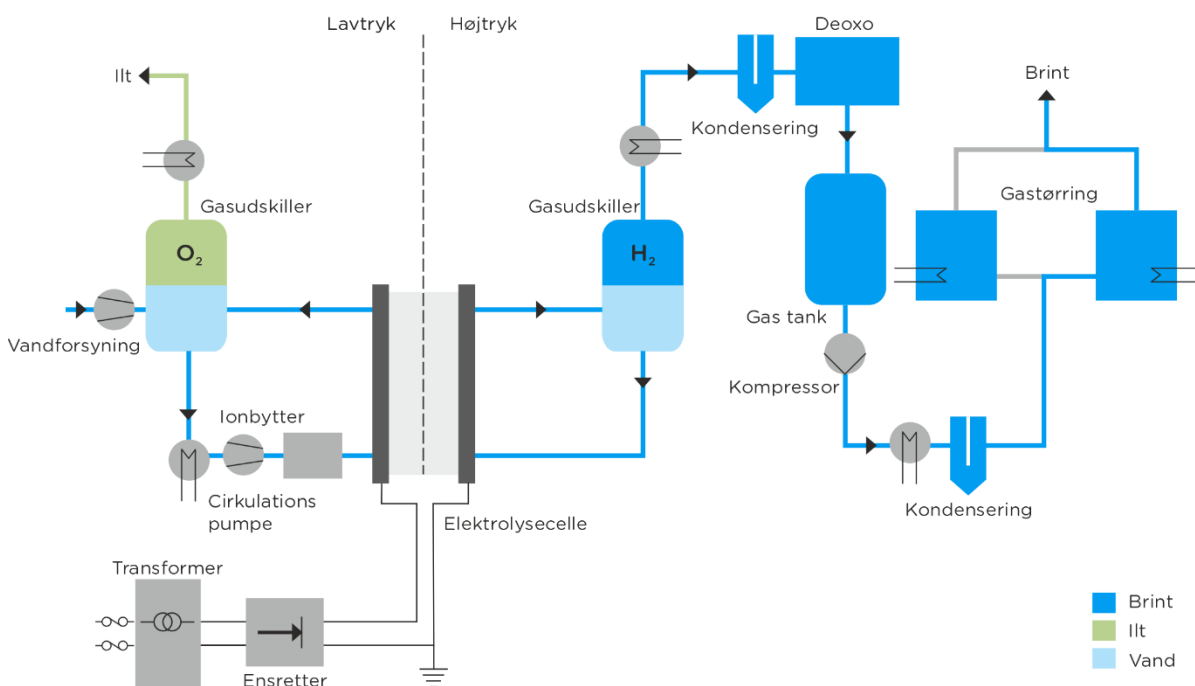
1. Dynamisk system: PEM-elektrolyse kan hurtigt justere driften efter svingende strømpro- duktion fra vindmøller. Dette gør den ideel til PtX-anlæg baseret på ustabile, vedvarende energikilder som vind.
2. Kompakt design: PEM-systemer er forholdsvis kompakte og pladsbesparende, hvilket gør dem velegnede til offshore-platforme, hvor plads er en begrænsende faktor.
3. Produktion under højt tryk: PEM-elektrolyse producerer brint ved højere tryk end alkaliske systemer, hvilket reducerer behovet for efterfølgende komprimering, som ellers kræver ekstra energi og plads.
4. Robusthed mod miljøet: Moderne PEM-systemer er konstrueret til at modstå barske mil- jøer og kan designes til offshore-brug med korrosionsbestandige materialer og hermetisk lukkede systemer.
5. Skalerbarhed til PtX: PEM er velegnet til integration i Power-to-X-processer, hvor brint kan anvendes til fremstilling af syntetiske brændstoffer, ammoniak eller metanol, alt efter behov.

For PEM-systemerne er elektrolytten en fast polymermembran, hvorved man undgår cirkulation og brugen af lud (KOH), som anvendes i forbindelse med AEC. Princippet for en PEM-celle ses i Figur 2-3.



Figur 2-3 PEM-elektrolyse enhed (Araya et al., 2022)

Trykket i den producerede brint og ilt fra PEM-elektrolysen er på typisk cirka 30-40 bar med en temperatur på omkring 80°C, hvor begge produkter er mættet med vand. Brinten køles med havvand ned til cirka 30°C, og frit vand bliver kondenseret og udsepareret. Brinten fra elektrolyseenheden indeholder spor af ilt, der fjernes i en "Deoxo" enhed, som er en lille katalytisk reaktor. Herefter tørres gassen i en gastørrer med to beholdere, hvor gassen føres over et leje af vanddampsadsorbent. Når adsorbenten i den ene beholder er mættet, skifter man beholder, mens den første beholder regenereres (figur 3-4). Når der producerede brint eksporteres, kan der være behov for at komprimere gas til måske 80 eller 130 bar. De typer kompressorer der er bedst egnede til at komprimere brint, er stempel- og membrankompressorer, der begge er fortrængningskompressorer.



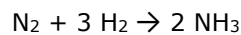
Figur 2-4 Typisk total system for brintproduktion med PEM-elektrolyse enhed (Şahin, 2024).

2.2.2 Ammoniak

Ammoniak vurderes at være et interessant PtX-brændstof, pga. af bl.a. (Iberdrola, n.d.; Sharma, 2023):

- Høj energitæthed: Ammoniak har en højere energitæthed end brint, hvilket gør det mere effektivt at opbevare og transportere.
- Lettere opbevaring: Ammoniak bliver flydende ved $-33\text{ }^{\circ}\text{C}$ sammenlignet med brints $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$, hvilket gør det meget mere praktisk til opbevaring og transport.
- Eksisterende infrastruktur: Der er allerede en global infrastruktur til ammoniaktransport og -lagring, som kan udnyttes til energiapplikationer.

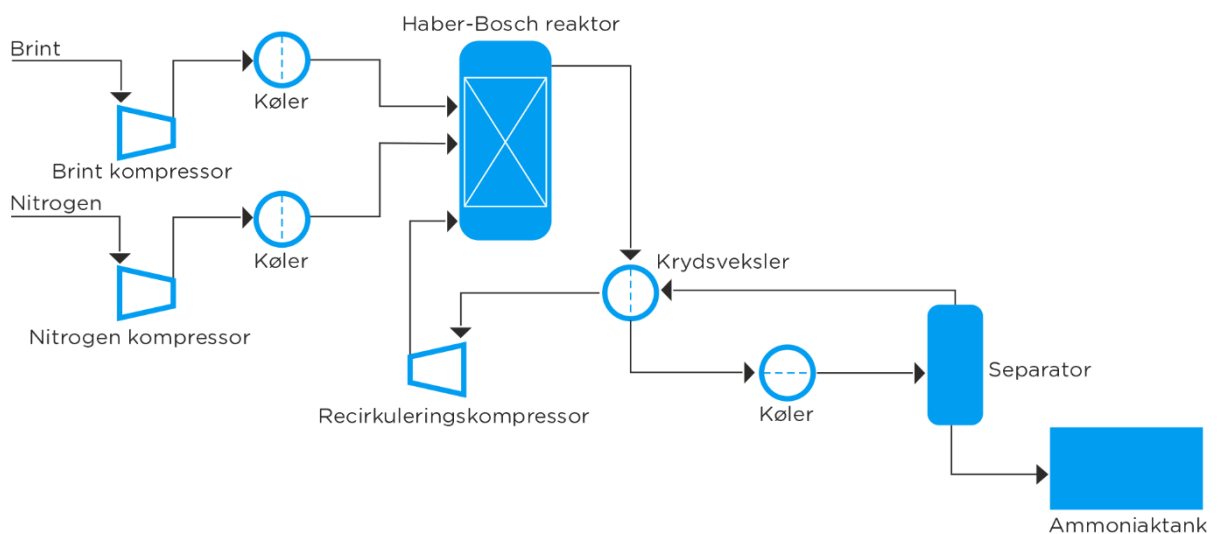
I dag er næsten al industriel produktion af ammoniak baseret på Haber-Bosch-processen, hvor nitrogen og brint kombineres under højt tryk og høj temperatur ved hjælp af en katalysator, som eksemplificeret i den følgende reaktion.



Hovedkomponenter for ammoniakproduktion er:

- Kompressorer
- Reaktorer
- Varmevekslere
- Separator/absorber
- Køleanlæg
- Lagertank til produceret ammoniak

Udover brint så er ammoniaksyntese baseret på nitrogen, der forventes at blive produceret på stedet (se afsnit 2.3.1.2). Brint og nitrogen komprimeres, varmes op og fødes ind i en Haber-Bosch reaktor. Brint og nitrogen reagerer med hinanden under højt tryk og høj temperatur og danner ammoniak. Overskydende brint og nitrogen separeres, evt. i en absorber, og recirkuleres. Ammoniakken nedkøles og kondenseres til flydende ammoniak.



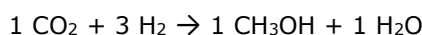
Figur 2-5 Principper i Ammoniak-processen

2.2.3 Metanol

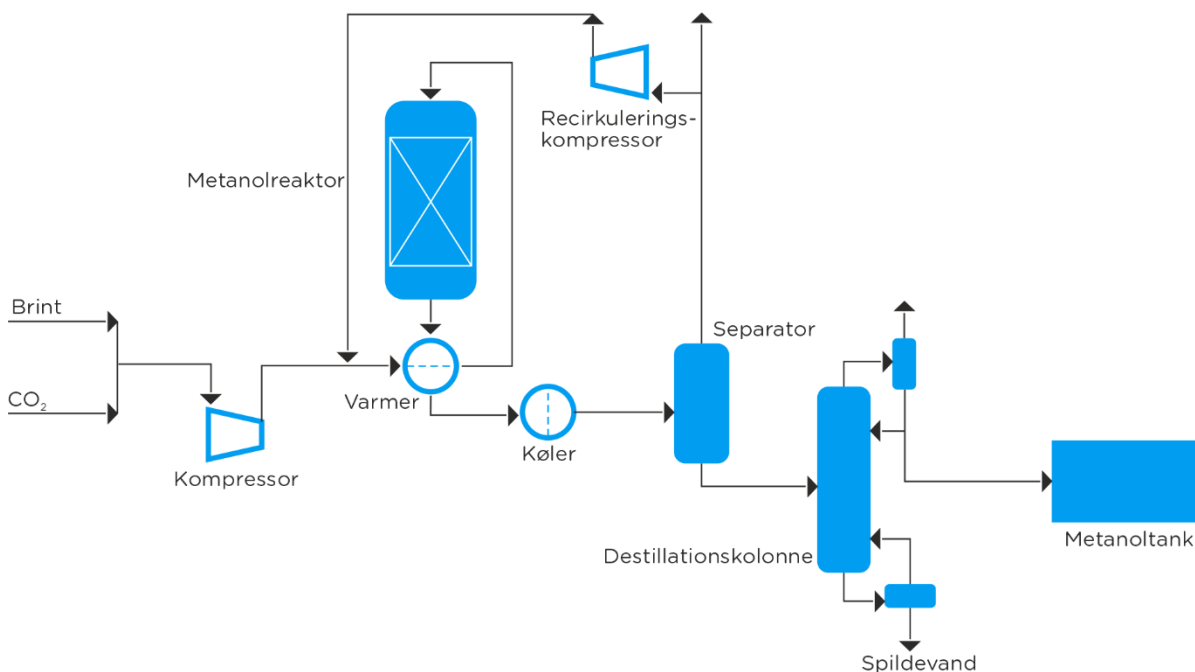
Metanol-produktion kræver modsat ammoniakproduktion en import af CO₂, men der er en række parametre som gør metanol et PtX-brændstof interessant (Araya et al., 2022; Borisut & Nuchitprasittichai, 2019; Nielsen et al., 2021):

- Høj energitæthed: Metanol har en ligeledes mere energitæthed end brint, hvilket gør det mere effektivt at opbevare og transportere.
- Lettere opbevaring: Metanol er flydende ved stuetemperatur i modsætning til brint, hvilket forenkler opbevaring og distribution.
- Metanol anvendes til mange formål overalt i verden, og kan videreforædles til kulbrinte-baserede brændstoffer
- Metanol er langt mindre giftigt end ammoniak
- Metanolsyntese kan være et alternativ til CO₂-lagring i udtjente danske offshore olie- og gasfelter, hvor der i den forbindelse etableres infrastruktur til transport af CO₂ offshore

Udover brintfremstilling er metanolsyntese således baseret på import af CO₂, der sammen med brint fødes ind i en reaktor, hvor produktet er råmetanol som eksemplificeret i den følgende reaktion:



Den anvendte CO₂ til metanolsyntese forventes at blive importeret som flydende CO₂ enten via en rørledning eller ombord på et skib (se afsnit 2.3.1.3). Brint og CO₂ komprimeres, varmes op og fødes ind i en reaktor, hvor de under højt tryk og høj temperatur reagerer med hinanden og danner metanol og vand, overskydende brint og CO₂. Herefter ledes den dannede råmetanol igennem en destillationsproces, hvor vandet fjernes og ledes overbord, mens metanolen lagres i lagertanke (se Figur 2-6). Det udledte vand kan indeholde spor af metanol. Der vil også være forskellige andre typer alkoholer som biprodukter fra destillationen, der skal håndteres og sendes i land, se afsnit 2.7.



Figur 2-6 Metanolproduktion fra brint og CO₂ (Engineers Guide, 2021).

Hovedkomponenter for råmetanolproduktion er:

- Reaktorer
- Feed- og recirkuleringskompressorer
- Separatorer
- Kølevandssystem
- Damp-generator til opstart
- Lagertank til importeret CO₂

Efterfølgende adskilles råmetanol til vand og metanol i den efterfølgende destillationsproces.

Hovedkomponenter for metanoldestillation er:

- Destillationskolonne(r)
- Kondensatorer
- Reboiler

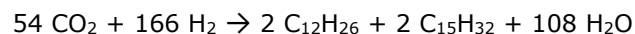
Destillationsprocessen er meget energikrævende (varme ved cirka 100-130°C) og kræver muligvis mere energi, end den varme, der er i overskud fra synteseprocessen. Dette kan om nødvendigt overkommes med en eldrevet varmepumpe.

2.2.4 Jetfuel og andre olieprodukter

E-fuel, som f.eks. jetfuel-produktion, kræver ligesom metanol-produktion en import af CO₂, men der er en række parametre som gør det interessant som PtX-brændstof:

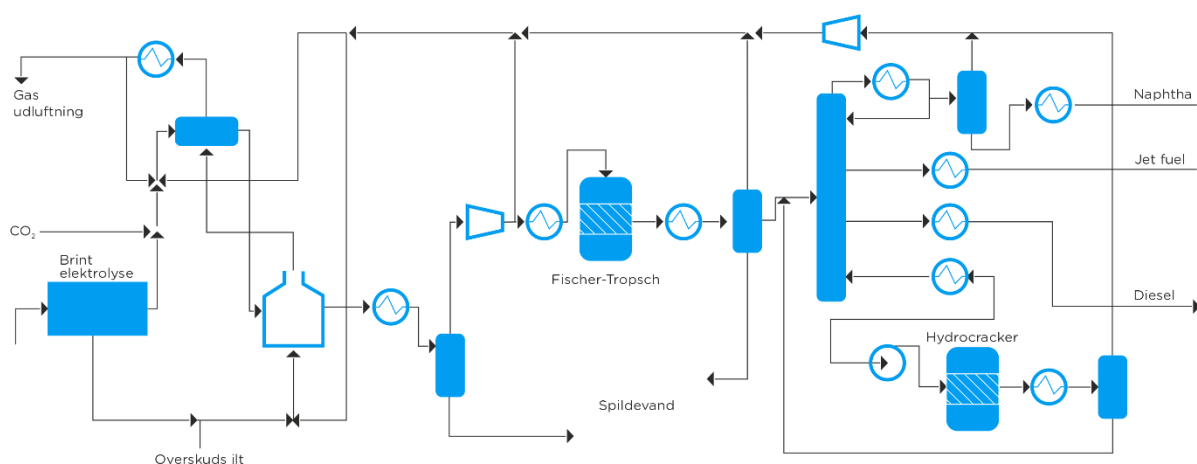
- Høj energitæthed: Flydende kulbrinter har den højeste energitæthed, når både vægt og volumen tages i betragtning.
- Det udnytter eksisterende infrastruktur og materiel, hvor flydende kulbrinter er vanskelige at erstatte

Produktion er baseret på import af CO₂, der sammen med brint fødes ind i en reformer, hvor det omdannes til vand og kulmonoxid. Brint og kulmonoxid fødes ind i en Fisher-Tropsch reaktor (Rasmussen, 2019), hvor det omdannes til syntetisk råolie, der raffineres primært til nafta, diesel, jetfuel og vand, som eksemplificeret i den følgende reaktion, hvor der dannes kerosin (jetfuel). Det skal bemærkes at reaktionsligningen ikke inkluderer mellemtrinene hvor kulmonoxid indgår.



Hovedkomponenter i anlæg til produktion af jetfuel og andre olieprodukter er:

- RWGS (Revers Water Gas Shift) reaktor
- Fisher-Tropsch reaktor
- Separator(er)
- Hydro-cracker
- Destillationskolonne
- Kedel
- Varmevexslere
- Pumper
- Lagertank til importeret CO₂
- Lagertanke til producerede olieprodukter



Figur 2-7 Principper i et Fischer-Tropsch anlæg (Müller et al., 2018; Rojas-Michaga et al., 2023).

Olieprodukterne fra Fisher-Tropsch anlægget lagres i lagertanke og vandet ledes overbord, udledninger opsummeres i afsnit 2.7. Overheadgas fra destillationen forventes at blive brugt som gasbrændsel til en dampkedel, der producerer varme til bl.a. destillationen.

Det bør bemærkes, at det er umiddelbart ikke muligt kun at lave én type af kulbrinte. For eksempel vil et sigte mod at producere flybrændstof, som er en middel-lang kulstofkæde, også producere såvel kortere som længere kæder, hvilket typisk resulterer i over halvdelen af produktet vil være benzin og diesel, som skal lagres og håndteres separat.

2.3 Offshore PtX-anlæg

Vejen fra de beskrevne teoretiske PtX-processer til konkrete løsninger offshore, gennemgås i dette afsnit. Der findes en stor erfaringsbase fra olie og gas sektoren, hvor der indgår mange af de samme processer og anlæg, som der forventes at komme i spil i forbindelse med offshore PtX-anlæg. Dette afsnit giver en bruttoliste af basissystemer, som kan anvendes i en række kombinationer af koncepter, som beskrives i det efterfølgende afsnit 2.3.3

For at muliggøre koncepterne kræves følgende ud over vedvarende energi:

- Afsnit 2.3.1. Input af en række primære produkter: Vand, nitrogen og kulstof (CO₂)
- Afsnit 2.3.3: Anlægskomponenter indgår i koncepterne
- Afsnit 2.3.2: De krævede hjælpesystemer til anlæggene

2.3.1 Primære input til PtX

De forskellige typer af PtX-anlæg kræver en række produkter:

- Vand: Til køling og til elektrolyseenheden ved brintproduktion
- Nitrogen: Input til ammoniakproduktion
- Kulstof (CO₂): Input kræves til alle kulstofbaserede produkter: Metanol, jetfuel og andre olieprodukter

2.3.1.1 Vand

Den centrale PtX-proces er elektrolyseenheden, der bruger elektrisk strøm til at producere brint fra vand. Elektrolyseenheder kræver indtagsvand med høj renhed og ledningsevne <0,2 µS/cm, som produceres af havvand.

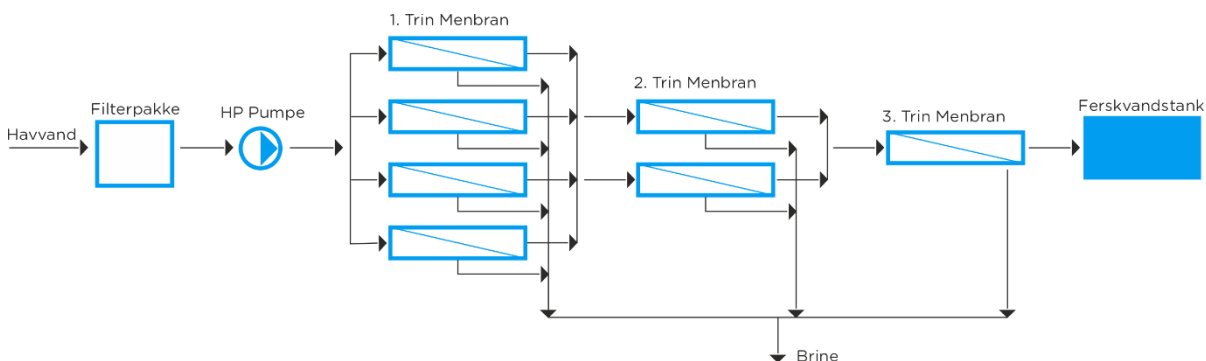
Havvand indeholder salte og sediment, tang og andet suspenderet organisk stof, som skal fjernes fra vandet, før det bruges i elektrolyse, se Tabel 2-2.

Tabel 2-2 Typer af råvand til elektrolyse - i denne undersøgelse vil der kun blive brugt havvandskvalitet

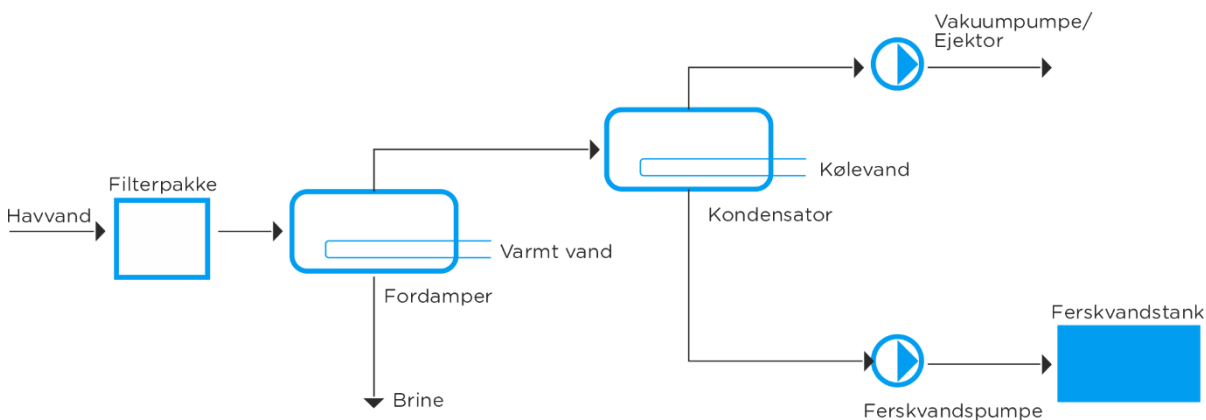
	Ledningsevne (µS/cm)	TOC/DOC indhold (mg/l)	Saltindhold (mg/l)
Havvand	50.000-100.000	3-20	15.000-30.000
Brakvand	5.000-50.000	3-20	100-15.000
Ferskvand fra søer og floder	<2.000	2-15	5-1.000
Grundvand	<1.000	0,5-5	<300
Drikkevand	100-1.000	0,2-3	5-200

Først filtreres havvandet gennem et groft filter. Dette er for at sikre udstyrets opetid ved at reducere belastningen på de fine filtre inde i afsaltningsenheden men også for at beskytte varmevekslerne. Udledningen fra filtrene forventes at blive blandet sammen med kølevandsudledningen, hvorefter det samlet betegnes som kølevand, da kølevand vil udgøre langt størstedelen af det udledte vand.

To hovedteknologier til afsaltning er blevet overvejet: omvendt osmose og termisk afsaltning. Disse systemer kræver kun elektrisk energi, dvs. der kræves ingen ekstra processystemer, og fodaftrykket vil blive reduceret.



Figur 2-8 Principper i afsaltning med omvendt osmose



Figur 2-9 Principper i termisk afsaltning

Omvendt osmose forventes at have en lavere CAPEX, et mindre fodaftryk, en lavere vægt og et lavere energibehov sammenlignet med termisk afsaltning. Omvendt osmose kræver dog mere regelmæssig vedligeholdelse end den termiske afsaltningsteknologi, hvilket øger OPEX betydeligt.

Omvendt osmose er normalt mere energieffektiv end en termisk afsaltningsenhed:

- Omvendt osmose: 6-9 kWh/m³ (inkl. strøm til forbehandling)
- Termisk: 14-26 kWh/m³ (inkl. strøm til forbehandling)

Da overskudsvarme genereret fra elektrolyseenheden ikke kan udnyttes til andre formål, såsom fjernvarme, som det er tilfældet på land, så kan den i stedet anvendes til fordampning af vand i en termisk afsaltningsenhed. Dermed vil den termiske afsaltningsproces på en offshore installation ikke være mere energikrævende end omvendt osmose.

Den termiske havvandsfordampningsenhed betjenes med vakuum (cirka 0,6 bar) ved hjælp af ejektorer efterfulgt af kondensering. Fordampningsvarmen udvindes fra "brugt" kølemedium @ cirka 58°C. Saltlageopløsningen, restvandet, der er tilbage fra fordampningsprocessen, ledes overbord sammen med returvandet fra kølevandssystemet. Dette system er en standardteknologi til ferskvandproduktion på skibe (Figur 3-9). Afsaltningsanlægget anvender hvad der svarer til ca. 1 % af vandvolumenet til kølevandssystemet. Saltlageopløsningen må derfor forventes at øge saliniteten i de udledte kølevand med ca. 1%.

Ferskvandet fra afsaltningsenheden skal gennemgå yderligere rensningsprocesser "polering" for at sikre, at vandet opfylder specifikationerne for elektrolyseenheden, hvilket sker ved EDI-rensning, hvorved der opnås en vandkvalitet på under 0,2 µS/cm. EDI elektrodeionisering er en elektrisk drevet vandrensingsproces, der involverer brug af ionbytning.

Afhængigt af kvaliteten af havvandet kan der være et behov en mekanisk forbehandling med fokus på at fjerne partikulært, ofte organisk, materiale. En evt. slamfraktion fra forbehandlingen må forventes opkoncentreret via en afvandingsteknologi og kan potentielt blive udledt til det omliggende havmiljø i samme udledningspunkt som kølevand og produktionsvand eller som en selvstændig udledning. Alternativt kan slamfraktionen fragtes til land, hvor det deponeres eller anvendes til jordbrugsformål.

2.3.1.2 Nitrogen

Direkte fangst af nitrogen

Udover brint så kræver ammoniakproduktion tilførsel af nitrogen. Direkte fangst af nitrogen fra atmosfæren på stedet synes at være den mest oplagte måde at skaffe nitrogen på, især da atmosfæren indeholder cirka 80% nitrogen.

Hovedteknologier til produktion af nitrogen er:

- Membranteknologi
- Tryksvingsabsorption (Pressure Swing Absorption/PSA)
- Fraktioneret destillation

Membranteknologi er en relativt simpel teknologi, men for at opnå den krævede renhed kræves flere trin, hvilket påvirker energieffektiviteten. Fraktioneret destillation er egnet til større mængder men er samtidig også energitung, så umiddelbart anses tryksvingsabsorption som bedst egnet til offshore PtX-produktion.

Import med skib

I princippet kunne flydende nitrogen håndteres på samme måde som LNG, Liquefied Natural Gas, og sejles ud til en lokation med et skib af samme type som en LNG-tanker, hvor det så lagres i et kryogent tanklager. Sammenlignet med direkte nitrogenfangst vil dette dog være en dyrere og mere kompliceret løsning.



Figur 2-10 LNG-tanker (Rambøll)

2.3.1.3 CO₂ transport eller produktion

Direkte fangst af CO₂

Direkte fangst af CO₂ fra atmosfæren (Direct Air Capture) på stedet kunne være en måde at skaffe CO₂ på, det vil dog ikke være uden udfordringer, da det er en meget energikrævende og pladskrævende proces. På Island er "Climeworks Mammoth plant" anlægget ved at blive sat i drift. Dette har et fodaftryk på cirka 13.500 m² og fuldt udbygget, har det en kapacitet på 36.000 tons/år. Dvs. for at matche brintproduktion fra f.eks. 500 MW elektrolyse vil CO₂-anlægget have et fodaftryk på over 200 ha, hvilket i dag ikke anses som en praktisk mulig løsning for offshore PtX-produktion.

Transport med skib

I stedet kan CO₂ fragtes med skib, en velkendt teknologi til transport af CO₂ som anvendes bl.a. i forbindelse med CO₂-lagring offshore. Samme type skib vil kunne bruges til eksport af ammoniak, se Figur 2-10.

Endelig kan CO₂ transporteres via en rørledning, hvilket så betyder der i stedet skal anlægges en CO₂ terminal på land, hvorfra CO₂ opsamles og processeres før videre transport. En rørledning kunne evt. etableres i områder, hvor der også ville være deponering af CO₂ i undergrunden. Driften af en CO₂ rørledning kan være problematisk, fordi dette kræver et jævnt forbrug/flow, hvilket kan være vanskeligt på et PtX-anlæg med fluktuerende produktion.

2.3.2 Hjælpesystemer

2.3.2.1 Dæksdræn

På alle installationer vil det være områder med udstyr, hvor der er en lille risiko for mindre spild og kontaminering af regnvand. Formålet med et åbent drænsystem er at opsamle disse spild i drypbakker under pumper og udstyr samt samle regnvand m.m. og at sikre, at eventuelle olieholdige stoffer bliver separeret fra, inden vandet ledes ud i havet.

De åbne dræn leder til den åbne dræntank, hvor olieholdige stoffer udskilles ved hjælp af gravitation, før det rensede vand udledes til havet. Under normal drift vil der ikke være nogen udledning af kulbrinter. Vandet ledes ud i havet via en åben drænledning (caisson), som ender 10 m under havoverfladen. Mængderne af miljøfarlige stoffer i disse udledninger vil derfor være meget små og udgør ikke nogen risiko for det omgivende hav.

2.3.2.2 Procesvand

I forbindelse med produktion af jetfuel og andre olieprodukter frasepareres vand både efter RWGS-reaktoren og Fisher-Tropsch reaktoren. Begge vandstrømme vil indeholde organiske biprodukter, og derudover er der opløst CO og CO₂ i vandet.

Med den eksisterende vandbehandlingsteknologi fra offshore olie- og gasproduktion kan indholdet af oliekomponenter reduceres til under 15 ppm og koncentrationen af andre organiske biprodukter vil typisk kunne holdes under 50 ppm.

I forbindelse med metanolproduktion vil der lige ledes være en produktion af procesvand som beskrevet i Tabel 2-3. Koncentrationen af metanol forventes under 50 ppm og den samlede udledning forventes at være under 50 liter om dagen. Metanol bliver af OSPAR (Oslo Paris Konventionen), som kategoriserer kemikalieudledningen fra offshore platforme i bl.a. Nordsøen, kategoriseret som et PLONOR (Pose Little or No Risk) stof og udgør i disse mængder ingen risiko for det omgivende miljø. På sigt er det måske være muligt at en del af det producerede vand kan recirkuleres, men på grund af elektrolyseanlæggenes krav til renhed, er dette endnu ikke muligt offshore. Hvis indholdet af olieholdige- og organiske stoffer skal reduceres til det niveau, vil det således kræve rensning af produktionsvandet i et biologisk anlæg, der på grund af arealkrav kan blive en udfordring på et offshoreanlæg.

Tabel 2-3 Anslået vandproduktion ved offshore PtX-produktion

Anlæg	Vandproduktion (m ³ /t)
Metanol baseret på 500 MW brint produktion	28 m ³ /t
Jetfuel mm. baseret på 500 MW brint produktion	60 m ³ /t

2.3.2.3 Vent/fakkelsystem

For at minimere risiko for at der opstår eksplosive eller giftige atmosfærer i områderne omkring procesanlæggene, skal ilt- og udledningsgasser udledes i en sikker lokation, hvorfor der vil være behov for udluftningstårne og eventuel afbrænding i et fakkeltårn.

Brintproduktion

Den producerede ilt fra elektrolysen ledes til et iltudluftningstårn, der er i sikker afstand fra andre udluftningstårne.

Under opstart, nedlukning og i nødsituationer vil der være behov for at brint fra procesanlægget blive ledt til et brintudluftningstårn.

Ammoniakproduktion

Under opstart, nedlukning og i nødsituationer vil procesgas fra procesanlægget blive ledt til et udluftningstårn, der eventuelt kan kombineres med brintudluftningstårnet.

For at undgå akkumulering af urenheder i recirkuleringsstrømme er det nødvendigt kontinuerligt at udlede en delstrøm af recirkuleringsstrømme til atmosfæren. For at minimere tab kan der evt. installeres en gasrensingsanlæg (gasskrubber), hvor produktet er ammoniakvand, der må bringes i land til videre bearbejdning.

Metanolproduktion

Under opstart, nedlukning og i nødsituationer vil procesgas fra procesanlægget blive ledt til et udluftningstårn, der eventuelt kan kombineres med brintudluftningstårnet.

Der vil desuden være kontinuerlig udluftning af ikke-kondenserbare gasser fra metanolprocessen, som brint, CO₂ og metanoldampe.

Produktion af jetfuel og andre olieprodukter

Under opstart, nedlukning og i nødsituationer vil procesgas fra procesanlægget blive ledt til et udluftningstårn, der eventuelt kan kombineres med brintudluftningstårnet.

Der vil desuden være kontinuerlig udluftning af ikke-kondenserbare gasser fra processen.

2.3.2.4 Reservestrøm

I de perioder hvor vindstrøm ikke er til rådighed, f.eks. på grund af manglende vind, vedligehold eller nedbrud, vil der være behov for reservestrøm. Dette kan komme fra en større batteripakke, brændselsceller eller en reservegenerator.

Reservegeneratoren vil typisk være drevet af en dieselmotor, hvorfor der i dette tilfælde vil være behov for import af diesel enten gennem en opfyldningsslange eller i containertanke. Typisk oplag på en bemanded platform er cirka 50 m³.

2.3.2.5 Kølevand

For at kunne afgive varme fra procesanlægget vil der være installeret et kølevandssystem til at køle procesenhederne enten direkte eller indirekte.

Kølevandsindtaget vil være placeret så dybt som praktisk muligt for at få så koldt kølevand som muligt, men samtidig så højt at man undgår at suge sedimenter fra havbunden med op. For at undgå kortslutning, placeres udløbet så højt som praktisk mulig. For at minimere risikoen for kalkaflejringer og vækst af organiske organismer skal returtemperaturen holdes under cirka 32°C.

Kølevandssystemet fungerer også som fødestrøm til procesvand, se afsnit 2.3.1.1 for flere detaljer.

Tabel 2-4 Forventet kølevandsbehov ved offshore PtX-produktion

Anlæg	Kølevandsflow (m ³ /t)
Brintmølle 15 MW	300 m ³ /t
Brint produktionsanlæg 500 MW	10.000 m ³ /t
Ammoniak baseret på 500 MW brintproduktion	19.000 m ³ /t
Metanol baseret på 500 MW brintproduktion	18.000 m ³ /t
Jetfuel mm. baseret på 500 MW brintproduktion	17.600 m ³ /t

2.3.2.6 Brandvand

På bemandede offshore PtX-anlæg må det forventes, at der er behov for installation af et brandvandsanlæg, der pumper vand op fra 10-20 meters dybde, ved store vanddybder, eller midt i vandsøjlen ved lavere vanddybder.

For at undgå biologisk begroning vil der være behov for lejlighedsvis at tilsætte hypoklorit i en batchproces, f.eks. under test af anlægget. Sammenlignet med hvad der tilsættes til kølevandsanlægget, vil dette være negligibelt, fordi brandvandspumper kører få timer om året. Der bør således forventes et forbrug af brandvand på cirka 25.000-50.000 m³ om året.

På et offshore PtX-anlæg vil der desuden være behov for skum til eventuel brandslukning. Disse brandslukningssystemer vil kun anvendes i forbindelse med en egentlig brand, og der vil således ikke være udledninger forbundet med normal drift.

2.3.2.7 Kemikalieinjektion

For at undgå tilkalkning af afsaltningsenheden tilsættes antiscala kemikalie (udfældningskontrol) i indtagsvandsstrømmen, derudover skal der nok tilsættes biocid (antifouling) i hele kølevandsstrømmen. Et alternativ til biocider kan være UV behandling. For mængder se afsnit 2.5.

2.3.3 **Anlægskomponenter**

2.3.3.1 Topside moduler

Procesanlæg, der skal installeres offshore, monteres typisk i store moduler, der indeholder hele procesanlægget eller delanlæg, der kan færdiggøres og afprøves på land. Størrelsen er begrænset af løftefartøjets kapacitet, og her skal det bemærkes, at der på verdensplan kun findes ganske få af de helt store fartøjer, som f.eks. Saipem's S7000 (14.000 tons) og Heerema's Sleipnir (20.000 tons), desuden findes der Allseas' Pioneering Spirit, der ved "floatover" operation kan installere og fjerne endnu større moduler. Det største helt færdige modul installeret til dato er Equinor's Johan Svedrup procesmodul på 22.000 tons. Proces- og beboelsesmodulet på PtX-anlæggene forventes i

denne analyse at være i størrelsesorden 15-20.000 tons, hvilket således kræver at de største løftefartøjer på markedet anvendes ved installation.

Procesanlæg på en brintmølle, forventes inkl. dæksstruktur at veje i størrelsesordenen af 1.000 ton for et 15 MW anlæg. Hvorledes procesanlægget monteres på brintmøllen afhænger meget af udformningen af fundamentstrukturen, men for fremtidige kommercielle anlæg forventes dette at være en del overgangsstruktur mellem monopile eller jacket og mølle, og at dette kan løftes på plads ved få løft med et større kranskib.

2.3.3.2 Beboelse

Udgangspunktet vil formentlig være, at PtX-anlæggene styres fra land og kan opereres ubemandet. Når det så er sagt, må det alligevel forventes, at der i lange perioder vil være personale til stede under opstart, driftsoptimering samt vedligehold og reparation. Der vil derfor formentlig være behov for beboelsesfaciliteter til måske 30-60 personer. Medmindre der er tale om egentlige nødbeboelser, må det forventes, at beboelserne på PtX-platforme lever op til de samme standarder, der i dag gælder for olie- og gasinstallationer.

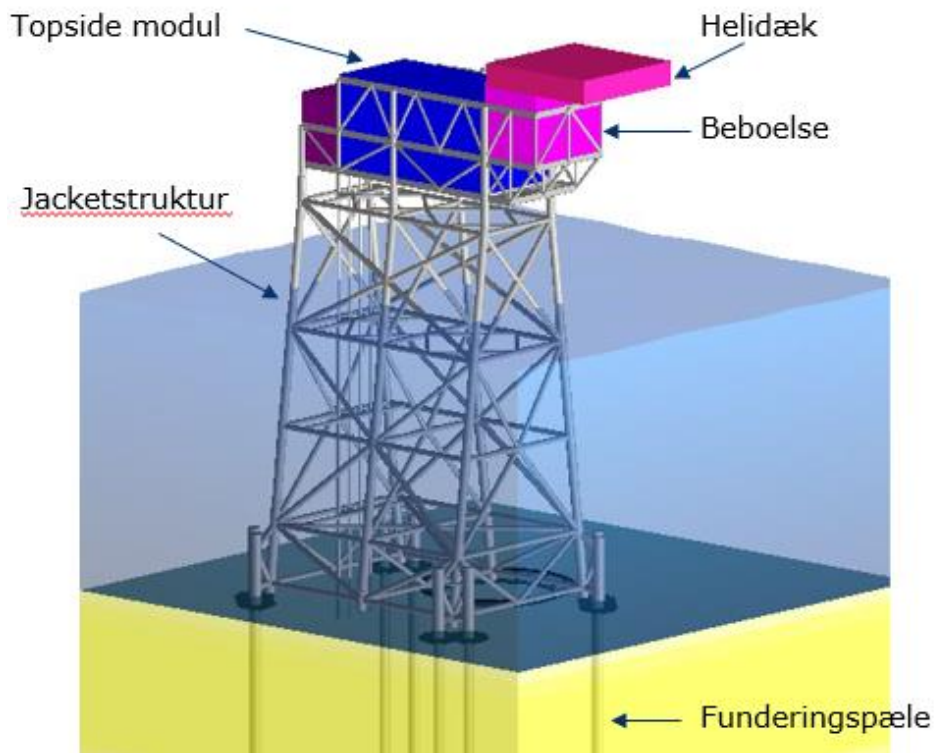
Transport til de faste platforme vil formentlig være med helikoptere, der er mindre vejrafhængige en skibstransport. Transport til brintmøller kan kun ske med skib.

Med beboelsen følger behov for ferskvands- og kloaksystemer. Ferskvand kan enten sejles ud med skib eller forsynes fra et havvandsafsaltningsanlæg. Her skal det bemærkes, at de mængder ferskvand, der bruges til beboelsen, kun udgør promiller af, hvad der bruges til elektrolyse.

På en fast offshore installation vil der normalt være en spildevandsrensningseenhed, der er baseret på biologisk nedbrygning af organiske stoffer. Problemet med disse enheder er, at de ikke virker ordentligt før, efter at de har været i drift i cirka 1 uge, dvs. ved kortere besøg har de ingen eller begrænset effekt, så man kan lige så godt nøjes med at installere en "macerator" (en kværn som gør det muligt at pumpe organisk affald via rørledning til havet). Mængden af fast organisk affald antages begrænset og er anerkendt metode til håndtering på offshore platforme.

2.3.3.3 Fundamentsstruktur

Topsidemodulerne installeres typisk på en stålkonstruktion også kaldes "jacket", der er fastgjort til havbunden ved hjælp af pælefundering eller alternativt sugeankre ("suction bucket"). I Nord-søen vil frihøjden af topsidemodulerne typisk være cirka 25 m, mens fodaftrykket af en 6-benet "jacket" til at bære 15-20.000 tons topside vil være cirka 60x30 m på havbunden.



Figur 2-11 Typisk offshore platform på jacketstruktur (Rambøll)



Figur 2-12 Typisk offshore platform installeret på toppen af en tank (GBS)

Hvor der er behov for en større lagertank, til f.eks. lagring af produceret jetfuel og andre olieprodukter (se afsnit 2.4.4), er dette ofte kombineret med en "jacket"-struktur, hvor tanken står direkte på havbunden og "jacket"-strukturen er installeret oven på denne. Dette betegnes som "Gravity Based Structure (GBS)". Lagertanken bygges på land og slæbes up til feltet og sænkes ned. Et eksempel herpå er INEOS' Syd Arne platform med en 85.000 m³ olietank i en betontank

(Offshore Technology, 2000), hvorpå der installeret et betontårn og en stålkonstruktion til at bære topsidemodulet. Et andet eksempel på en GBS er Adriatic LNG Terminal, der bruges til import af kryogen LNG og har en lagerkapacitet op til 250.000 m³.

2.3.3.4 Flydende produktionsenheder (FPSO)

Når der ikke findes en egnet rørledningsinfrastruktur til eksport af f.eks. råolie, og der således er behov for et lager, der kan produceres til, indtil der kommer en shuttle tanker og laster produktionen, har man ofte et kombineret produktionsanlæg, lager og eksport i en såkaldt FPSO (Floating Production, Storage, and Offloading unit), der er et flydende offshore produktions- og lageranlæg.

En FPSO er typisk et skibslignende fartøj, der er designet til at flyde på havet og forblive på en fast position ved hjælp af et forløjningssystem. Herudover består en FPSO af procesmoduler, lagertanke placeret i skibets skrog, beboelse og laste-/lossesystemer.

Lastning og losning foregår typisk gennem slanger monteret på skibets agterende.



Figur 2-13 Nexus FPSO (Rambøll)

FPSO'er er til olie- & gasproduktion typisk blevet brugt på større vanddybder og langt fra land. Potentielle kystnære, skibsbaserede PtX-anlæg, vil sandsynligvis også skulle anvende fartøjer, der har en dybgang på mellem 10 og 15 meter, som for eksempel det norske firma H2Carrier, der ifølge deres hjemmeside, vil genanvende VLGC (Very Large Gas Carrier)-fartøjer. For danske forhold vurderes dette mindre relevant, bl.a. fordi der er meget få steder med de krævede vanddybder.

2.3.3.5 Undervandssystemer

Rørledninger

Brint produceret fra en central brintproduktionsplatform vil blive ført i land til en modtageterminal i en rørledning, formodentlig i en rørdimension på 10-16".

Brint fra decentrale brintmøller vil blive ført i 2-4" rørledninger til en manifold på havbunden og derefter via rørledning på 10-16" blive ført til en modtageterminal på land.

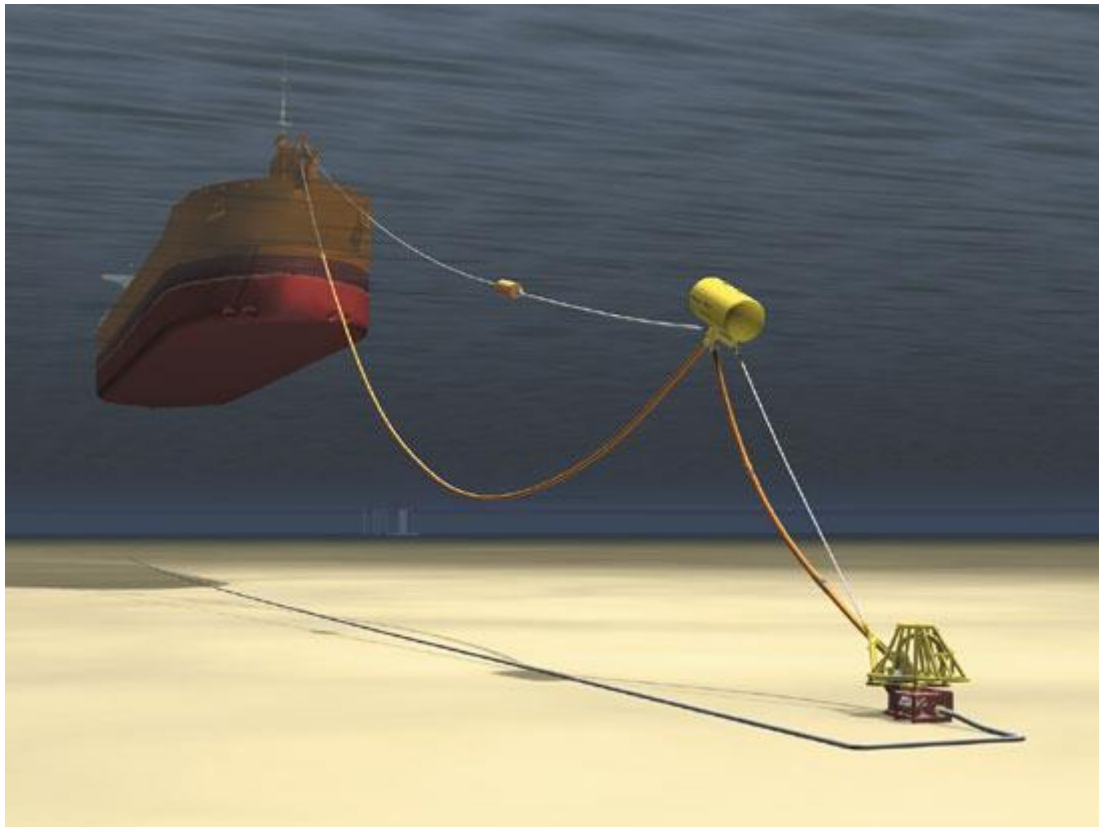
CO₂ kan tillige transporteres via rørledning fra en terminal på land og/eller i forbindelse med off-shore lagringsanlæg. Rørledning vil nok have en rørdimension på 10-12".

Hvorvidt rørledninger kan ligge direkte på havbunden eller skal nedgraves afhænger af størrelse, forventet skibstrafik og risikoen for tabte objekter. Typisk nedgravningsdybde er 1-2 m.

Lastebøjer og fortøjningssystemer

Lastebøjer til import af CO₂ og eksport af flydende brændstoffer installeres i sikker afstand fra procesplatformen (~2-3 km).

Der findes mange forskellige designs. Det kan være en bøjle der er forankret til havbunden med ankerkæder. Der vil være et fleksibelt stigrør, der forbinder rørledningen fra platformen med bøjen. Shuttle-tankeren vil være koblet op mod bøjen med en slange, der flyder på havoverfladen. Et andet design er en svirvel, der monteres direkte på havbunden, hvorfra der går en slange op til shuttle-tankeren, se eksempel i Figur 2-14.



Figur 2-14 Tankeskib tilkoblet lastesystem (Rambøll)

Valg af fortøjningssystemer til flydende produktionsenheder afhænger af vejrforhold, bølgeprofil samt strømforhold, vanddybde og fartøjsdesign.

I Nordsøen vil det typisk være et "turret mooring" system, et specialiseret fortøjningssystem, der bruges i flydende offshore strukturer som Flydende Produktions-, Lager- og Afladningsenheder (FPSO). Systemet tillader fartøjet at forblive fortøjet, mens det frit kan dreje (weather vaning) rundt om tårnet, hvilket er vigtigt i barske havmiljøer, hvor vind, bølger og strømme ændrer retning.

Nøglekomponenter i systemet er en "turret", en lodret cylindrisk struktur, der er integreret i eller fastgjort til det flydende fartøj, dvs. kernen hvorom fartøjet roterer. Denne er forankret til ankerblokke på havbunden ved hjælp af ankerkæder eller kabler, der strækker sig fra havbunden til tårnet. Disse linjer holder tårnet og fartøjet i en fast geografisk position, selvom fartøjet roterer omkring tårnet. Import og eksport af produkter sker gennem fleksible stigrør.

2.4 Udbygningskoncepter

Med kendskab til de teoretiske PtX-processer, anlægskomponenter som skal indgå i offshore PtX-anlæg samt udførte overslagsberegninger og skaleringer ud fra tidligere projekter, præsenteres en række udbygningskoncepter for de forskellige PtX-teknologier. Ud fra de anlægskomponenter, der er beskrevet i afsnit 2.3 findes således en lang række muligheder for at kombinere PtX-anlæg i forskellige udbygningskoncepter.

Beskrivelserne af udbygningskoncepter foretages for hver PtX-teknologi, hvor kompleksiteten af koncepterne stiger fra anlæg, der udelukkende producerer brint, til de mest komplekse anlæg, som inkluderer produktion af jetfuel og andre kulbrinte produkter.

Koncepterne omfatter decentrale anlæg dvs. brintproduktion er integreret i hver mølle samt decentrale anlæg hvor vindmøllerne leverer strøm til de forskellige PtX-teknologier på platforme eller FPSO'er.

Analysen tager ikke stilling til hvilke kombinationer af koncepter, der er teknisk mest attraktive eller rentable, da den teknologiske udvikling kan åbne op for nye løsninger, der på nuværende tidspunkt ikke er praktisk mulige eller økonomisk bæredygtige.

2.4.1 Brint

2.4.1.1 Brintmølle

Kapaciteten på en decentral brintmølle vil svare til størrelsen af de offshore møller, der er tilgængelige. Med dagens teknologi er det cirka 15 MW. Næste generation bliver måske cirka 25 MW.

Procesfaciliteterne forventes at blive placeret på et dæk mellem fundamentstrukturen og mølletårnet.

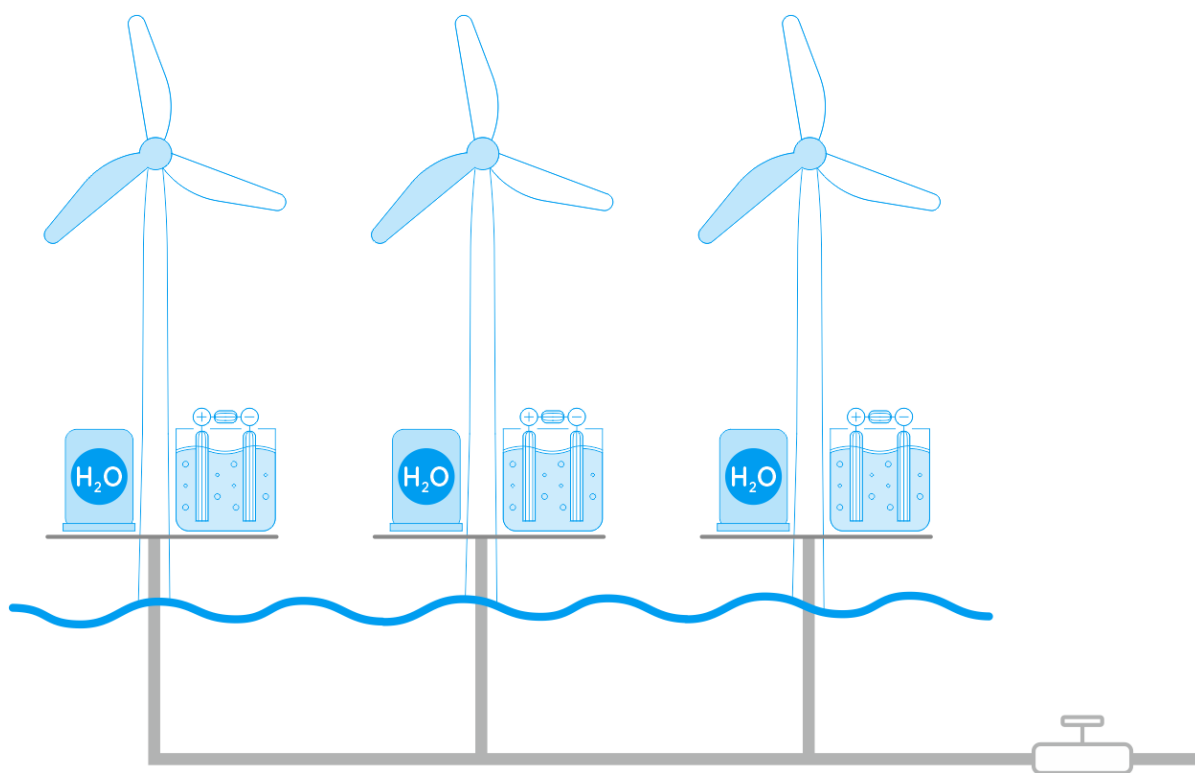
På en 15(25) MW brintmølle vil der være:

- Afsaltningseenhed med kapacitet på cirka 3(5) m³/t
- Elektrolyseenhed og efterbehandlingsanlæg med en produktionskapacitet på cirka 280(470) kg/t ved 30-40 bar
- For alkaliske elektrolyseanlæg kan der være behov for et oplag af lud (KOH)
- Kølevandssystem med et indtag på cirka 300(500) m³/t til bortskaffelse af cirka 4(6,5) MW varme
- Udluftningstårn for kontinuerlig udledning af ilt
- Udluftningstårn for lejlighedsvis udledning af brint (få timer om året)
- Brinteksportørledning

- Kemikalieinjektionssystemer
 - Antiscale (udfældingskontrol): inklusive cirka 1 m³ tank
 - Biocid (antifouling): inklusive cirka 2(3) m³ tank svarende til 60 dages operation
- Nitrogenflasker til gennemskylning af procesanlæg
- Reservestrømforsyning, f.eks. 25 kW generator med 2,5 m³ diesellager til 14 dages drift
- Åbent drænsystem

Vægten af procesanlæg inkl. dækstruktur forventes at være i størrelsesorden af 1.000 tons for 15 MW ved en direkte skalalering efter olie og gas normer. Ved fremtidige mere kompakte systemer kan dette forventeligt optimeres til en lavere vægt.

Brintmøllen forventes at kunne operere uden bemanning i længere perioder. Transport til brintmøllen vil foregå med skib, og der vil ikke være nogen personalefaciliteter, udover eventuelt et nødtoilet.

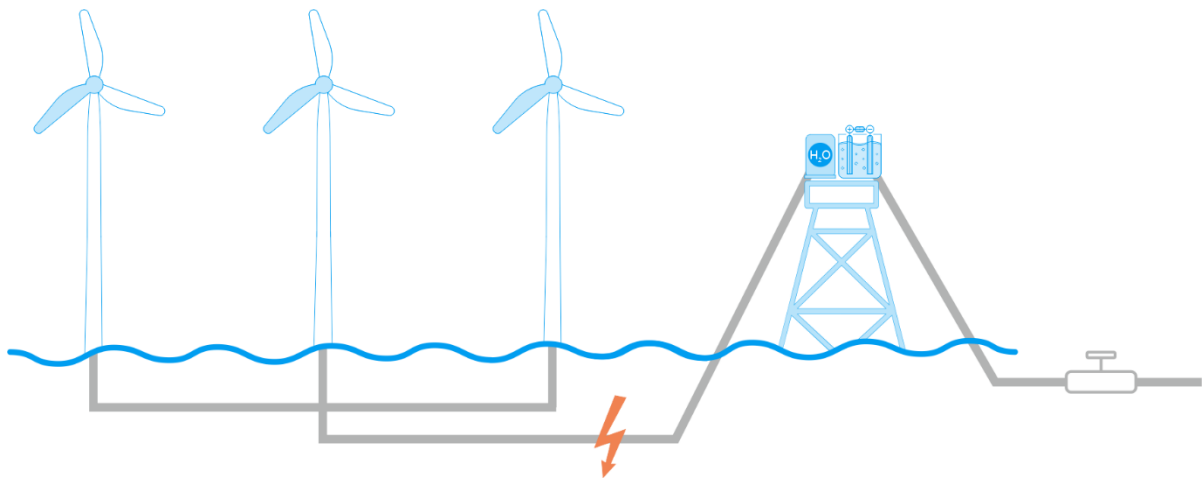


Figur 2-15 Brintmøller som eksporterer brint via mindre rørledninger til en fælles større eksportrørledning.

2.4.1.2 Brintproduktion på platform

Med den nuværende teknologi er det muligt at installere et elektrolyseanlæg med en kapacitet på cirka 500 MW på én platform. Et større anlæg vil kræve flere platforme. Vægten af proces- og beboelsesmodul på 1 platform forventes at være i størrelsesorden 15-20.000 tons, der vil være installeret på en fundamentkonstruktion, formentlig af stål, en såkaldt "jacket".

Platformsstørrelser forventes ikke at blive meget større i fremtiden, men udvikling af elektrolyse-teknologien kan øge effektiviteten og dermed brintproduktionen.



Figur 2-16 Vindmøller koblet til platform for produktion af brint og eksport via rørledning.

På sigt vil produktionsanlægget forventes at kunne operere uden bemanning i længere perioder, men under opstart, driftsoptimering samt vedligehold og reparation, vil der være behov for bemanning, måske 30-60 mand. Transport forventes at være med helikopter. Med beboelsen følger behov for ferskvands- og kloaksystemer.

På en 500 MW brintproduktionsplatform vil der være:

- Afsaltningsenhed med kapacitet på cirka 100 m³/t
- Elektrolyseenhed og efterbehandlingsanlæg med en produktionskapacitet på cirka 10.000 kg/t
- For alkaliske elektrolyseanlæg vil der være behov for et oplag af lud (KOH)
- Afhængig af det krævede eksporttryk og elektrolyseteknologien kan der være behov for brintkompression
- Kølevandssystem med et indtag på cirka 10.100 m³/t til bortskaffelse af cirka 135 MW varme
- Udluftningstårn for kontinuérlig udledning af ilt
- Udluftningstårn for lejlighedsvis udledning af brint eller nitrogen
- Brinteksportrørledning
- Kemikalieinjektionssystemer
 - Antiscale: inklusiv cirka 1 m³ tank
 - Biocid: inklusiv cirka 40 m³ tank svarende till fire ugers operation
- Nitrogenanlæg til gennemskylning af procesanlæg
- Reservestrømforsyning, f.eks. 200 kW generator med 25 m³ diesellager til 14 dages drift
- Åbent drænsystem
- Ferskvandssystem
- Kloakanlæg
- Helikopterdek inklusiv brandbekæmpelsesenhed
- Aktive brandbekæmpelsessystemer

2.4.2 Ammoniak

Til produktion af ammoniak offshore kan der anvendes en platform- eller en FPSO-baseret løsning. Et yderligere alternativ kunne være hybridløsninger, hvor man kombinerer f.eks. brintmøller eller brintplatforme til en ammoniak FPSO, men overordnet ændrer det ikke på den samlede udledning fra ammoniakproduktionen.

Udover brugen af brint så er fremstilling af ammoniak baseret på nitrogen, der forventes at blive produceret på stedet. Ammoniak eksporteres som flydende ammoniak med skibe eller via rørledning.

På sigt kan produktionsanlægget måske opereres uden bemanning i perioder, men for nu antages det, at anlægget vil være permanent bemandedt, måske med 30-60 mand. Transport forventes at være med helikopter. Med beboelsen følger behov for ferskvands- og kloaksystemer.

Baseret på 500 MW elektrolyse er den forventede mængde produceret ammoniak 57 tons/t, dvs. der til 10 dages produktion kræves et lager på 13.500 tons.

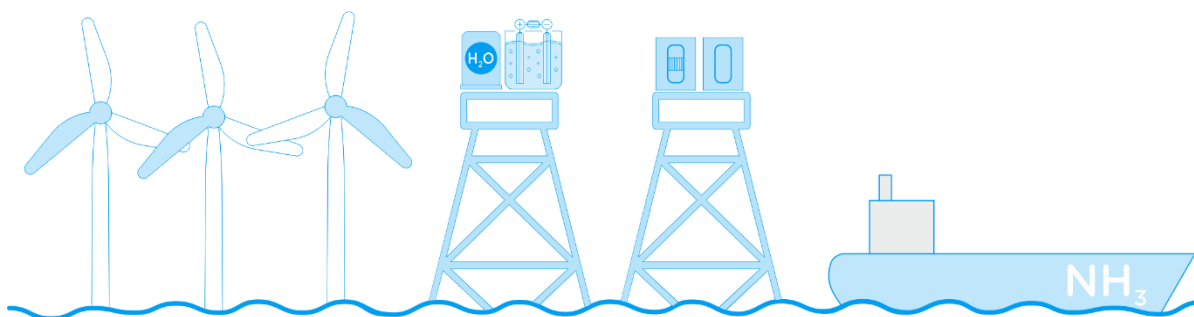
På et 500 MW ammoniakproduktionsanlæg vil der være:

- Afsaltningseenhed med kapacitet på cirka 100 m³/t
- Elektrolyseenhed og efterbehandlingsanlæg med en produktionskapacitet på cirka 10.000 kg/t
- Kølevandssystem med et indtag på cirka 19.100 m³/t til bortskaffelse af cirka 260 MW varme
- Luftseparationsenhed med en nitrogenproduktionskapacitet på cirka 46.700 kg/t
- Fødegas og recirkulationskompression
- Haber-Bosch reaktor og separator/absorber med ammoniakproduktionskapacitet på cirka 56.700 kg/t
- Ammoniaklager og -eksport
- Udluftningstårn for kontinuerlig udledning af ilt
- Udluftnings-/fakkeltårn for udledning af brint, nitrogen eller ammoniak
- Kemikalieinjektionssystemer
 - Antiscale: inklusive cirka 1 m³ tank
 - Biocid: inklusive cirka 35 m³ tank svarende til fire ugers operation
- Reservestrømforsyning, f.eks. 400 kW generator med 50 m³ diesellager til 14 dages drift
- Åbent drænsystem
- Ferskvandssystem
- Kloakanlæg
- Helikopterdek, inklusive brandbekæmpelsesenhed
- Aktive brandbekæmpelsessystemer

2.4.2.1 Platformløsning for ammoniakproduktion

Udover vægten for brintanlægget vil et ammoniakproduktionsanlæg forventes at være i størrelsesorden 30-35.000 tons fordelt på to moduler installeret på en fundamentskonstruktion med integreret lagertank, en såkaldt GBS, denne vil enten være bygget af stål eller beton.

Fra ammoniakproduktionsplatformen vil der gå en 2-3 km lang rørledning til en lastebøje, hvor der f.eks. en gang per uge kommer en shuttle-tanker for at laste ammoniakken. De 2-3 km afstand mellem lastebøje og platform er af sikkerhedshensyn og en vis afstand er krævet af hensyn til skiftende vindretninger.



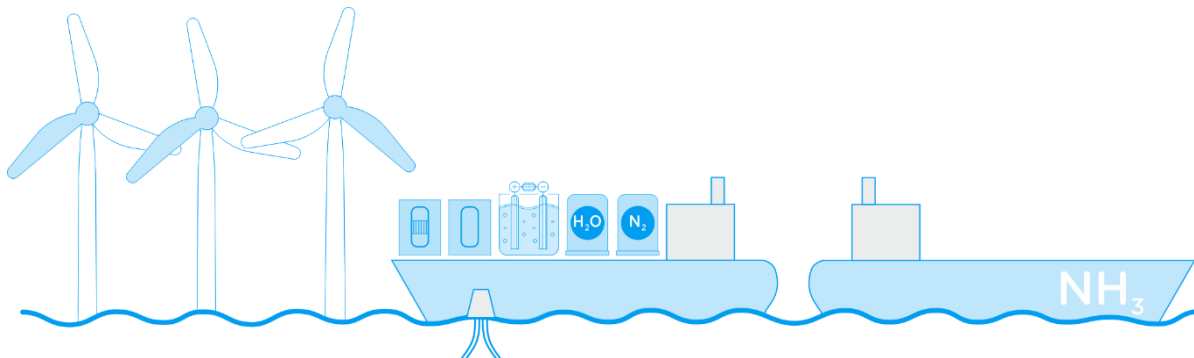
Figur 2-17 Vindmøller koblet til platform for produktion af brint og ammoniak, og eksport via skib.

2.4.2.2 FPSO-løsning for ammoniakproduktion

Vægten af beboelse, brintproduktionsanlæg og ammoniakproduktionsanlæg forventes at være i størrelsesorden 45-60.000 tons. Med en lagerkapacitet på 13.500 tons må det forventes, at FPSOen har en fortrængning² (displacement) i størrelsesorden af 100.000 tons, hvilket svarer til et 215 m langt skib med en bredde på 37 m og en dybdegang på 13 m.

Strøm fra vindmølleparken skal føres op til skibet gennem "turret" i fortøjningssystemet, mens ammoniak typisk vil blive eksporteret til shuttle-tanker gennem slangespole monteret agter på FPSOen.

Endvidere kan der være andre kombinationer ikke beskrevet her, f.eks. hvor brinten produceres til platform eller via brintmøller og ammoniakken produceres på en FPSO.



Figur 2-18 Vindmøller koblet til FPSO for produktion af brint og ammoniak, og eksport via skib.

2.4.3 Metanol

For produktion af metanol offshore er vurderet at anvende enten en platform- eller en FPSO-baseret løsning. Man kunne også overveje hybridløsninger, hvor man kombinerer f.eks. brintmøller eller brintplatforme til en metanol FPSO, men det ændrer dog ikke på den samlede udledning fra metanolproduktionen.

Udover brugen af brint så er fremstilling af metanol baseret på CO_2 , der forventes at blive importeret via skib.

² Fortrængning" er angivelse af hvor meget vand et skib fortrænger, hvilket svarer til den samlede vægt af skib, udstyr, tankindhold og mandskab. Det er en generel anerkendt angivelse af skibsstørrelser.

På sigt kan produktionsanlægget måske opereres uden bemanning i perioder, men for nu antages det, at anlægget vil være permanent bemandedt, måske med 30-60 mand. Transport forventes at være med helikopter. Med beboelsen følger behov for ferskvands- og kloaksystemer.

Baseret på 500 MW elektrolyse er den forventede mængde produceret metanol 53 tons/t, dvs. der til 10 dages produktion kræves et lager på 12.800 tons. Desuden bliver der blive produceret cirka 30 m³/t vand.

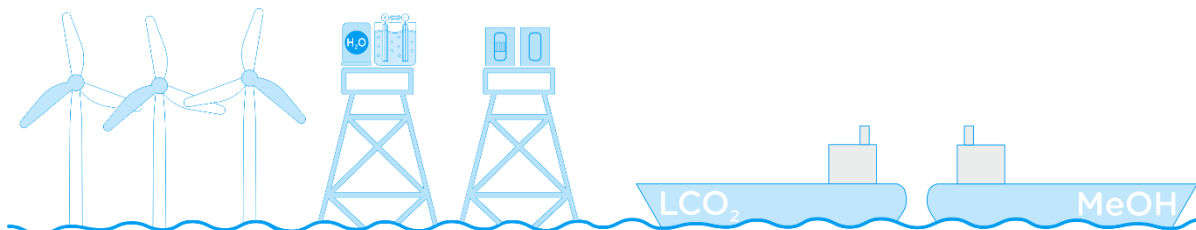
På et 500 MW metanolproduktionsanlæg vil der være:

- Afsaltningsenhed med en kapacitet på cirka 100 m³/t
- Elektrolyseenhed og efterbehandlingsanlæg med en produktionskapacitet på cirka 10.000 kg/t
- Kølevandssystem med et indtag på cirka 18.300 m³/t til bortskaffelse af cirka 242 MW varme
- CO₂ import og lager på cirka 17.600 tons til 10 dages produktion
- CO₂ regasificeringsenhed
- Fødegas (Syngas) og recirkulationskompression
- Metanolreaktor og -stabiliseringskolonne med en metanolproduktionskapacitet på cirka 53.300 kg/t
- Metanoldestillationskolonne
- Metanollager og eksport
- Eventuelt et rensningsanlæg til procesvand (30 m³/t)
- Udluftningstårn for kontinuérlig udledning af ilt
- Udluftningstårn for lejlighedsvis udledning af brint eller CO₂
- Kemikalieinjektionssystemer
 - Antiscale: inklusiv cirka 1 m³ tank
 - Biocid: inklusiv cirka 35 m³ tank svarende til fire ugers operation
- Reservestrømforsyning, f.eks. 400 kW generator med 50 m³ diesellager til 14 dages drift
- Åbent drænsystem
- Ferskvandssystem
- Kloakanlæg
- Helikopterdek, inklusive brandbekæmpelsesenhed
- Aktive brandbekæmpelsessystemer

2.4.3.1 Platformløsning for metanolproduktion

Udover vægten for brintanlægget vil et metanolproduktionsanlæg forventes at veje i størrelsesorden 15-20.000 tons, der vil være installeret på en fundamentkonstruktion med integreret lagertank, en såkaldt GBS, denne vil enten være bygget af stål eller beton.

Fra metanolproduktionsplatformen vil der gå to 2-3 km lange rørledninger til lastebøjer, hvor der f.eks. en gang per uge kommer en shuttle-tanker for at laste metanolen eller losse CO₂.

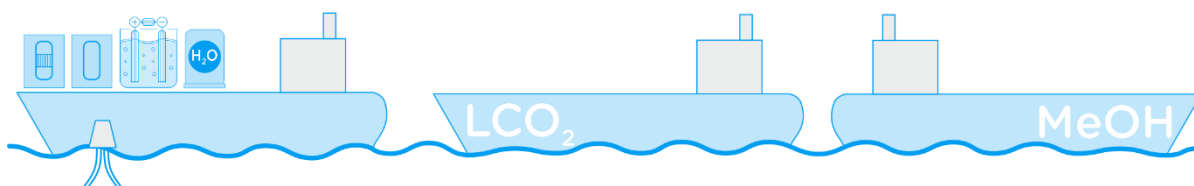


Figur 2-19 Platforme for produktion af brint og metanol, og import af CO₂ med skib og eksport af metanol med skib.

2.4.3.2 FPSO-løsning for metanolproduktion

Vægten på beboelse, brintproduktionsanlæg og metanolproduktionsanlæg forventes at være i størrelsesorden 30-40.000 tons. Med en lagerkapacitet på 12.800 tons metanol og 17.000 tons CO₂ må det forventes, at FPSOen har en fortrængning (displacement) i størrelsesorden 100.000 tons, hvilket svarer til et 215 m langt skib med en bredde på 37 m og en dybdegang på 13 m.

Strøm fra vindmølleparken skal føres op til skibet gennem "turret" i fortøjningssystemet, mens metanol typisk vil blive eksporteret til shuttle-tanker gennem slangespole monteret agter på FPSOen. Det samme gør sig gældende for import af kryogen CO₂



Figur 2-20 FPSO for produktion af brint og metanol, og import af CO₂ med skib og eksport af metanol med skib.

2.4.4 Jetfuel og andre olieprodukter

For produktion af jetfuel mm. offshore er vurderet at anvende enten en platform- eller en FPSO-baseret løsning. Hybridløsninger, hvor man kombinerer f.eks. brintmøller eller brintplatforme til e. FPSO-enhed, er også tænkelig, men det ændrer dog ikke på den samlede udledning fra produktionen.

Det forventes, at anlægget vil være permanent bemannet, måske med 30-60 mand. Transport forventes at være med helikopter. Med beboelsen følger behov for ferskvands- og kloaksystemer.

Baseret på 500 MW elektrolyse er den forventede mængde af producerede olieprodukter 23 tons/t, dvs. at der til 10 dages produktion kræves lagre på samlet 5.500 tons. Desuden bliver der produceret cirka 60 m³/t vand.

På en 500 MW jetfuel produktionsanlæg vil der være:

- Afsaltningsenhed med kapacitet på cirka 100 m³/t
- Elektrolyseenhed og efterbehandlingsanlæg med en produktionskapacitet på cirka 10.000 kg/t
- Kølevandssystem med et indtag på cirka 17.600 m³/t til bortskaffelse af cirka 238 MW varme
- CO₂ import og lager på cirka 16.900 tons til 10 dages produktion
- CO₂ regasificeringsenhed
- RWGS (Revers Water Gas Shift) reaktor
- Fødegas og recirkulationskompression
- Fisher-Tropsch reaktor
- Hydro-cracker og destillationsenhed med en samlet produktionskapacitet på cirka 22.800 kg/t
- Produktlagre på samlet cirka 5.500 tons
- Produkt eksport
- Kedel (~100 MW)
- Procesvand rensningsanlæg (60 m³/t)

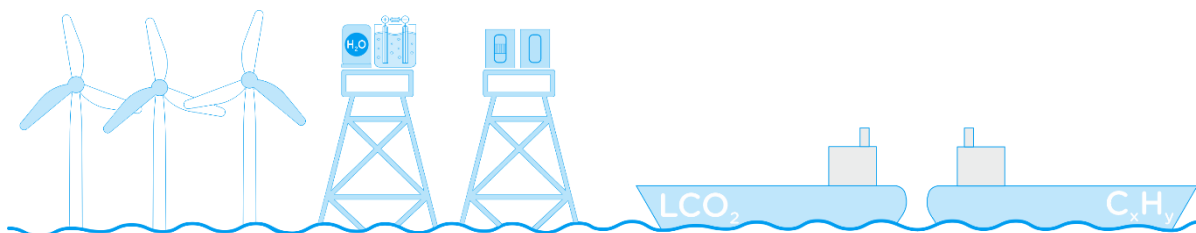
- Udluftningstårn for kontinuèrlig udledning af ilt
- Udluftningstårn eller fakkell for lejlighedsvis udledning af brint eller kulbrintegasser
- Kemikalieinjektionssystemer
 - Antiscale: inklusive cirka 1 m³ tank
 - Biocid: inklusive cirka 35 m³ tank svarende til fire ugers operation
- Reservestrømforsyning, f.eks. 400 kW generator med 50 m³ diesellager til 14 dages drift
- Åbent drænsystem
- Ferskvandssystem
- Kloakanlæg
- Helikopterdek, inklusive brandbekæmpelsesenhed
- Aktive brandbekæmpelsessystemer

2.4.4.1 Platformløsning for jetfuel og andre olieprodukter

Vægten af brintproces- og beboelsesmodul forventes at være i størrelsesorden 15-20.000 tons, der vil være installeret på en fundamentkonstruktion, formentlig af stål, en såkaldt "jacket".

Olieproduktionsanlægget forventes at blive installeret på en eller flere fundamentkonstruktioner, hvoraf en vil have integreret lagertank, en såkaldt GBS, denne vil enten være bygget af stål eller beton.

Fra jetfuel produktionsplatformen vil gå fire 2-3 km lange rørledninger til lastebøjer, hvor der f.eks. en gang per uge kommer en shuttle tanker for at laste olieprodukterne eller losse CO₂.



Figur 2-21 Platforme for produktion af brint og jetfuel+, og import af CO₂ med skib og eksport af jetfuel og andre olieprodukter med skib.

2.4.4.2 FPSO-løsning for jetfuel og andre olieprodukter

På FPSO'en vil der være beboelse, brintproduktionsanlæg og olieproduktionsanlæg. Det forventes at FPSO'en vil have en fortrængning (displacement) på minimum 100.000 tons, hvilket svarer til et 215 m langt skib med en bredde på 37 m og en dybdegang på 13 m.

Strøm fra vindmølleparken skal føres op til skibet gennem "turret" i fortøjningssystemet, mens olieprodukter typisk vil blive eksporteret til shuttle tanker gennem slangespole monteret agter på FPSO'en. Det samme gør sig gældende for import af kryogen CO₂.



Figur 2-22 FPSO for produktion af brint og jetfuel, og import af CO₂ med skib og eksport af jetfuel og andre olieprodukter med skib.

2.5 Udledninger fra PtX-anlæg under drift

I de følgende underafsnit er angivet de forventede udledninger af kemikalier og procesvand til havet og forventede emissioner til atmosfæren.

2.5.1 Brintproduktion

For at undgå udfældninger/belægninger i afsaltnings- og elektrolyseenhederne tilsættes antiscala kemikalie til denne del af indtagsvandet, derudover skal der muligvis tilsættes biocidkemikalier i små mængder i hele vandstrømmen. De estimerede mængder af antiscala og biocid krævet ved de forskellige udbygningskoncepter er opsummeret i Tabel 2-5 og Tabel 2-6.

Kontinuerlige udslip fra brintproduktion er primært udluftning af ilt og små mængder brint. Det forventes at brint kun udluftes få timer om året ~ en dag om året, se estimat i Tabel 2-7.

Ved brintproduktion skal der bruges rent og afsaltet vand, som svarer til 1% af det samlede vandforbrug. Dette medfører en relativ stigning i salinitet i det udledte produktionsvand sammenlignet med indtagsvandet på omtrent 1 % (f.eks. fra 8,0 PSU til 8,08 PSU).

Tabel 2-5 Kemikalier i vandstrømme på 15 MW brintmølle

	Koncentration	Vandflow	Kemikalieflow
Antiscala (elektrolysevandet)	7,5 ppm	3 m ³ /t	0,03 l/t
Biocid (samlede vandflow)	5 ppm	300 m ³ /t	1,5 l/t

Tabel 2-6 Udledning af kemikalier i kølevand fra 500 MW brint produktions platform

	Koncentration	Vandflow	Kemikalieflow
Antiscala (elektrolysevandet)	7,5 ppm	100 m ³ /t	0,8 l/t
Biocid (samlede vandflow)	5 ppm	10.000 m ³ /t	50 l/t

Tabel 2-7 Emissioner af brint til atmosfæren fra produktionen

	Varighed	Brint mængde
15 MW brint mølle	~24 timer om året	7 tons/år
500 MW anlæg	~24 timer om året	240 tons/år

2.5.2 Ammoniakproduktion

For at minimere tab kan der evt. installeres en udluftningsgasrensingsanlæg, hvor produktet er ammoniakvand, der må bringes i land til videre bearbejdning. Endvidere kan det overvejes installere et fakkeltårn til afbrænding af emissioner.

For at undgå tilkalkning af afsaltningsenheden tilsættes antiscala kemikalie i fødevandsstrømmen, derudover skal der nok tilsættes biocidkemikalier i små mængder i hele kølevandsstrømmen. De estimerede mængder af antiscala og biocid er opsummeret i Tabel 2-8.

For at undgå akkumulering af urenheder i recirkuleringsstrømme er det nødvendigt kontinuerligt at udlede en delstrøm af recirkuleringsstrømme til atmosfæren, dette vil være ammoniak, brint og nitrogen. Baseret på erfaringstal fra offshore olie- og gasproduktion i Danmark er dette sat til 0,5% af produktionen, se estimat i Tabel 2-9.

Udledninger fra ammoniak produktion er primært brint og nitrogen, med et mindre indhold af ammoniak, den samlede mængde er estimeret til 2.500 tons per år. Såfremt dette afbrændes, enten i kedel eller fakkeltårn, vil der blive produceret vanddamp og nitrogen.

Tabel 2-8 Udledning af kemikalier i kølevand fra ammoniakproduktion baseret på 500 MW brintproduktion

	Koncentration	Vandflow	Kemikalieflow
Antiscale (elektrolysevandet)	7,5 ppm	100 m ³ /t	0,8 l/t
Biocid (samlede vandflow)	5 ppm	19.000 m ³ /t*	95 l/t

*Samlede udledninger af vand.

Tabel 2-9 Emissioner til atmosfæren fra ammoniakproduktionen

	Produktion	Emission
500 MW anlæg	56,7 tons/t	2.500 tons/år

2.5.3 Metanolproduktion

Destillering af råmetanol medfører udledning af vand med 15 PPM metanol og <50 PPM andre organiske biprodukter (diverse kulbrinteforbindelser). Baseret på 500 MW elektrolyse er den forventede mængde procesvand cirka 30 m³/t. Eventuel rensning for metanol kræver et biologisk renseanlæg, der pga. størrelse kan være en udfordring offshore.

For at undgå tilkalkning af afsaltningsenheden tilsættes antiscale kemikalie i indtagsvandsstrømmen, derudover skal der nok tilsættes biocidkemikalier i små mængder i hele kølevandsstrømmen, se Tabel 2-10 og Tabel 2-11.

Udledning til atmosfæren fra metanolsyntese og stabilisering er primært ilt samt brint, CO₂ og metanoldampe, der udluftes for at undgå akkumulering af urenheder. Baseret på erfaringstal fra offshore olie- og gasproduktion i Danmark er dette sat til 0,5% af produktionen. Det kan overvejes installere et fakkeltårn til afbrænding af emissioner, se estimat i

Tabel 2-12.

Udledning fra metanol produktion er primært brint, CO₂ og vanddamp mættet med metanol, den samlede mængde er estimeret til 3640 tons per år. Såfremt denne strøm afbrændes, enten i kedel eller fakkel tårn, vil der blive produceret vanddamp og CO₂. Udledningen af CO₂ er estimeret til 3.200 tons per år.

Tabel 2-10 Udledning af kemikalier i kølevand fra metanolproduktion baseret på 500 MW brintproduktion

	Koncentration	Vandflow	Kemikalieflow
Antiscale (elektrolysevandet)	7,5 ppm	100 m ³ /t	0,8 l/t
Biocid (samlede vandflow)	5 ppm	18.000 m ³ /t*	90 l/t

*Samlede udledninger af vand.

Tabel 2-11 Udledning af procesvand fra metanolproduktion

	Procesvand
500 MW anlæg	30 m ³ /t

Tabel 2-12 Emissioner til atmosfæren fra metanolproduktionen

	Produktion	Emission
500 MW anlæg	53,3 tons/t MeOH 30 tons/t H ₂ O	3640 tons/år

2.5.4 Jetfuel og andre olieprodukter

Baseret på 500 MW elektrolyse er den forventede mængde procesvand cirka 60 m³/t. Denne forventes at blive rensat mekanisk, f.eks. i cykloner eller centrifuger, der kan reducere indholdet af olieprodukter til 15 PPM eller lavere, derudover er der opløst små mængder af CO og CO₂ i vandet.

For at undgå tilkalkning af afsaltningsenheden tilsættes antiscala kemikalie i indtagsvandsstrømmen, derudover skal der nok tilsættes biocidkemikalier i små mængder i hele kølevandsstrømmen, se Tabel 2-13 og Tabel 2-14.

Udledning til atmosfæren fra produktionen er primært brint og CO₂, derudover vil der være overheadgas (metan, etan mm) fra destillationen, der dog forventes at blive brugt som gasbrændsel i en dampkedel, der producerer varme til bl.a. destillationen. Alternativt kan det overvejes at installere et fakkeltårn til afbrænding af gasserne.

Baseret på erfaringstal fra offshore olie- og gasproduktion i Danmark er udledning til atmosfæren sat til 0,5% af produktionsflowet fra Fisher-Tropsch anlægget. Den samlede mængde er estimeret til 3.565 tons per år. Såfremt dette afbrændes, enten i kedel- eller fakkeltårn, vil der blive produceret vanddamp og CO₂. Udledningen af CO₂ er estimeret til 3.130 tons per år ved afbrænding af den samlede emission. se estimat i Tabel 2-15.

Tabel 2-13 Udledning af kemikalier i kølevand fra produktion baseret på 500 MW brintproduktion

	Koncentration	Vandflow	Kemikalieflow
Antiscale (elektrolysevand)	7,5 ppm	100 m ³ /t	0,8 l/t
Biocid (samlede vandflow)	5 ppm	17.600 m ³ /t*	90 l/t

*Samlede udledninger af vand.

Tabel 2-14 Udledning af procesvand fra metanolproduktion

	Procesvand
500 MW anlæg	60 m ³ /t

Tabel 2-15 Emissioner til atmosfæren fra produktionen af jetfuel og andre olieprodukter

	Produktion	Emission (Brint, CO ₂ og overheadgas)
500 MW anlæg	22,8 tons/t jetfuel 60 tons/t H ₂ O	3.565 tons/år

2.6 Udslip fra utilsigtede hændelser

Med henblik på at identificere større utilsigtede hændelser, der kan lede til udledninger til miljøet, er der blevet gennemført en risikoworkshop til identifikation af større utilsigtede hændelser. Workshoppens resultater er baseret på bidrag fra Rambøll's PtX eksperter, risikoanalyseeksperter og miljøspecialister.

2.6.1 Brintproduktion

I denne analyse er PEM celler anvendt som udgangspunkt, men ved brug af alkalisk elektrolyse (AEC) er der risiko for spild af lud (KOH). Leverandørerne anvender 25-30% KOH, som cirkuleres i elektrolysestakkene, i brint- og iltseparatorerne og i cirkulationssystemet mellem stakkene og separatorerne.

Mængden af lud i et alkalisk elektrolysesystem under operation er estimeret til cirka 30 tons per 2-2.5 MW atmosfærisk AEC stak, hvilket vil sige, at den totale mængde lud, der forventes at cirkulere i et 500 MW alkalisk system, vil være op til 7.000 tons. Et eventuelt spild forventes at være begrænset til én AEC stak, dvs. cirka 30 tons. Det skal bemærkes, at volumen i tryksat alkaliske elektrolyseceller vil være noget mindre.

En kendt degraderingsmekanisme for PEMEC er "membrane thinning", hvor teflonmembranen over tid bliver tyndere, og huller evt. opstår. Mængden af fluorholdige membraner eller forbindelser, der antages at blive udledt ved denne degradering, er ikke entydigt beskrevet eller kvantificeret i litteraturen, men det vil være relevant at undersøge dette yderligere for storskala applikation af PEMEC.

Lækager af brint og ilt på topsiden kan potentielt lede til brand og eksplosion og dermed til yderligere eskalation, hvor hele topsidevolumenet slipper ud i atmosfæren. Denne hændelse anses dog at være meget usandsynlig.

Et eventuelt brud på en brintrørledning vil føre til, at hele indholdet af brint i rørledningen slipper ud og bobler op til overfladen og frigives til atmosfæren. Denne hændelse anses dog at være meget usandsynlig.

2.6.2 Ammoniakproduktion

Lækager på procesanlægget kan potentielt lede til brand og eksplosion, og dermed til yderligere eskalation, hvor hele topsidevolumenet slipper ud i atmosfæren. Denne hændelse anses dog at være meget usandsynlig.

I forbindelse med eksport af ammoniak er der en risiko for, at der bliver ledt ammoniak ud i havet. Værste tilfælde vil være et brud på en slange, hvor der i en kort periode bliver pumpet ammoniak ud i havet, potentielt op til 20 tons. Hændelsen anses dog for at være usandsynlig.

2.6.2.1 GBS-tank

En eventuel eskalation af en brand eller eksplosion til en GBS-tank, hvor der oplagres op til 13.000 tons ammoniak, er begrænset til brud på rørforbindelser. Hvis ammoniak lagres tryksat, vil hele tankvolumenet blive blæst ud til atmosfæren gennem den åbne rørforbindelse. Hvis ammoniak lagres kryogent ved atmosfærisk tryk vil den stå og fordampe langsomt (1‰ ~10 ton/d). Denne hændelse anses dog at være ekstremt usandsynlig.

Ved revner i en tryksat tank er der potentielt risiko for udslip af hele volumen til havet, der vil afgasse ved havoverfladen. Ved revner i kryogen tank vil der være vandindtrængning, der ved mindre revner vil fryse til is og lukke revnen, samme princip som Glomfjord Kaverne lageret i Norge. Disse hændelser anses dog at være ekstremt usandsynlige.

2.6.2.2 FPSO-lager

Ved en eventuel eskalation af en brand eller eksplosion til FPSO-tank vil der potentielt kunne udledes op til 13.500 tons ammoniak til havet. Denne hændelse anses dog at være ekstremt usandsynlig.

2.6.3 **Metanolproduktion**

Lækager på procesanlægget kan potentielt lede til brand og eksplosion, og dermed til yderligere eskalation, hvor hele topsidevolumenet slipper ud i atmosfæren, og en del af metanolen vil potentielt løbe ud i havet. Denne hændelse anses dog at være meget usandsynlig.

I forbindelse med eksport af metanol er der en risiko at der bliver ledt metanol ud til havet, værste tilfælde vil være et brud på en slange, hvor der i en kort periode bliver pumpet metanol ud i havet. Potentielt op til 20 tons, hændelsen anses dog for at være usandsynlig.

I forbindelse med import af CO₂ er der en risiko for, at der bliver ledt CO₂ ud i havet, værste tilfælde vil være et brud på en slange, hvor der i en kort periode bliver pumpet CO₂ ud i havet. Potentielt op til 25 tons, hændelsen anses dog for at være usandsynlig.

2.6.3.1 GBS-tank

En eventuel eskalation af en brand eller eksplosion til en GBS-tank, hvor der oplagres op til 12.000 tons metanol, er begrænset til brud på rørforbindelser. Ved revner i metanoltanken er der potentiale for at hele volumen slipper ud ved at blive opløst i havvand, men dette vil være en ekstremt langsom proces fordi metanoltanken på havbunden er trykløs.

CO₂ tanken med op til 17.600 tons CO₂ er tryksat, så hele tankvolumenet vil blive blæst ud til atmosfæren gennem den åbne rørforbindelse. Disse hændelser anses dog at være ekstremt usandsynlige. Ved revner i CO₂ tanken, så vil hele tankvolumenet vil blive ledt ud i havvandet og afgasse på havoverfladen. Disse hændelser anses dog at være ekstremt usandsynlige.

2.6.3.2 FPSO-lager

Ved en eventuel eskalation af en brand eller eksplosion til FPSO-tank vil der potentielt kunne udledes op til 12.000 tons metanol til havet, mens CO₂ primært vil fordampe til atmosfæren. Denne hændelse anses dog at være ekstremt usandsynlig.

2.6.4 **Jetfuel og andre olieprodukter**

Lækager på procesanlægget kan potentielt lede til brand og eksplosion, og dermed til yderligere eskalation, hvor hele topsidevolumenet slipper ud i atmosfæren, og en del af olieprodukterne vil potentielt løbe ud i havet. Denne hændelse anses dog at være meget usandsynlig.

I forbindelse med eksport af olieprodukter er der en risiko for, at der bliver ledt olie ud i havet, værste tilfælde vil være et brud på en slange, hvor der i en kort periode bliver pumpet metanol ud i havet. Potentielt op til 10 tons, hændelsen anses dog for at være usandsynlig.

I forbindelse med import af CO₂ er der en risiko for, at der bliver ledt CO₂ ud til havet, værste tilfælde vil være et brud på en slange, hvor der i en kort periode bliver pumpet CO₂ ud i havet. Potentielt op til 25 tons, hændelsen anses dog for at være usandsynlig.

2.6.4.1 GBS-tank

En eventuel eskalation af en brand eller eksplosion til en GBS-tank, hvor der oplagres op til 5.500 tons olieprodukter, er begrænset til brud på rørforbindelser. Da olietanke er trykløse og placeret på havbunden, vil udledninger til havet foregå ved lave hastigheder. CO₂ tanken med op til 16.900 tons CO₂ er tryksat, så hele tankvolumenet vil blive blæst ud til atmosfæren gennem den åbne rørforbindelse. Disse hændelser anses dog at være ekstremt usandsynlige.

Ved revner i olietanke er der potentiale for at hele volumenet slipper ud ved at blive opløst i havvand, men dette vil være en ekstremt langsom proces. Ved revner i CO₂ tanken vil hele tankvolumenet vil blive ledt ud i havvandet og afgasse på havoverfladen. Disse hændelser anses dog at være ekstremt usandsynlige.

2.6.4.2 FPSO-lager

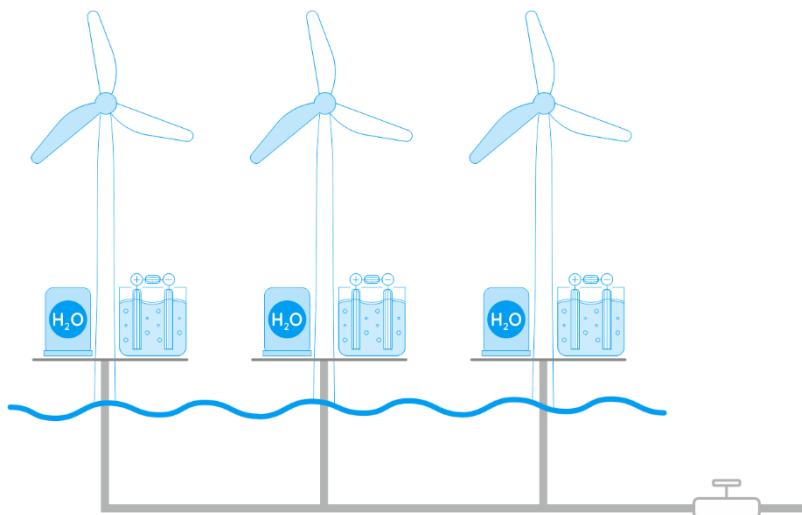
Ved en eventuel eskalation af en brand eller eksplosion til FPSO-tanken, vil der potentielt kunne udledes op til 5,500 tons olie til havet, mens CO₂ primært vil fordampe til atmosfæren. Denne hændelse anses dog at være ekstremt usandsynlig.

2.7 Input til miljøanalysen

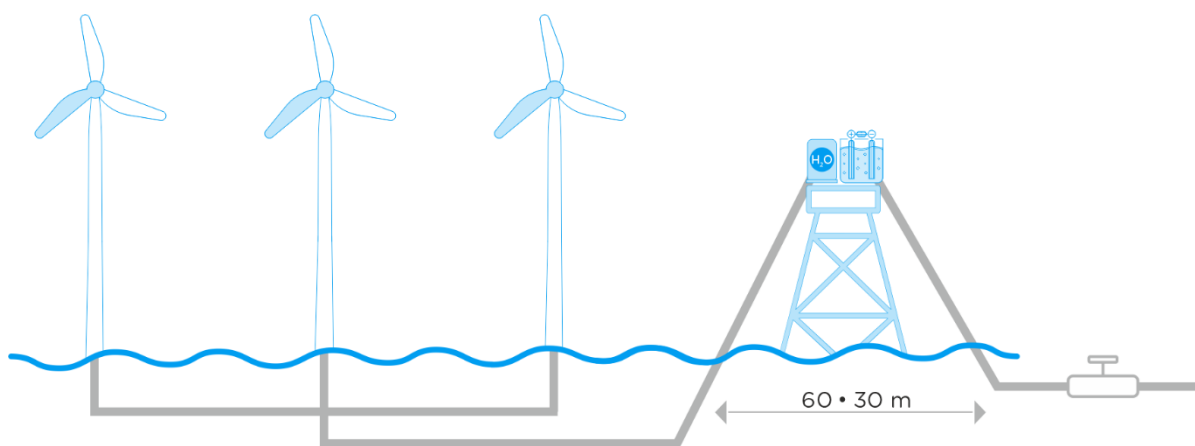
For at muliggøre en afgrænsning af analysen af de potentielle miljøpåvirkninger fra PtX på havet, tages der udgangspunkt i et møllebaseret brintanlæg, et platform-baseret brintanlæg og kombinationer af yderligere platforme eller FPSO-baseret produktion af flydende PtX-brændstoffer med forskellige løsninger for import/eksport.

Man kunne også overveje hybridløsninger, hvor man kombinerer f.eks. brintmøller eller brintplatforme med en FPSO, men det ændrer dog ikke på den samlede udledning fra produktionen.

I Figur 2-23 og Figur 2-24 er vist principper for brint produktion, hhv. decentral fra brintmølle og centralt fra brintplatform.

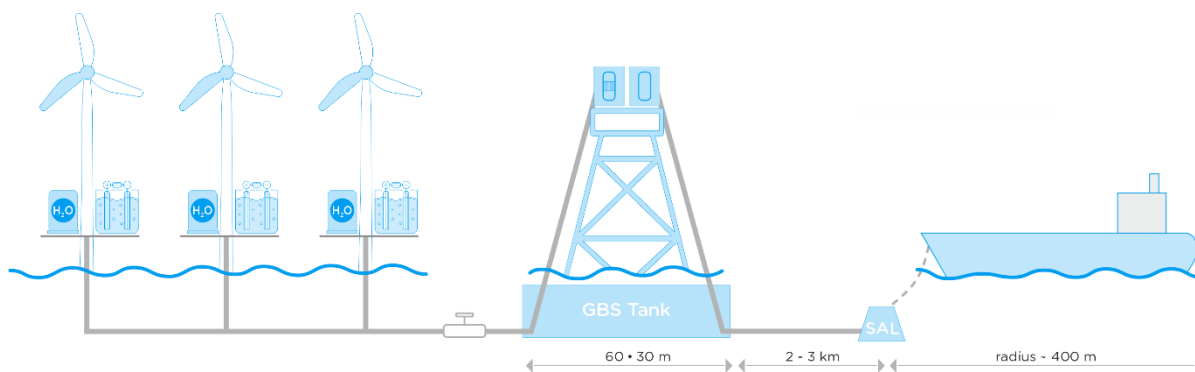


Figur 2-23 Brintproduktion fra brintmøller

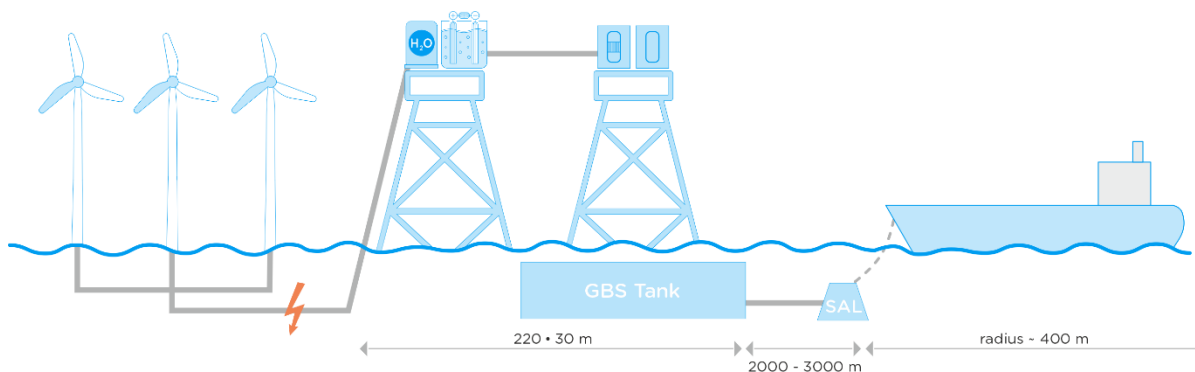


Figur 2-24 Brintproduktion fra central platform

I Figur 2-25 og Figur 2-26 er vist principper for produktion af flydende PtX-brændstoffer baseret på en platformsløsning, hhv. med decentral brint produktion fra brintmølle og centralt brint produktion.

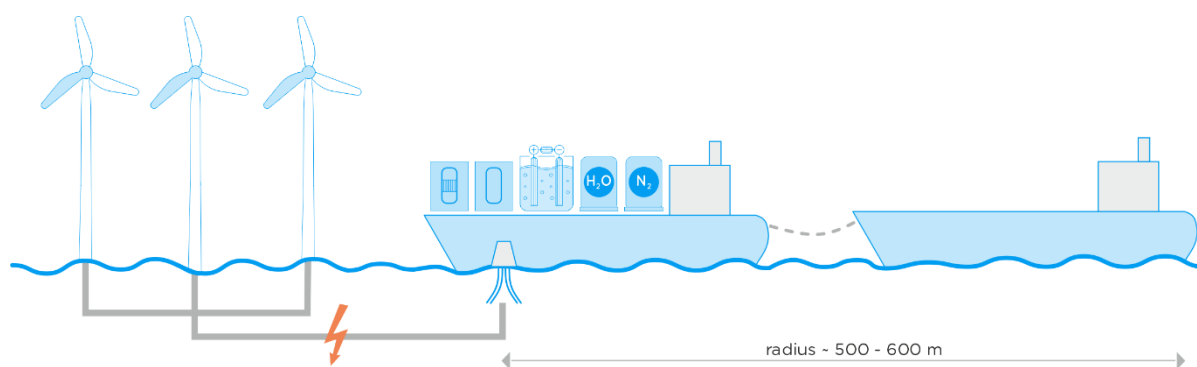


Figur 2-25 Produktion af flydende PtX-brændstof fra platform med decentral brint produktion fra brintmølle



Figur 2-26 Produktion af flydende PtX-brændstof fra platform

I Figur 2-27 er vist principper for produktion af flydende PtX-brændstoffer baseret på en FPSO-løsning.



Figur 2-27 Produktion af flydende PtX-brændstof fra FPSO

Opsummering af de fysiske aftryk og udledninger fra de gennemgåede koncepter er opsummeret i Tabel 2-16 og i Tabel 2-17.

Tabel 2-16 Opsummering af udvalgte koncepter og deres fysiske aftryk

Anlægstyper				Eksport/Import systemer	Fysiske aftryk		
Brint-mølle	Brint-plattform	E-fuels platform	E-fuels FPSO		Platform/ Brintmølle	FPSO/tankskib	Rørledning
X				Eksport af H ₂ via mindre platform til rørledning	15-25 MW: 8-10 m i diameter		Eksport via rørledning: 50 m bredt tracé. Længde ukendt.
	X			Eksport af H ₂ via rørledning	1 x 60x30 m		
	X	NH ₃		NH ₃ eksport i rørledning eller via skib	2 x 60x30 m og lager-tank under NH ₃ platform	a) Offloading til tank-skib*	b) Eller eksport via rørledning: 50 m bredt tracé. Længde ukendt.
	X		NH ₃	NH ₃ eksport i rørledning eller via skib	1 x 60x30 m	FPSO: Længde 215 m, dybdegang 13 m a) Offloading til tankskib	
			NH ₃	Brint produceres på samme FPSO som ammoniak. NH ₃ eksport via skib		FPSO: Længde 200 m, dybdegang 13 m a) Offloading til tankskib	
	X	MeOH		MeOH eksport via skib. CO ₂ import via skib/rørledning.	2 x 60x30 m og lager under MeOH platform	MeOH offloading* a) CO ₂ import via tank-skib	b) Eller CO ₂ import via rørledning: 50 m bredt tracé. Længde ukendt.
	X		MeOH	MeOH eksport via skib. CO ₂ import via skib/rørledning.	1 x 60x30 m	FPSO: Længde 215 m, dybdegang 13 m Offloading til tankskib a) CO ₂ import via tank-skib	
	X	Jet		Eksport af olieprodukter via skib. CO ₂ import via skib/rørledning.	2 x 60x30 m og lager-tanke under platform	Offloading til tankskib a) CO ₂ import via tank-skib	
	X		Jet	Eksport af olieprodukter via skib. CO ₂ import via skib/rørledning.	1 x 60x30 m	FPSO: Længde 215 m, dybdegang 13 m Offloading til tankskib a) CO ₂ import via tank-skib	
NH ₃ – Ammoniak, MeOH – Metanol, Jet – Jetfuel og andre olieprodukter *2-3 km fra platform							

Tabel 2-17 Opsummering af udledninger fra de udvalgte koncepter

Anlægstyper			Udledninger under drift				
Brintmølle	Brint-plat-form	E-fuels platform/ FPSO	Udledning af vand til havet	Kemikalier udledning til havet			Luftemissioner
			Består af kølevand og restvand fra elektrolyse, se afsnit 2.3.1.1. Benævnes samlet <i>kølevand</i>	Biocid 5 ppm	Antiscale 7,5 ppm	Andre udledninger	
X			15 MW: 300 m ³ /t 25 MW: 500 m ³ /t	15 MW: 1,5 l/t 25 MW: 2,5 l/t	15 MW: 0,03 l/t 25 MW: 0,05 l/t		15 MW: 7 tons brint/år
	X		19.000 m ³ /t	50 l/t	0,8 l/t		240 tons brint/år
	X	NH ₃	19.000 m ³ /t	95 l/t	0,8 l/t		2.500 tons ammoniak/år. Hvis der indføres luftrensning vil denne ammoniak sendes det til land som ammoniakvand
	X	MeOH	18.000 m ³ /t	90 l/t	0,8 l/t	15 PPM metanol og <50 PPM andre organiske biprodukter i procesvand (30 m ³ /t)	3640 tons offgas/år. Primært CO ₂ og lidt metan. Tilsvare 3.200 tons CO ₂ /år.
	X	Jet	17.600 m ³ /t	90 l/t	0,8 l/t	15 ppm kulbrinter (efter rensning) i procesvand (60 m ³ /t)	3565 tons offgas/år. Primært CO ₂ og lidt metan. Tilsvare 3.200 tons CO ₂ /år.
Scenariet valgt til modellen			20.000 m³/t	100 l/t	0,8 l/t		

2.8 Forudsætninger anvendt ved de tekniske analyser

1. Der er i analyserne anvendt følgende anlægstørrelser:
 - a. 15 MW er antaget som kapaciteten på en decentral brintmølle, hvilket svarer til størrelsen på de offshore møller, der er tilgængelige i dag. Næste generation kunne være cirka 25 MW og er således medtaget i vurderingen
 - b. 500 MW er antaget som kapaciteten på en central brintproduktionsplatform, der svarer til den maksimale størrelse på en platform, der kan installeres med kendt teknologi. Platforme forventes ikke at blive større i fremtiden, men udviklingen af elektrolyseteknologien kan øge effektiviteten og dermed brintproduktionen.
2. Til beregninger af de producerede mængder brint og det relaterede vandforbrug er der anvendt standardværdier baseret på information fra flere elektrolyseleverandører, dvs. 50 kWh strøm til at producere 1 kg brint samt et tilhørende forbrug i liter vand.
3. De i rapporten angivne størrelser på moduler og platforme baserer sig på typiske udstyrsstørrelser og vægt, Rambølls erfaringsdatabase for vægtfordeling mellem udstyr, bulk (rør, kabler, hjælpesystemer) og struktur, samt Rambølls erfaringstal for densitet af offshore moduler. Disse størrelser er efterfølgende valideret op mod værdier fra eksisterende projekter.
4. I analyser af skibstrafik og oplagsstørrelser for CO₂ og de producerede flydende brændstoffer er det antaget, at en shuttle tanker ankommer en gang om ugen, og at der er behov for en bufferkapacitet svarende til 3 dage. Denne antagelse er baseret på erfaringsværdier fra olieproduktionen.
5. Det antages PtX-anlæggene udelukkende drives ved vindstrøm.

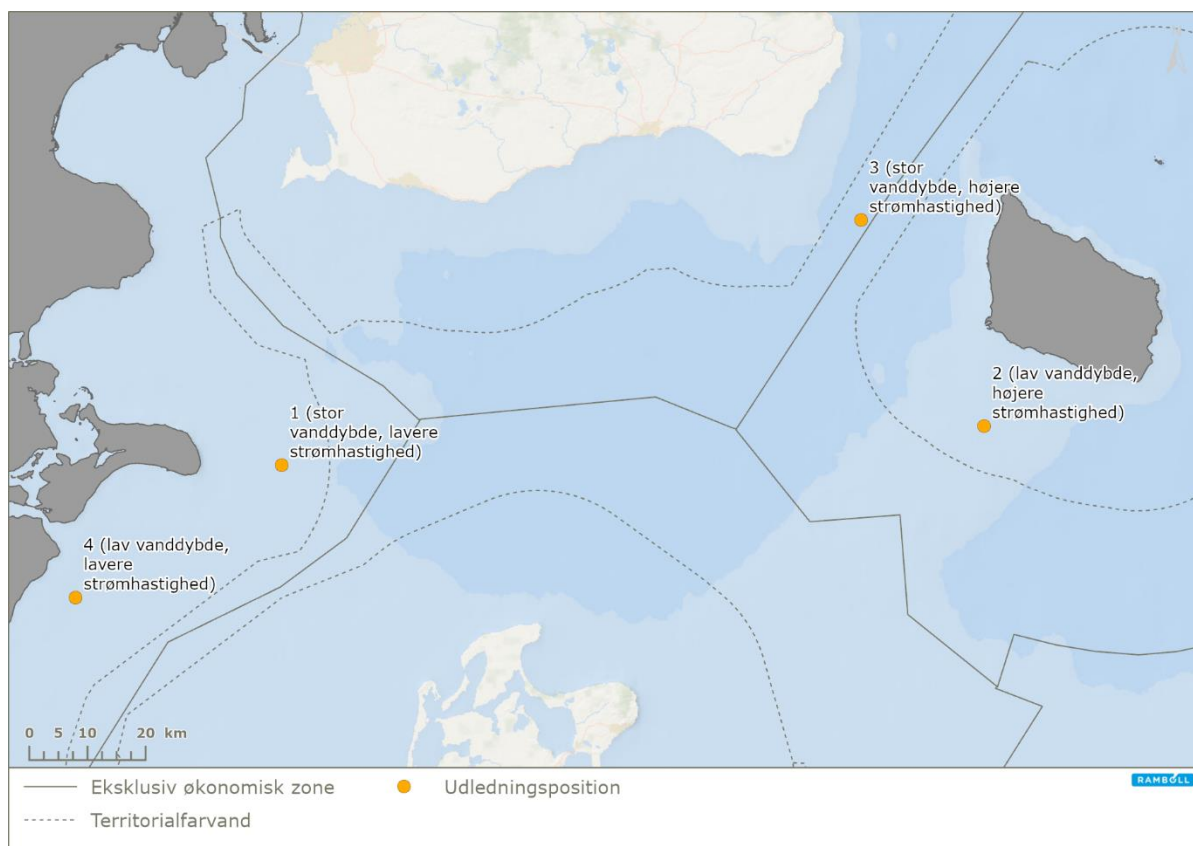
3. Modellering af udledning af vand og biocid

3.1 Indledning

Et PtX-anlæg vil udlede kølevand (blanding af kølevand og restvand fra elektrolyse), der har en anden vandtemperatur og salinitet end den recipient (vandområde), der udledes til. Dette vil medføre en påvirkning af hhv. vandtemperaturen og saliniteten i havmiljøet omkring udledningspunktet. Herudover kan der potentielt også forekomme en udledning af kemikalier til havmiljøet.

Analysen baseres blandt andet på modelberegninger af spredningen af udledt kølevand. Udledningsvolumet er defineret i kapitel 2 og er kombineret med fire forskellige hydrauliske scenarier, defineret ved fire udledningspositioner, se illustration af udledningspositionerne i figur 3-1. Udledningspositionerne er valgt så de repræsenterer lokaliteter med vekslende vanddybder og strømforhold – og ikke ud fra den geografiske position. Disse scenarier skal på overordnet vis danne grundlag for de indledende vurderinger af det potentielle omfang af ændringer i vandtemperatur og salinitet, som et offshore PtX-anlæg kan medføre. Herudover gives der eksempler på spredningsmønstre og fortynding af et udledt kemikalie.

De estimerede påvirkningsniveauer og -mønstre, baseret på de udvalgte scenarier indeholdt i nærværende rapport, danner hverken et øvre estimat eller et udtømmende grundlag for den mulige påvirkning af de hydrauliske og/eller marinbiologiske forhold. Resultaterne kan derimod alene betragtes som indledende indikatorer for mulige påvirkningsområder og -niveauer som kølevandsudledningen fra et offshore PtX-anlæg kan medføre.



Figur 3-1 Illustration af de fire udvalgte udledningspositioner, der er valgt ud fra de hydrauliske forhold og ikke den geografiske position. Baggrundskort er fra Google Earth(Google, 2024).

3.2 Strøm- og dybdeforhold i danske farvande

Udbredelsen og opblandingen af det udledte kølevand fra et PtX-anlæg afhænger i høj grad af de lokale hydrauliske forhold omkring udledningspunktet. Da der i de danske farvande er en stor geografisk- og periodisk variation i de hydrauliske forhold (herunder strømforhold, salinitet- og vandtemperaturforhold) vil påvirkningen således være meget afhængig af både udledningspositionen og tidspunktet.

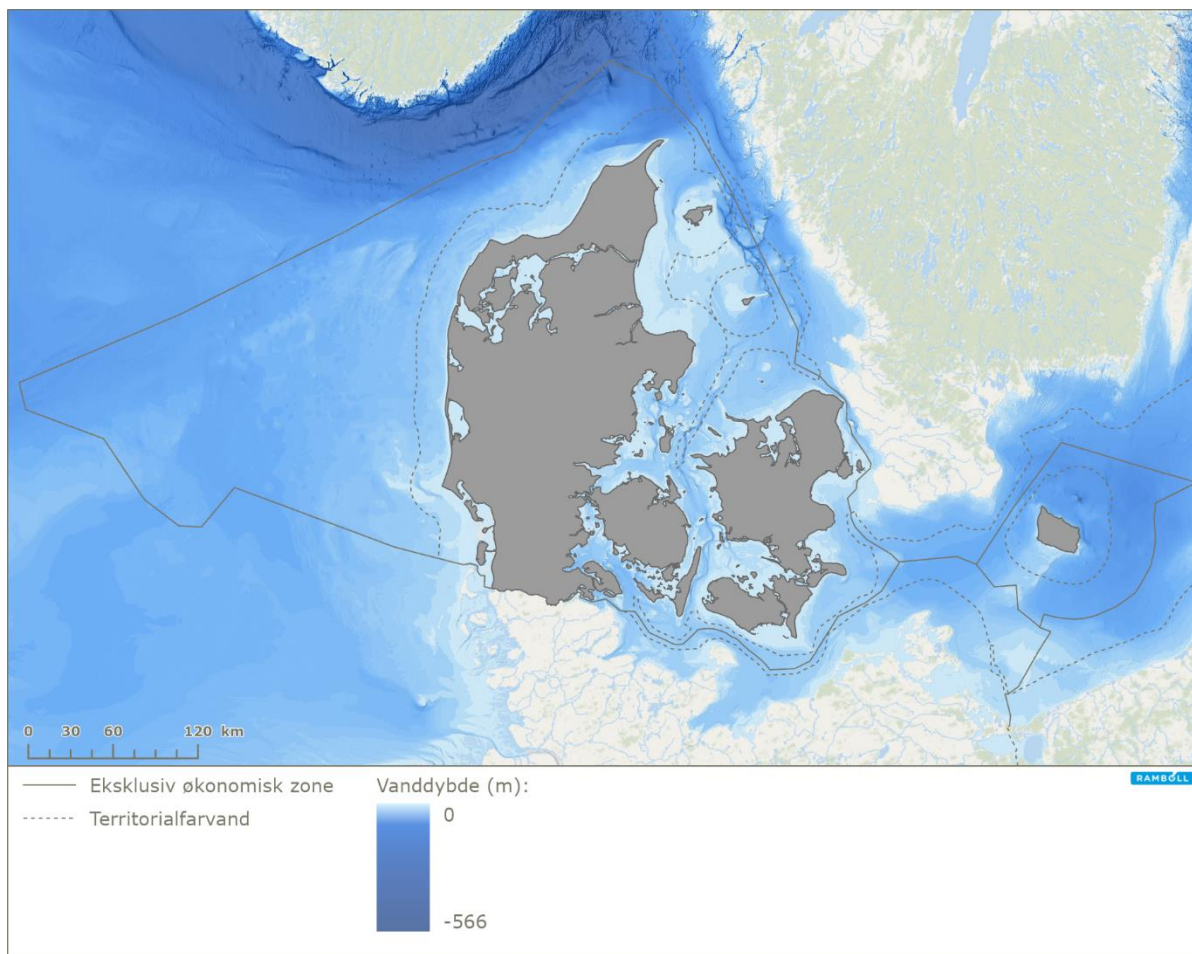
I det følgende gives en overordnet beskrivelse af de generelle hydrauliske forhold i danske farvande, hvilket ligger til grund for udvælgelsen af udledningspositionerne samt de hydrauliske scenarier (modelleringsperioder).

3.2.1 Overordnet beskrivelse af styrende hydrauliske forhold

Udstrømningen fra Østersøen gennem Storebælt, Lillebælt og Øresund er betinget af bl.a. ferskvandstilstrømningen til Østersøen samt vind- og lufttrykforholdene over Nordsøen, over de indre danske farvande og over Østersøen.

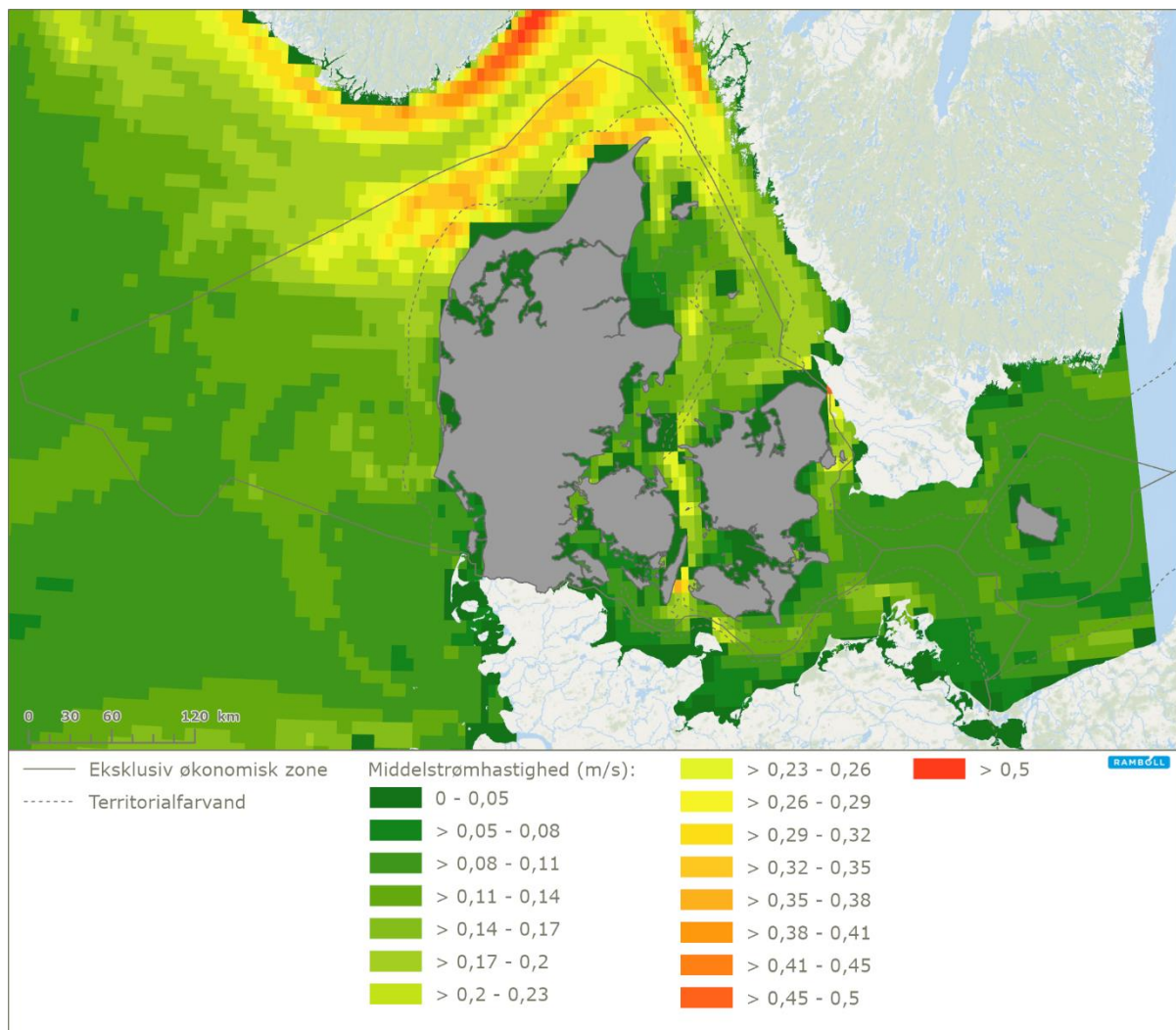
Ferskvandstilstrømningen til Østersøen er normalt højest i april til juni (typisk højest i maj). Dette skaber en 2-lagsstruktur i vandsøjlen, som varierer rumligt og tidsligt i Kattegat og Bælthavet, hvor både sæsonvariationer og år-til-år variationer er drevet af de meteorologiske forhold. Forskellen i saltholdighed gør, at strømmingen generelt er lagdelt med et springlag i en dybde af 15m til 20m under overfladen (Miljøministeriet, 1989; Sund & Bælt, 2013).

Saltholdigheden i danske farvande er styret af udvekslingen mellem Østersøens mindre salte havvand/brakvand og Nordsøen/Kattegats mere salte havvand. Variationer i saltholdighed påvirker både vandets densitet og strømninger og dermed vandskifte. Horisontale- og vertikale variationer bidrager til at skabe tredimensionelle strømningsfænomener, som f.eks. tunge bundstrømme (vand med f.eks. høj salinitet) og let overfladestrøm (mere ferskt vand), som i situationer med springlag kan være modsatrettede. Springlag kan opstå både pga. disse forskelle i salinitet, men også pga. temperaturforskelle. Grundet udvekslingen mellem Østersøen og Nordsøen/Kattegat kan der derfor lokalt forekomme store variationer i de hydrauliske forhold, hvilket medfører en påvirkning af opblandingsforholdene og den lokale strømningscirkulation. De lokale variationer i de hydrauliske forhold øges yderligere, som følge af de signifikante variationer i lokale dybdeforhold (se dybder i danske farvande i Figur 3-2).

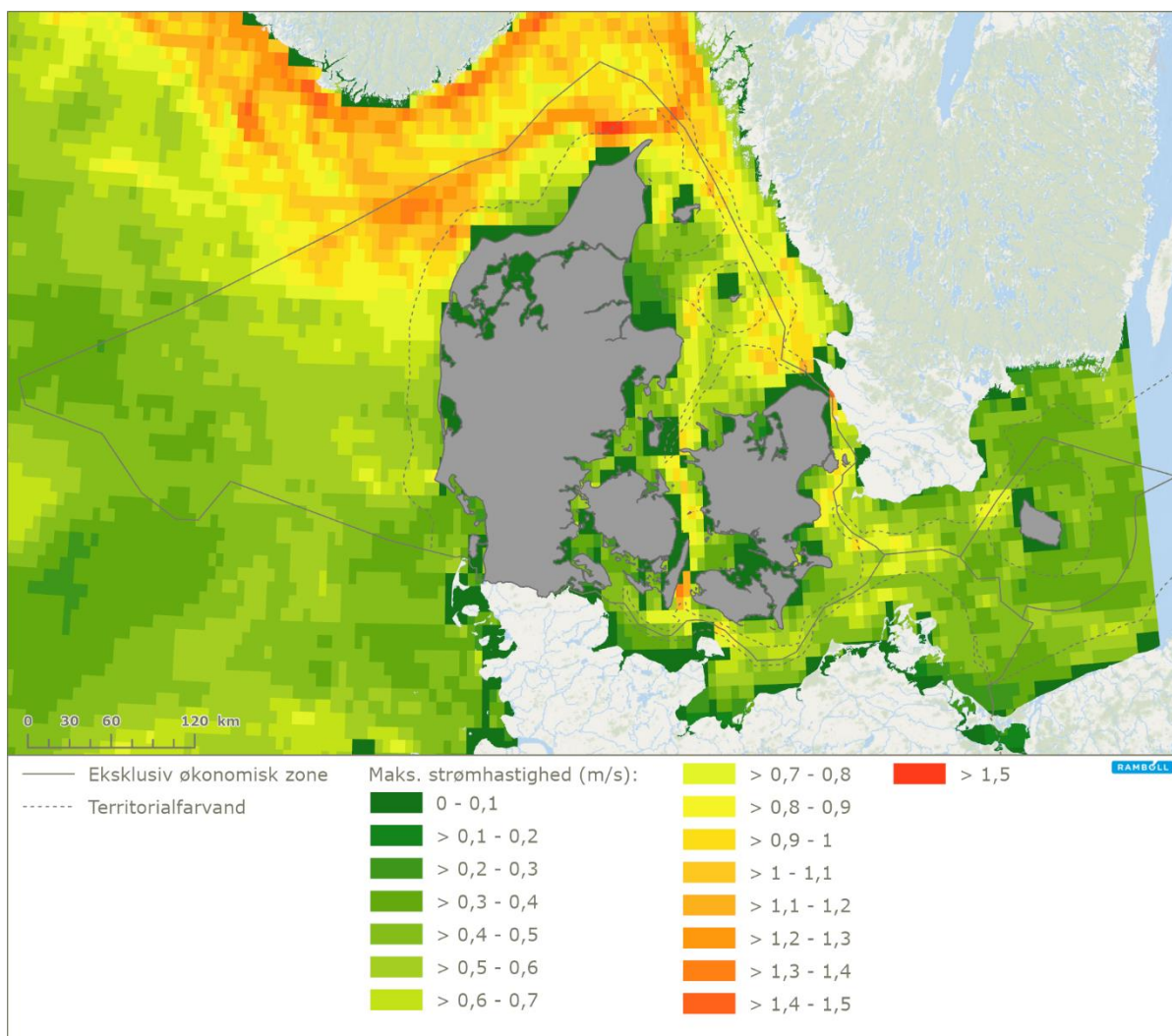


Figur 3-2 Vanddybder i danske farvande (EMODnet, 2024).

Middel- og maks. dybdemidlede strømhastigheder i perioden 2020 – 2024, baseret på data fra Copernicus (Copernicus, 2024b), er vist i hhv. figur 3-3 og figur 3-4. Som det fremgår af figurerne, er der specielt igennem bælterne, Øresund og i Skagerrak, forholdsvis høje strømhastigheder, hvilket skyldes hhv. udstrømningen fra Østersøen kombineret med de smalle passager gennem Bælthavet og Øresund samt den Jyske Kyststrøm.



Figur 3-3: Middelstrømhastigheder (dybdemidlede) i de danske farvande i perioden 2020 – 2024, baseret på data fra (Copernicus, 2024a). Baggrundkort er fra Google Earth (Google, 2024).



Figur 3-4: Maksimalstrømhastigheder (dybdemidlede) i de danske farvande baseret på hindcast data for perioden 2020 – 2024 (Copernicus, 2024a). Baggrundkort er fra Google Earth (Google, 2024).

Baseret på hindcast data fra Copernicus (Copernicus, 2024a), som dækker perioden fra november 2020 til 2024 kan det konstateres, at der eksempelvis i området nær Kriegers Flak, hvor udledningsposition 1 er placeret jf. figur 3-1, kan opstå en overfladestrøm med hastigheder på over 0,4 m/s, men som dog ofte er svagere end 0,1 m/s. Bundstrømmen er generelt noget svagere end overfladestrømmen. Retningen for overfladestrømmen i området varierer generelt meget.

Desuden kan det af tilgængelige hindcast data Copernicus (Copernicus, 2024b) konstateres at vandtemperaturen i den øvre del af vandsøjlen varierede imellem 4 og 23 °C i 2022, mens vandtemperaturen i den nedre del af vandsøjlen varierede imellem 3 og 19 °C. Saliniteten varierede i den øvre del af vandsøjlen imellem 8 og 11,5 PSU og i den nedre vandsøjle imellem 8 og 20 PSU.

Grundlæggende må der, som nævnt, forventes store sæson- og geografifhængige variationer i de hydrodynamiske forhold. Dette betyder, at spredningen af det udledte kølevand fra et PtX-anlæg vil være meget afhængige af den aktuelle lokalitet og tidspunkt for udledningen. Desuden må der forventes store naturlige variationer fra år til år.

3.3 Forudsætninger for modellering af scenarier på udledninger fra PtX-anlæg

Udledningen fra et PtX-anlæg vil være specifik for det konkrete anlæg. Til nærværende vurderinger tages der udgangspunkt i ét defineret eksempel, hvortil der dog må forventes variationer, når de endelige specifikationer for eventuelle konkrete PtX-anlæg kendes. På samme vis tages der udgangspunkt i specifikke hydrodynamiske scenarier, som udgør eksempler på variationer i bl.a. de lokale strømforhold. Som nævnt i afsnit 3.2, må der ligeledes forventes variationer af de faktiske hydrauliske forhold sammenholdt med de forhold, der er i de udvalgte simuleringsperioder og på de udvalgte positioner.

I appendiks 9.1 ses de modeltekniske detaljer for den anvendte model.

Forudsætninger for de valgte scenarier præsenteres i det følgende. Dette indebærer kombinationer af forudsætninger for:

- Eksempel for PtX-anlæg: Udledning (vandføring fra kølevandsudledning samt temperatur-/salinitetsdifferens og koncentration af biocid).
- Udløbspositioner (placeringer af PtX-anlæg).
- Hydrodynamiske scenarier.

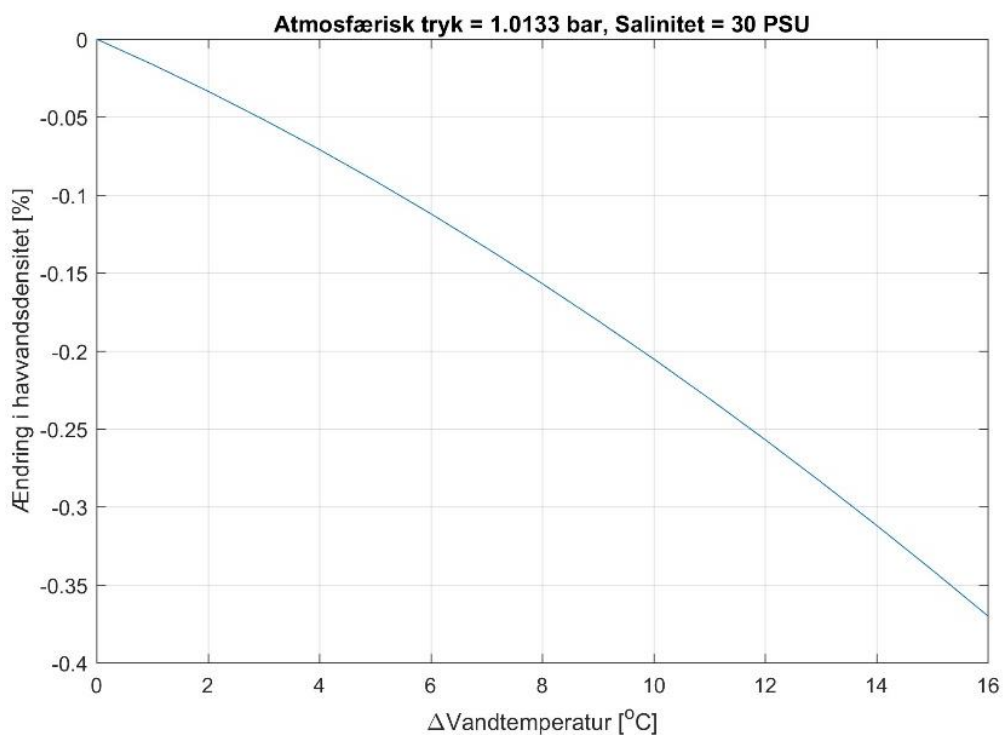
3.3.1 Eksempel for udledning fra PtX-anlæg

Det opstillede eksempel jf. afsnit 2.7 ift. udledning fra et offshore PtX-anlæg indbefatter, at der udledes:

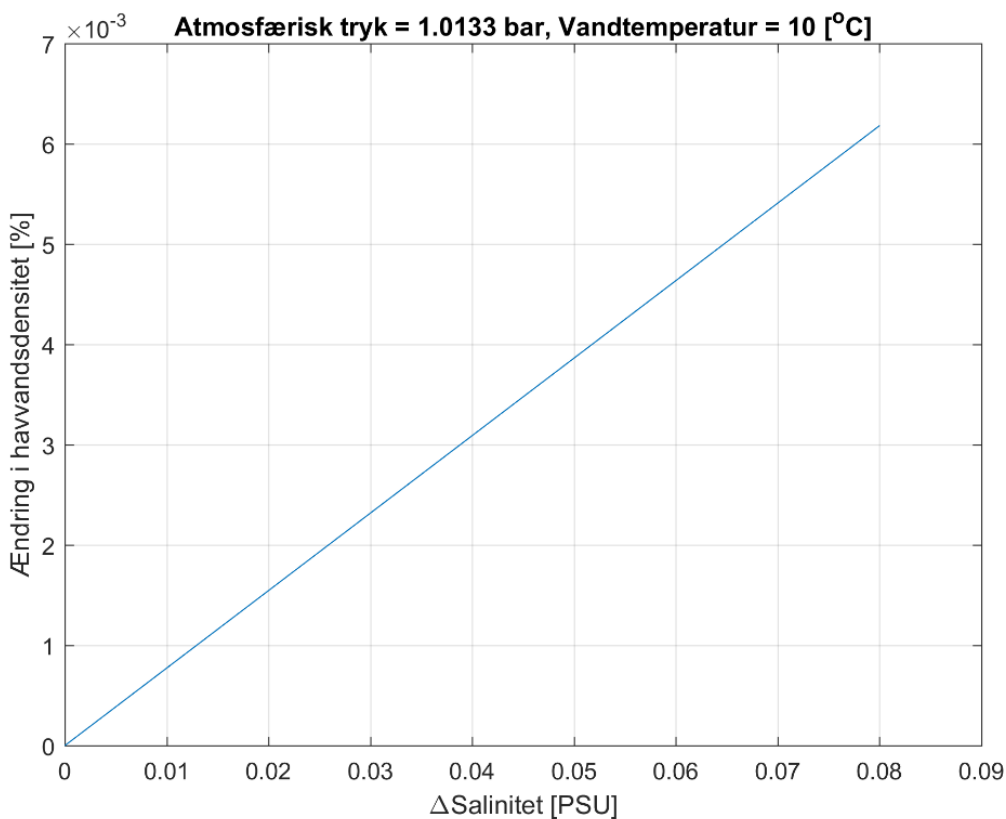
- 20.000 m³ kølevand pr. time cirka 10 m under havoverfladen
- kølevand med en temperaturdifferens (Δt) på +12 °C (dvs. at det udledte vand har en temperatur, der er 12 °C varmere end det vand det ledes ud i)
- kølevand med en salinitetsforøgelse på 1% sammenlignet med havvandet i området, hvor det ledes ud.
- 1,5 ppm biocid (hypoklorit) via kølevandet. Efter frigivelse i havvandet er inkluderet henfald i form af en halveringstid på $T_{1/2} = 2$ t. Biocid tilsættes kølevandet i alle koncepterne.

3.3.1.1 Påvirkninger fra ændringer i vandtemperatur og salinitet

Densiteten af vand afhænger af vandtemperaturen og -saliniteten. Idet temperaturen og saliniteten af kølevandet varierer fra temperaturen og saliniteten af det havvand det ledes ud til vil densiteten af kølevandet være anderledes end densiteten af havvandet. Densitetsændringen som følge af en temperaturstigning er vist i Figur 3-5, mens ændringen i densitet for en salinitetsstigning fremgår af Figur 3-6.



Figur 3-5: Teoretisk densitetsændring af havvand, som funktion af vandtemperaturændringer.



Figur 3-6: Teoretisk densitetsændring for havvand, som funktion af salinitetsændringer.

En temperaturforøgelse på $\Delta t = +12$ °C for kølevandet vil medføre en teoretisk reduktion i densiteten på cirka -0,22%, mens en forøgelse af saliniteten af kølevandet på 1‰ kun medfører en

marginal densitetsstigning på cirka 0,006 %. I modelberegningerne er densiteten af havvandet bestemt som en funktion af både salinitet og temperatur inkluderet.

Den forøgede salinitet i kølevandet er forholdsvis begrænset (1%) sammenlignet med de signifikante naturlige årlige variationer af saliniteten der forekommer i havet. Det ændres ikke om det er Nordsøen eller Østersøen. I Østersøen er det fra f.eks. 8 PSU til 8,08 PSU og i Nordsøen kan det så være fra 30 PSU til 30,3 PSU. Der er gennemført en følsomhedsanalyse på dette, og som forventet har det ikke en signifikant betydning for resultaterne ift. påvirkningsområdet og -niveauet af hhv. temperaturen og biocid. Generelt er antaget at udledningen af kølevandet sker over et evt. springlag, således at kølevandet udledes til et lag, der styres af variationer i vandstand og vindens påvirkning.

Effekten på havvandsdensiteten, som følge af den mindre ændring af salinitet er forholdsvis lav sammenlignet med effekten fra ændringen af havvandtemperaturen pga. det udledte kølevand. Det vurderes derfor, at egenskaberne for kølevandet ift. densitet sammenlignet med havvandet, det udledes til, primært defineres af ændringen i temperaturen. Baseret på sammenhængen mellem temperatur og densitet forventes, at den forholdsvis signifikante opvarmning af kølevandet medfører, at det udledte kølevand vil løbe op mod den øvre del af vandsøjlen samtidig med at det opblandes med havvandet. På baggrund af ovenstående fokuseres der i denne rapport udelukkende på temperaturspredning og spredning af biocid, mens der ses bort fra påvirkningen/udbredelsen af det ændrede salinitetsniveau i kølevandet.

3.3.2 Evaluerede scenarier på udledningspositioner for PtX-anlæg

Der tages ifm. nærværende scenarier udgangspunkt i udledningspositioner med vekslende strømforhold og vanddybder. Hertil fokuseres på området i den vestlige del af Østersøen omkring Bornholm og Krigers Flak. Baggrunden herfor er bl.a. de vekslende hydrauliske forhold i området samt de vekslende dybdeforhold. Herudover udgør området et umiddelbart potentiale for etablering af PtX-anlæg. Forudsatte udledningspositioner ifm. nærværende modellering er vist i Figur 3-1 og koordinater herfor er angivet i tabel 3-1.

Scenarier på udledningspositioner skal ikke forveksles med egentlige planlagte PtX-anlæg, men udgør derimod, som tidligere nævnt, scenarier på udledningskoncentrationer og spredning af kølevand.

Tabel 3-1 Koordinater for udledningspositioner.

Scenarier:	Placering			Vanddybde [m]	Strømhastighed		
	Øst-koordinat [mUTM33]	Nord-koordinat [mUTM33]	Afstand til kyst [km]		Strøm-scenarie	Middel [m/s]	Maks [m/s]
1 (stor vanddybde, lav strømhastighed)	357200	6091600	Cirka 15 km	30	Lav	0,1	0,2
2 (lav vanddybde, høj hastighed)	478000	6088000	Cirka 15 km	17	Høj	0,3	0,8
3 (stor vanddybde, høj strømhastighed)	460000	6125000	Cirka 20 km	45	Høj	0,25	0,95
4 (lav vanddybde, lav strømhastighed)	320000	6072000	Cirka 7,5 km	17	Lav	0,1	0,3

I modelleringen forudsættes det generelt at kølevandsudledningerne fra PtX-anlæggene forekommer 10 m under havoverfladen, jf. det definerede eksempel præsenteret i afsnit 3.1.

3.3.3 Evaluerede scenarier på hydrodynamiske scenarier

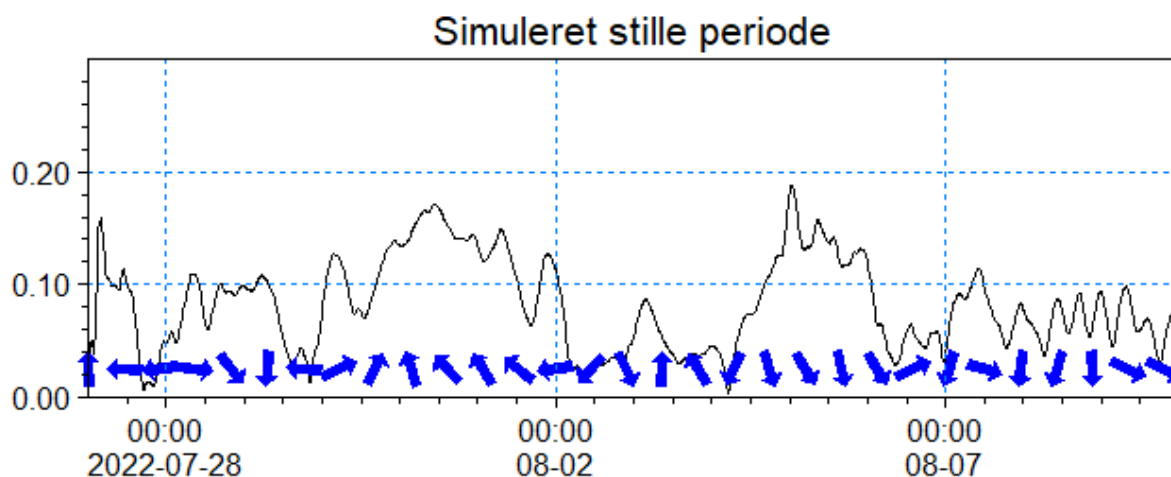
Til vurdering af kølevandsspredning fra PtX-anlæg tages der udgangspunkt i udledning af kølevand gennem en periode på 14-dage med enten relativt stille strømforhold (benævnt "stille periode" i det følgende) eller en mere blæsende periode (benævnt "blæsende periode" i det følgende):

- Stille periode er primært domineret af tidevandsgenerede strømforhold – dog med den underliggende effekt fra afstrømningen i Østersøen, som naturligt medfører en netto-vestgående strøm. I en stille periode kan forventes en lavere opblanding, hvilket resulterer i et større påvirkningsniveau og evt. reduceret påvirkningsområde.
- Blæsende periode inkluderer udover de naturlige effekter fra tidevand og afstrømning i Østersøen desuden effekter fra vindpåvirkning, hvilket i den pågældende periode medfører hændelser med kraftigere vestgående strøm. I perioder med mere kraftig strøm kan forventes en større opblanding, hvormed påvirkningsniveauet reduceres, mens påvirkningsområdet kan øges.

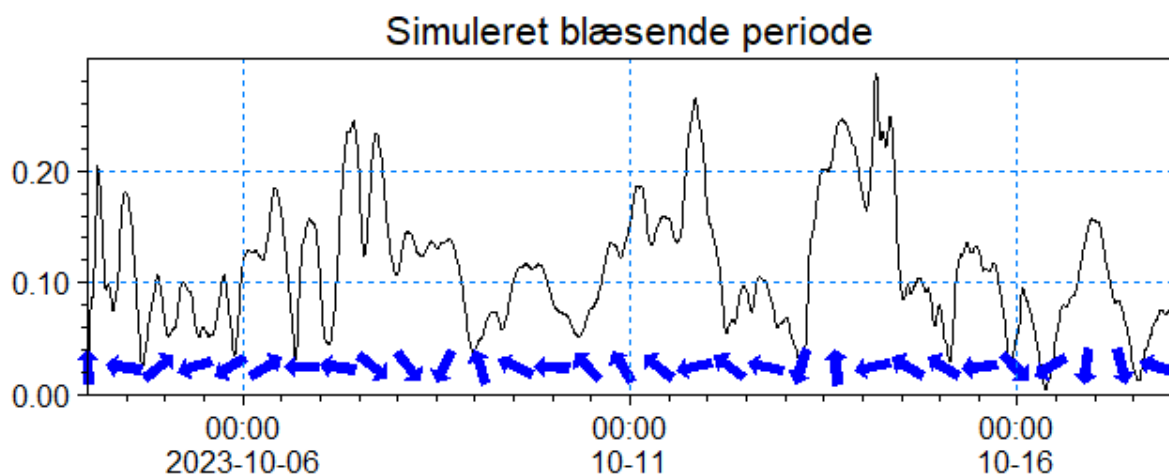
Ovenfor nævnte hydrodynamiske scenarier er udvalgt baseret på en gennemgang af de tilgængelige data fra Copernicus. Det skal dog nævnes, at der ikke er tale om deciderede statistiske ekstremscenarier, men derimod eksempler på to forskellige perioder med strømforhold, som er repræsentative for årlige relativt stille- og blæsende perioder. Således vil det forekomme, at der i perioder kan have både lavere og højere strømhastigheder sammenlignet med eksemplerne i nærværende rapport.

Simulerede tidsserier for strømhastigheder og -retninger i hhv. den stille periode og den blæsende periode er vist i Figur 3-7 og Figur 3-8. Heraf fremgår det, at de højeste strømhastigheder i den stille periode er lavere end 0,2 m/s og ofte lavere end 0,1 m/s, mens der i den blæsende periode forekommer strømhastigheder på op til cirka 0,28 m/s. Tidsserierne er trukket ud for udledningsposition 1 jf. Figur 3-1.

Strømforholdene i de tre andre udledningspositioner for de to hydrodynamiske scenarier vil være anderledes, da der i bl.a. den vestlige del af Østersøen samt i danske farvande generelt, jf. afsnit 3.2, forekommer stor variation i hydrodynamiske forhold.

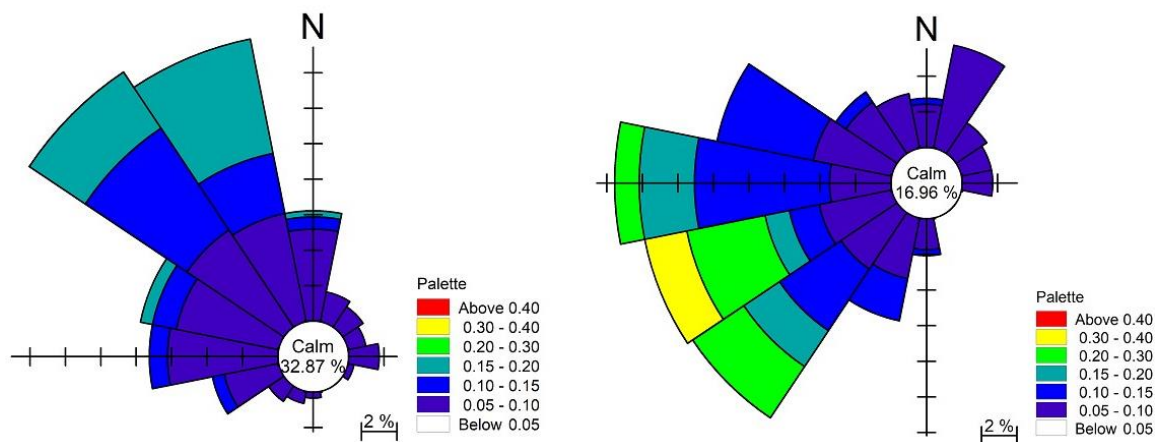


Figur 3-7: Simuleret strømhastighed (sort) og -retning (blå) for scenariet med den "stille periode". Tidsserien er udtrykket i "Udledningsposition 1" jf. Figur 3-1. Enhed for strømhastighed er [m/s].



Figur 3-8: Simuleret strømhastighed (sort) og -retning (blå) for scenariet med den "blæsende periode". Tidsserien er udtrykket i "Udledningsposition 1" jf. Figur 3-1. Enhed for strømhastighed er [m/s].

Såkaldte strømroser for de pågældende scenarieperioder er illustreret i Figur 3-9.



Figur 3-9: Strømrose for den stille periode (venstre) og for den blæsende periode (højre) ved Udledningsposition 1 jf. Figur 3-1. Enhed for strømhastighed er [m/s] (Copernicus, 2024b).

3.3.4 Scenarierne

Scenarierne, der ligger til grund for modelberegningerne af det estimerede påvirkningsniveau er baseret på en kombination af de evaluerede hydrodynamiske scenarier og udledningspositioner i modellen er givet i tabel 3-2, således, at de repræsenterer en bred, men repræsentativ vifte af forholdene i de danske farvande. Som det fremgår af tabellen, er udledningspositioner og hydrodynamiske scenarier kombinerede således, at udledningspositioner med tendens til lave strømhastigheder er kombineret med det hydrodynamiske scenarie, der repræsenterer stille forhold og udledningspositioner med tendens til høje strømhastighed er kombineret med den blæsende periode. For alle scenarier er forudsætningerne de samme ift. driften af PtX-anlægget.

Tabel 3-2: Kombination af udledningspositioner og hydrodynamiske scenarier i modellen.

Udledningsposition:	Hydrodynamisk scenarie
1 (stor vanddybde, lav strømhastighed)	Stille periode
2 (lav vanddybde, høj hastighed)	Blæsende periode
3 (stor vanddybde, høj strømhastighed)	Blæsende periode
4 (lav vanddybde, lav strømhastighed)	Stille periode

3.4 Resultater for scenarier på modelleret temperaturspredning

I det følgende præsenteres resultater fra de gennemførte modelberegninger af temperaturspredningen. Resultaterne indikerer den relative temperaturændring af havvandet under drift af et PtX-anlæg. Resultaterne er repræsentative for de udvalgte scenarier (jf. afsnit 3.3.4) og består af areal-plots og tidsserieplots. Areal-plottene for de forskellige scenarier har samme geografiske udstrækning, hvormed påvirkningsområdernes størrelse for de forskellige udledningspositioner kan sammenlignes direkte. Den maksimale påvirkning er vist for et 15 km x 15 km område, mens de gennemsnitlige forhold er vist for et udsnit på 1 km x 1 km.

Arealplottene viser statistiske hhv. maks.- og middel temperaturændringer i simuleringsperioden; dvs. hhv. den maksimalt simulerede temperaturændring gennem simuleringsperioden i hvert enkelt beregningselement og den gennemsnitlige temperaturændring gennem simuleringsperioden. Plottene viser dermed ikke øjeblikbilleder af en momentan temperaturændring.

Resultater, der er vist, er baseret på forholdene i den øverste del af vandsøjlen, men skal betragtes og anvendes som værende repræsentative for hele vandsøjlen (dybdemidlede forhold). Denne antagelse er overordnet konservativ ift. påvirkningen nær bunden, da påvirkningen er størst i den øvre del af vandsøjlen grundet egenskaberne af det udledte vand (varmt og derfor med lavere densitet). I den øvre del af vandsøjlen vil der dog kunne forekomme lokale påvirkningsniveauer, der er større end det resultaterne viser.

Det skal bemærkes, at der i forbindelse med det anvendte modelgrundlag sker en initial opblanding af kølevandet med det vand, der er i den model-beregningscelle kølevandet ledes ud i. Lokalt ved udløbet vil der derfor ikke nødvendigvis fremgå resultater med en lokal konstant ændring på $+12^{\circ}\text{C}$, men i virkeligheden vil der være en temperaturstigning ved udmundingen af udledningsledningen eller -røret. Tidsserieplottene viser ej heller den tidslige variation i temperaturændring i udvalgte positioner nær den aktuelle udledningsposition. Der er ikke vist tidsserier for punkter tættere end t1 ved de enkelte udledningspositioner. Desuden er i der i den opsatte model ikke inkluderet specifikke forudsætninger om udledningshastigheden af kølevandsstrålen mv. og der kan derfor ikke forventes at resultaterne (strømhastigheder, temperatur mv.) lokalt vil være repræsentative for den faktiske påvirkning.

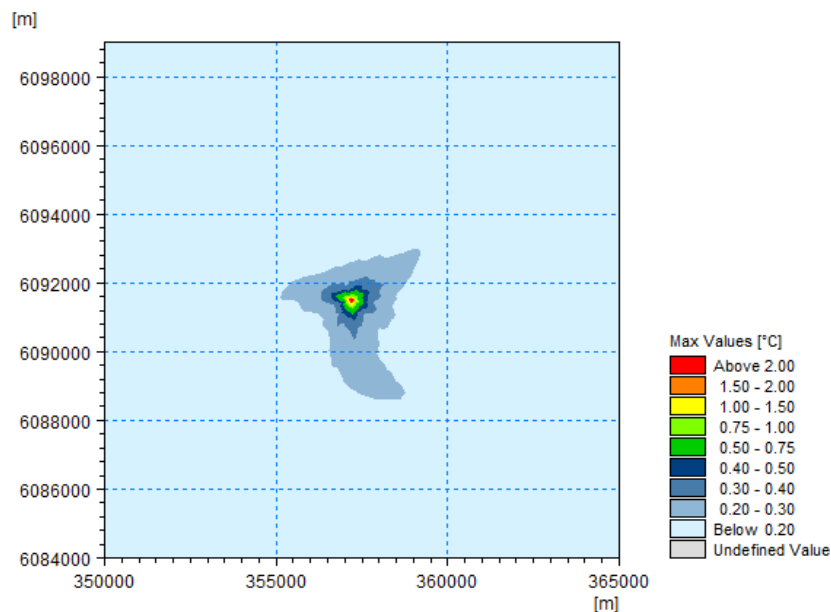
Som tidligere nævnt forekommer der ud over den geografiske variation i de hydrauliske forhold også en tidslig variation. Dette ses bl.a. ud fra forskellene mellem de statistiske maksimale – og gennemsnitlige påvirkninger, men også ud fra de tidsserie-plots, der er suppleret med.

Eksempler på temperaturspredninger præsenteres i det følgende med udgangspunkt i de forudsatte scenarier (defineret i afsnit 3.3.4), repræsenteret ved de fire udledningspositioner jf. afsnit 3.3.2 (tabel 3-1) i kombination med de forudsatte hydrodynamiske scenarier jf. afsnit 3.3.3 (tabel 3-2). Alle med samme forudsætninger for det udledte kølevand jf. afsnit 3.3.1.

3.4.1 Modelleret temperaturspredning - udledningsposition 1

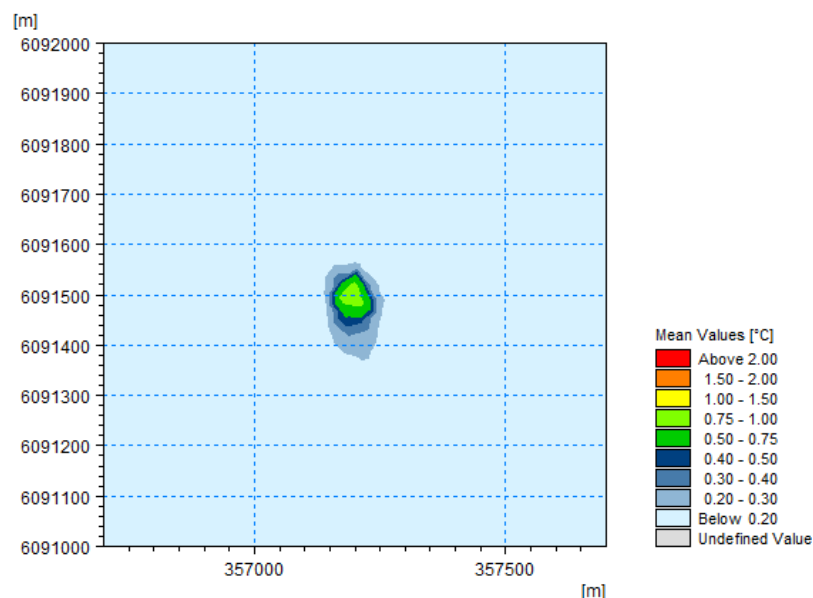
Modelresultater for scenariet defineret ved udledningsposition 1, hvor der forekommer relativt stor vanddybde (cirka 30 m vanddybde) og som er repræsentativ for et område, hvor der er tendens til en "lav" strømhastighed, hvilket er kombineret med det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode, er vist i figur 3-10 og figur 3-11 for hhv. statistisk maksimal temperaturpåvirkning i simuleringsperioden og statistisk gennemsnitlig temperaturændring.

Som det fremgår af figur 3-10, er temperaturændringen lokal idet en maksimal påvirkning på $0,2^{\circ}\text{C}$ ikke har en geografisk udbredelse på mere end cirka 4 – 5 km i diameter omkring udledningspositionen. Temperaturændringerne, der er vist, skal som tidligere nævnt betragtes som værende repræsentative for dybdemidlede temperaturændringer (dvs. samme temperaturændring i hele vandsøjlen), hvilket er grunden til, at der helt lokalt ikke haves en temperaturændring svarende til Δt på 12°C – svarende til forudsatte udledningsscenario jf. afsnit 3.3.1. Dette betyder også, at der lokalt i vandsøjlen kan forekomme temperaturændringer der er højere end de viste dybdemidlede forhold.



Figur 3-10: Eksempel på statistisk maksimal dybdemidlet temperaturændring for udledningsposition 1 med relativt stor vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode.

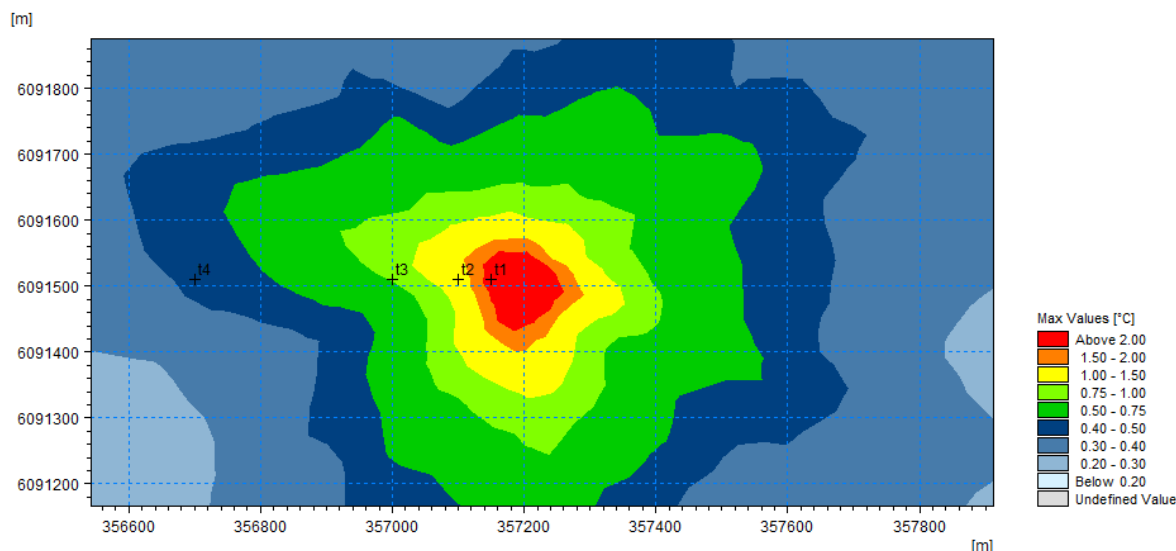
Modelresultater for gennemsnitlige temperaturændring ved udledningsposition 1 i perioden for det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode er vist i figur 3-11. Ved sammenligning med figur 3-10 ses langt lavere gennemsnitlige temperaturændringer sammenlignet med de maksimale, hvilket understøtter, at der er en stor tidlig variation i påvirkningsniveauet.



Figur 3-11: Eksempel på statistisk gennemsnits dybdemidlet temperaturændring for udledningsposition 1 med relativt stor vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode.

3.4.1.1 Eksempel på tidsvarierende temperaturændring nær udledningsposition 1

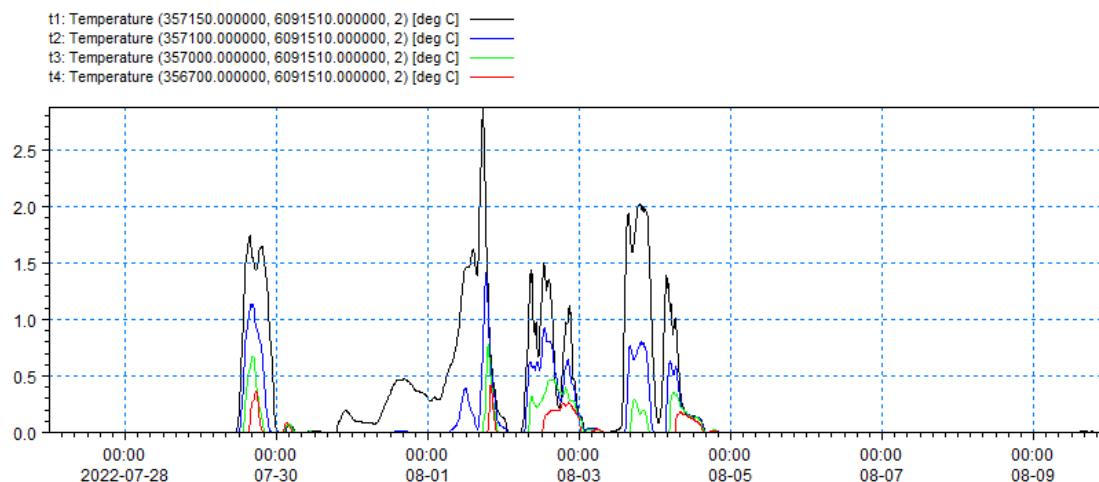
Der er udtrukket tidsvarierende temperaturændringer (tidsserier) ved fire positioner; t1 – t4 i en afstand til udledningsposition 1 på cirka 50m, 100m, 200m og 500m. Udtrækspunkternes position er illustreret i figur 3-12. Der er ingen af positionerne, der er repræsentative for temperaturændringen lige ved udledningen.



Figur 3-12: Markering af udtrækspunkter for tidsserieudtræk af statistisk maksimal temperaturændring for udledningsposition 1 og scenariet med lave strømhastigheder (stille forhold).

Tidsserier fra udtrækspunkterne er vist i figur 3-13. Tidsserierne er trukket ud i den øvre del af vandsøjlen, men skal (som nævnt) betragtes som værende repræsentative for den dybdemidlede temperaturændring. Bemærk at resultaterne alene er repræsentative for det betragtede udtrækspunkt, der vil således kunne forekomme variationer ved udtræk i andre positioner og der vil forekomme variationer gennem vandsøjlen.

Som det fremgår af figur 3-13 haves der generelt stor tidslig dynamik i temperaturændringen. Desuden ses det, at påvirkningen aftager signifikant med afstanden til udledningspositionen.

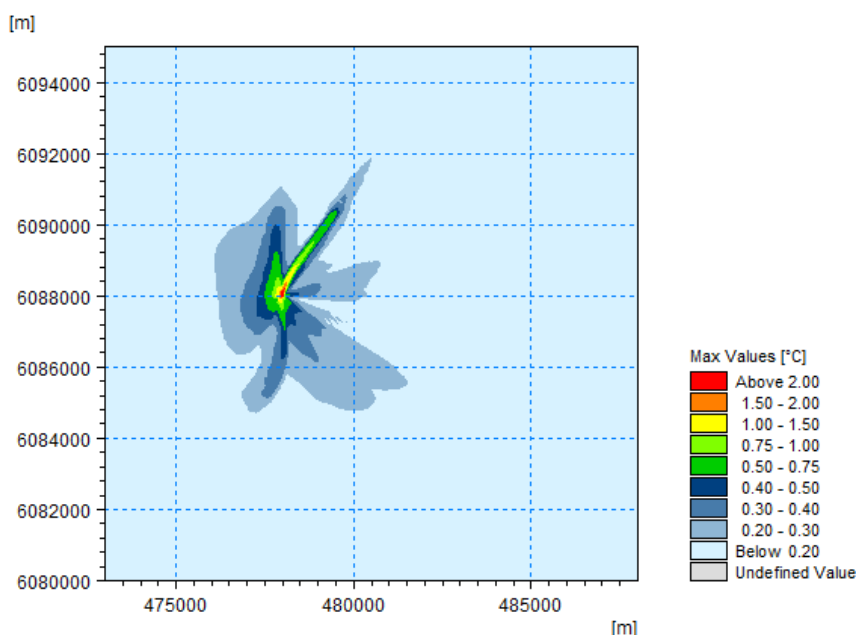


Figur 3-13: Eksempler på tidsvarierende temperaturændringer nær udledningsposition 1 for scenariet svarende til den stille periode og stor vanddybde.

3.4.2 Modelleret temperaturspredning - udledningsposition 2

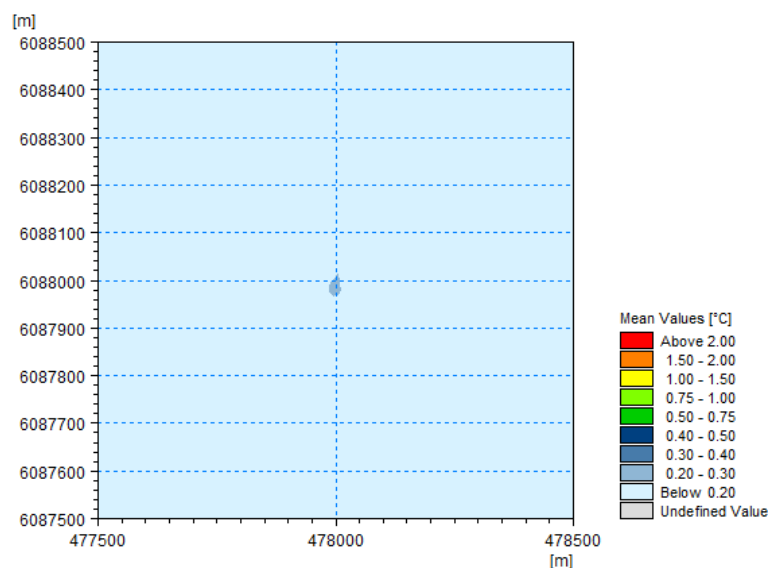
Modelresultater for scenariet defineret ved udledningsposition 2, hvor der forekommer relativt lav vanddybde (cirka 17 m vanddybde) og som er repræsentativ for et område, hvor der er tendens til højere strømhastighed, hvilket er kombineret med det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode, er vist i figur 3-14.

Ved sammenligning med den maksimale ændring for den stille periode på større vanddybde i afsnit 3.4.1 kan det konstateres, at der for nærværende eksempel opnås en større geografisk udbredelse for de viste temperaturændringsniveauer, således kan forventes at en temperaturforøgelse på ned til cirka 0,2°C kan optræde i et område, der er cirka 6-7 km i diameter omkring udledningspositionen.



Figur 3-14: Eksempel på statistisk maksimal dybdemidlet temperaturændring for udledningsposition 2 med relativt lav vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode.

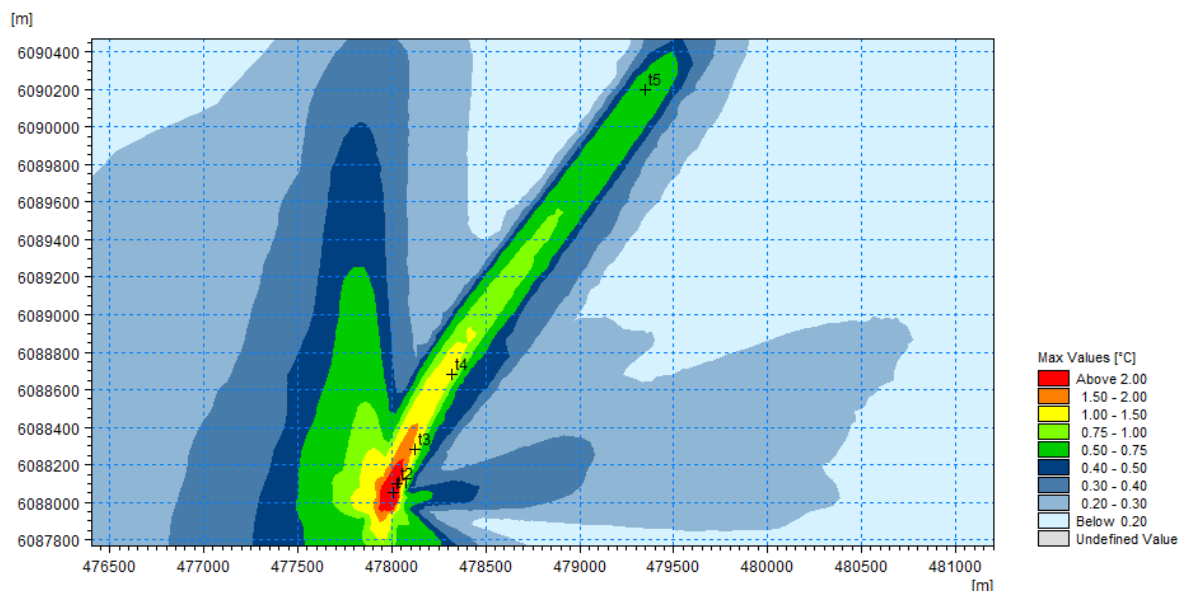
Modelresultater for den gennemsnitlige temperaturændring ved udledningsposition 2 i perioden for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode er vist i figur 3-15. Af figuren kan det konstateres, at den geografiske udbredelse af den gennemsnitlige temperaturændring (<0,2°C) reduceres sammenlignet med tilsvarende resultat for udledningsposition 1, som følge af den højere geografiske strømhastighed og dermed større spredning og opblanding.



Figur 3-15: Eksempel på statistisk gennemsnits dybdemidlet temperaturændring for udledningsposition 2 med relativt lav vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode.

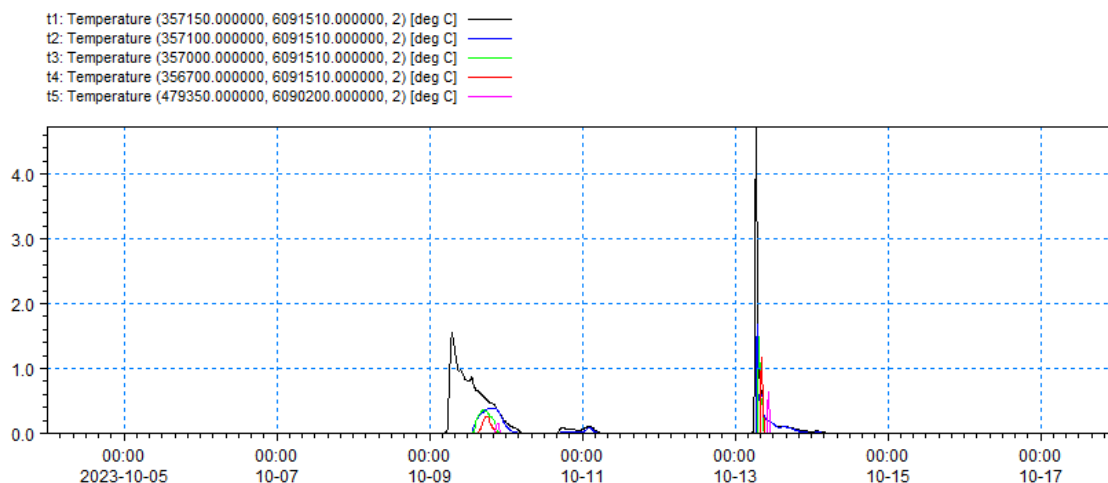
3.4.2.1 Eksempel på tidsvarierende temperaturændring nær udledningsposition 2

Figur 3-16 viser fem udtrækspositioner nær udledningsposition 2, hvorfra der udtrækkes tidsserie med temperaturændringen i simuleringsperioden. Udtrækspositionerne er placeret i den "dominerende" strømretning, hvori der jf. figur 3-16 også forekommer den største temperaturændring for det pågældende eksempel. De fem positioner; t1 – t5 har en afstand til udledningsposition 2 på cirka 50m, 100m, 300m, 750m og 3.000m.



Figur 3-16: Markering af udtrækspunkter for tidsserieudtræk på statistisk maksimal temperaturændring for udledningsposition 2 og scenariet med høje strømhastigheder (blæsende forhold).

Tidsserier for temperaturændringer ved de fem udtrækspositioner nær udledningsposition 2 er vist i figur 3-17. Som det fremgår af figuren, haves generelt en stor dynamik i temperaturændringen, som til sammenligning med tidsvarierende temperaturændring ved udledningsposition 1 er endnu større i tilfælde af højere strømhastigheder.

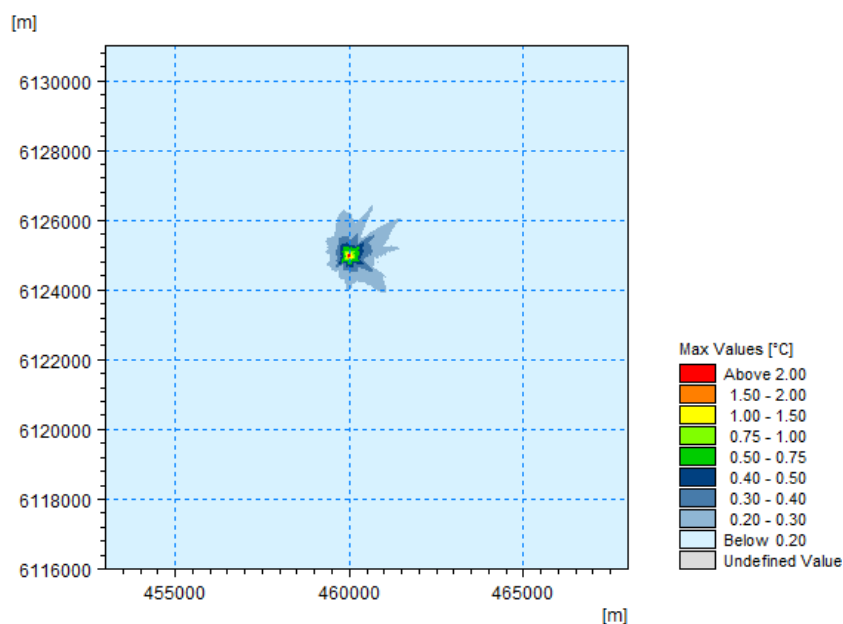


Figur 3-17: Eksempler på tidsvarierende temperaturændringer nær Udledningsposition 2 for scenariet svarende til den blæsende periode.

3.4.3 Modelleret temperaturspredning - udledningsposition 3

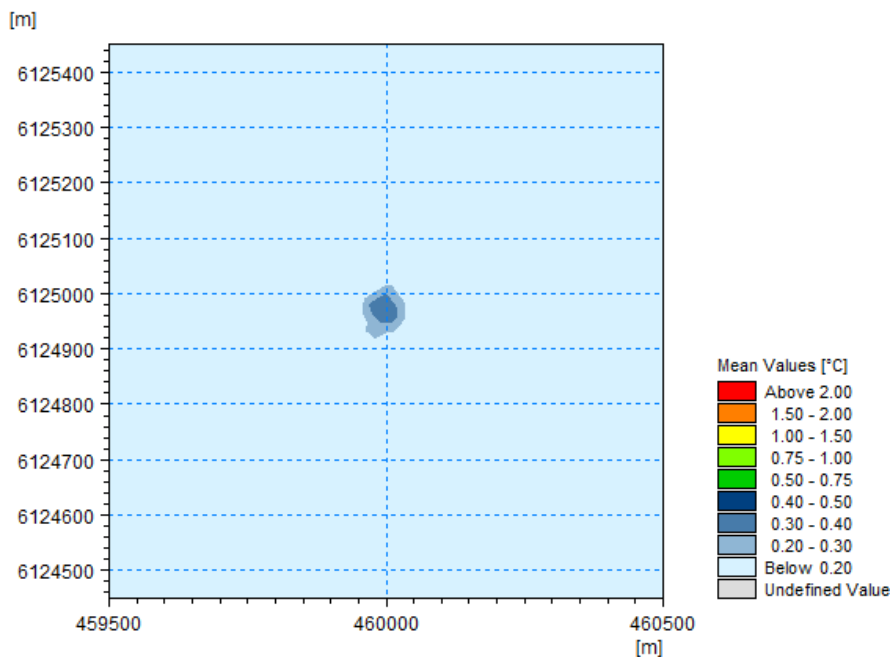
Modelresultater for scenariet defineret ved udledningsposition 3, hvor der forekommer relativt stor vanddybde (cirka 45 m vanddybde) og med en geografisk tendens til højere strømhastighed, hvilket er kombineret med det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode, er vist i figur 3-18 for den statistiske maksimale temperaturændring i simuleringsperioden.

For dette scenarie-eksempel er påvirkningsområdet, hvor temperatur øges med minimum cirka 0,2°C cirka 1-2 km i diameter. Ved sammenligning med den maksimale ændring for den blæsende periode med lavere vanddybde i afsnit 3.4.2 kan det konstateres, at der for nærværende scenarie-eksempel er en reduceret geografisk udbredelse for maks.-temperaturændringen, hvilket indikerer, at der er en hurtigere opblanding.



Figur 3-18: Eksempel på statistisk maksimal dybdemidlet temperaturændring for udledningsposition 3 med relativt stor vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode.

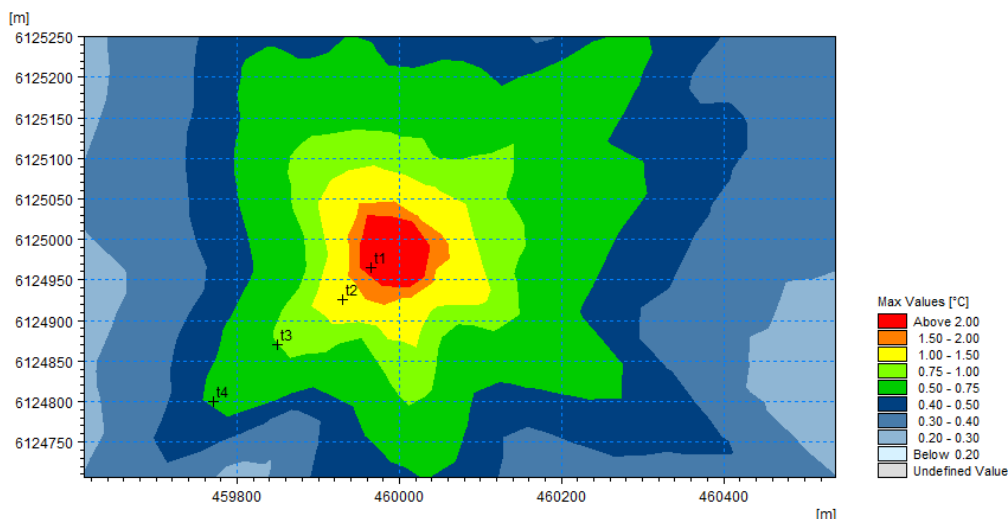
Modelresultater for den gennemsnitlige temperaturændring for scenariet repræsenteret ved udledningsposition 3 i perioden for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode er vist i figur 3-19. Af figuren kan konstateres, at påvirkningsområdet hvor der gennemsnitlig sker en påvirkning på minimum $0,2^{\circ}\text{C}$ er lokal omkring udledningspunktet.



Figur 3-19: Eksempel på statistisk gennemsnits dybdemidlet temperaturændring for udledningsposition 3 med relativt stor vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode.

3.4.3.1 Eksempel på tidsvarierende temperaturændring nær udledningsposition 3

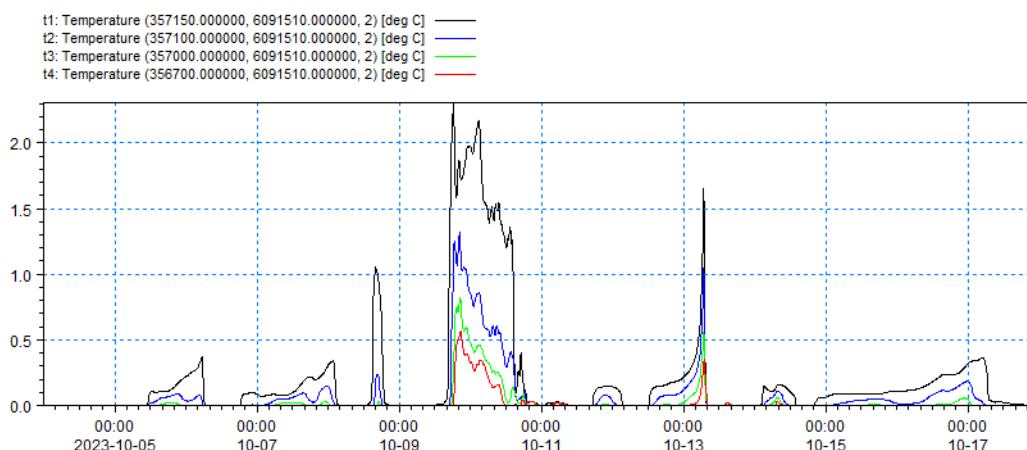
Der er udtrukket tidsvarierende temperaturændringer (tidsserier) ved fire positioner; t1 – t4 i en afstand til udledningsposition 3 på cirka 50m, 100m, 200m og 300m. Udtrækspunkternes position er illustreret i figur 3-20. Der er ingen af positionerne, der er repræsentative for temperaturændringen lige ved udledningen.



Figur 3-20: Markering af udtrækspunkter for tidsserieudtræk på statistisk maksimal temperaturændring for udledningsposition 3 og scenariet med høje strømhastigheder (blæsende forhold).

Tidsserier fra udtrækspointerne er vist i figur 3-21. Tidsserierne er trukket ud i den øvre del af vandsøjlen, men skal (som nævnt) betragtes som værende repræsentative for den dybdemidlede temperaturændring. Bemærk at resultaterne alene er repræsentative for det betragtede udtrækspunkt, der vil således kunne forekomme variationer ved udtræk i andre positioner og der vil forekomme variationer gennem vandsøjlen.

Som det fremgår af figur 3-21 haves der generelt stor tidslig dynamik i temperaturændringen. Desuden ses det, at påvirkningen aftager signifikant med afstanden til udledningspositionen.

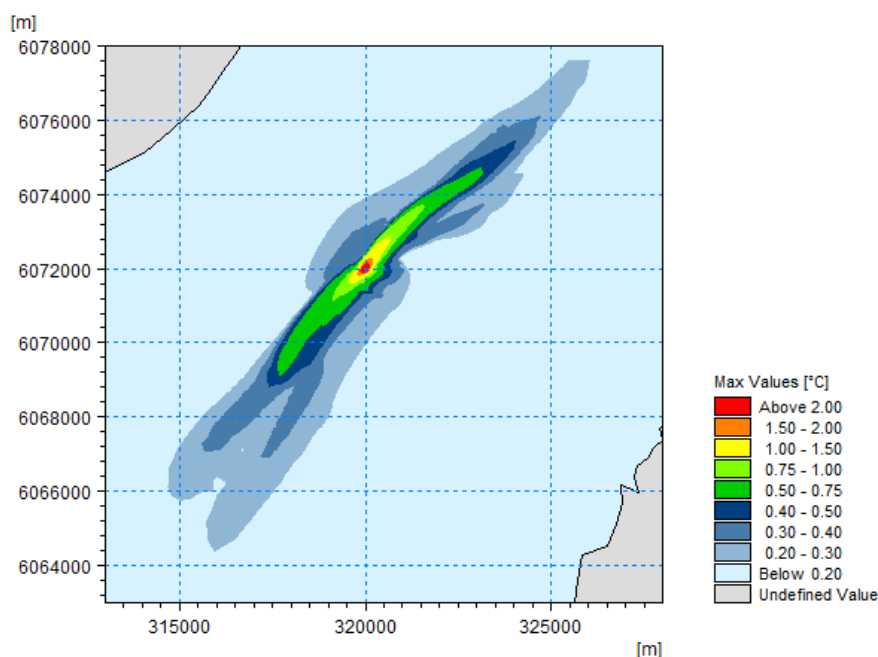


Figur 3-21: Eksempler på tidsvarierende temperaturændringer nær udledningsposition 3 for scenariet svarende til den blæsende periode.

3.4.4 Modelleret temperaturspredning - udledningsposition 4

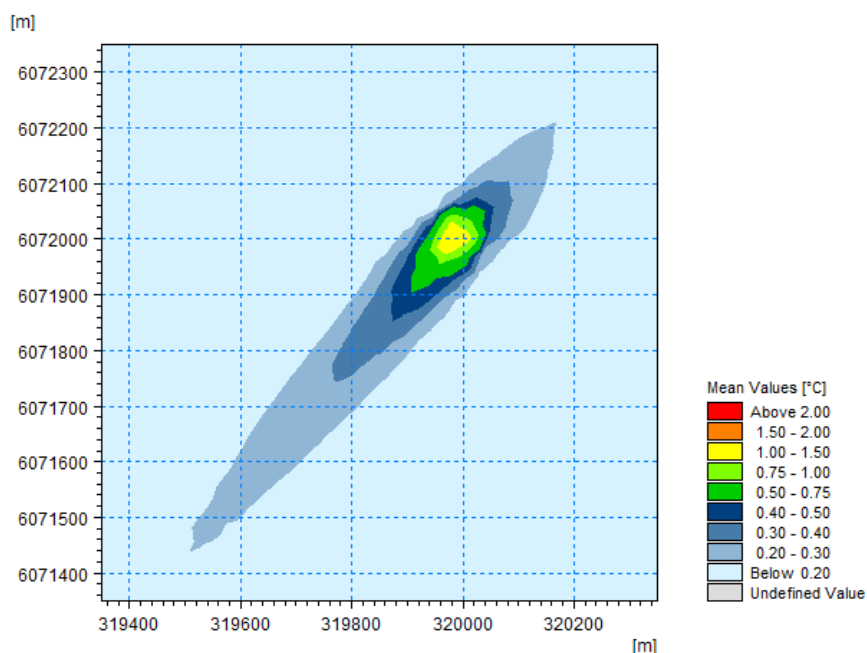
Modelresultater for scenariet defineret ved udledningsposition 4, hvor der forekommer relativ lav vanddybde (cirka 17 m vanddybde) og med en geografisk tendens til lav strømhastighed, hvilket er kombineret med det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode, er vist i figur 3-22 for den statistiske maksimale påvirkning af temperaturen indenfor simuleringsperioden.

Den relativt ensrettede nordøst/sydvest-gående strøm ved denne udløbsposition medfører et mere koncentreret aflagt påvirkningsområde sammenlignet med de øvrige eksempler, hvor der forekommer mere varierende strømretninger gennem en periode på 14 dage. Påvirkningsområdet hvor der kan forekomme en temperaturforøgelse på op til cirka 0,2 °C er for dette scenarietilfælde cirka 15 km i strømretningen, men signifikant mindre på tværs af strømretningen.



Figur 3-22: Eksempel på statistisk maksimal dybdemidlet temperaturændring for udledningsposition 4 med relativt lav vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode.

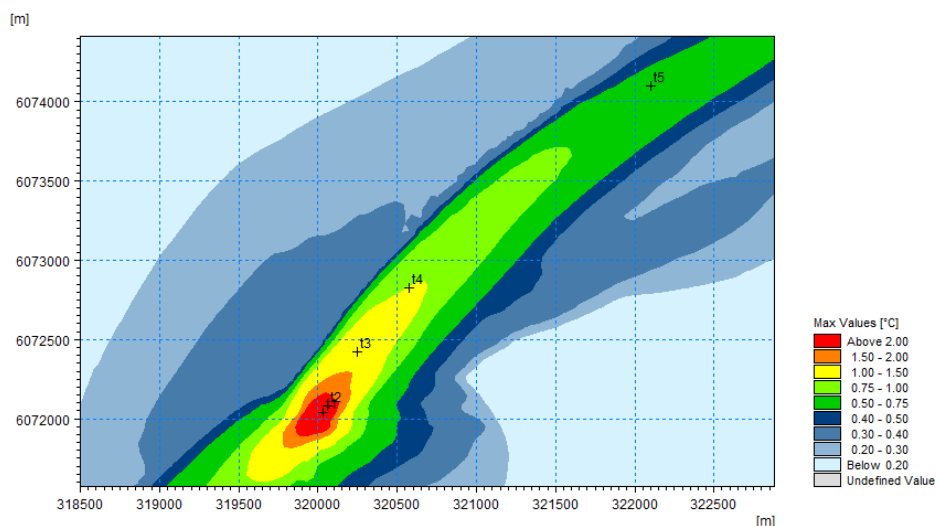
Modelresultater for den gennemsnitlige temperaturændring ved udledningsposition 4 i perioden for det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode er vist i figur 3-23. Af figuren kan det konstateres, at den geografiske udbredelse af den gennemsnitlige temperaturændring ($<0,2^{\circ}\text{C}$) på samme vis som for den maksimale ændring følger den primære strømretning og sammenlignet med de tre andre scenarie-eksempler har et større påvirkningsområde, hvilket indikerer en lavere spredning/opblanding forventelig grundet de meget ensrettede strømforhold.



Figur 3-23: Eksempel på statistisk gennemsnits dybdemidlet temperaturændring for udledningsposition 4 med relativt lav vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode.

3.4.4.1 Eksempel på tidsvarierende temperaturændring nær udledningsposition 4

Der er udtrukket tidsvarierende temperaturændringer (tidsserier) ved fire positioner; t_1 – t_5 i en afstand til udledningsposition 4 på cirka 50m, 100m, 500m, 1.000m og 3.000m. Udtrækspunkternes position er illustreret i figur 3-24. Der er ingen af positionerne, der er repræsentative for temperaturændringen lige ved udledningen.

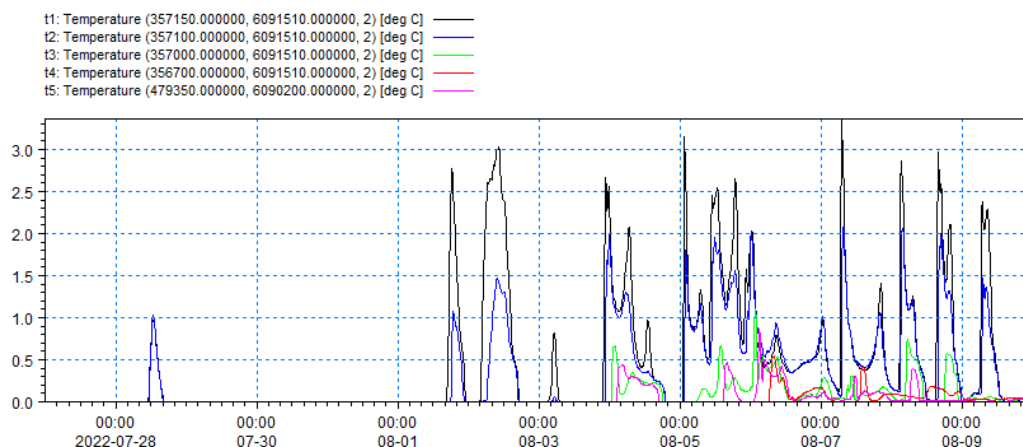


Figur 3-24: Markering af udtrækspunkter for tidsserieudtræk af statistisk maksimal temperaturændring for udledningsposition 4 og scenariet med lave strømhastigheder (stille forhold).

Tidsserier fra udtrækspunkterne er vist i figur 3-25. Tidsserierne er trukket ud i den øvre del af vandsøjlen, men skal (som nævnt) betragtes som værende repræsentative for den dybdemidlede

temperaturændring. Bemærk at resultaterne alene er repræsentative for det betragtede udtrækspunkt, der vil således kunne forekomme variationer ved udtræk i andre positioner og der vil forekomme variationer gennem vandsøjlen.

Som det fremgår af figur 3-25, opstår der flere temperatur peaks, da temperaturfanen primært følger den ensrettede nordøst/sydvest-gående strøm. Dette står i kontrast til de øvrige eksempler, hvor strømretningen varierer mere over en periode på 14 dage.



Figur 3-25: Eksempler på tidsvarierende temperaturændringer nær udledningsposition 4 for scenariet svarende til den stille periode og stor vanddybde.

3.5 Resultater fra modellering af udslip af biocid

På samme vis som for temperaturændring præsenteres i det følgende eksempler på spredningen og dermed påvirkningsniveauet af biocid, som udledes via kølevandet til havvandet, jf. eksemplet præsenteret i afsnit 3.3.1.

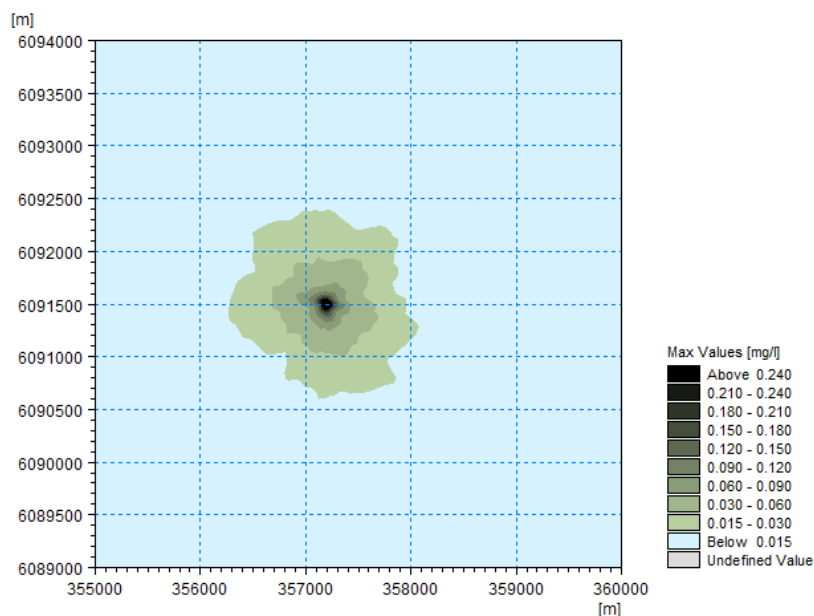
Resultaterne er estimer af den påvirkning, der kan forekomme under drift af et PtX-anlæg – for de fire scenarie-eksempler, der er præsenteret i afsnit 3.3.4. Resultaterne er præsenteret ved statistiske areal-plots af påvirkningsniveauet for hvert af de fire scenarie-eksempler.

Resultaterne, der er vist, er baseret på forholdene i den øverste del af vandsøjlen, men skal betragtes og anvendes som værende repræsentative for hele vandsøjlen (dybdemidlede forhold). Denne antagelse er overordnet konservativ ift. påvirkningen nær bunden, da påvirkningen er størst i den øvre del af vandsøjlen grundet egenskaberne af det udledte vand (varmt og derfor med lavere densitet). I den øvre del af vandsøjlen vil der dog kunne forekomme lokale påvirkningsniveauer, der er større end det resultaterne viser.

Generelt kan det konstateres, at spredningen af biocid umiddelbart følger samme tendens som for temperaturspredningen, dog med en mindre geografisk udbredelse. Dette skyldes, at biocidens henfald er indregnet, hvilket reducerer dens spredning over tid. Derfor gives der for disse resultater ikke en decideret diskussion af modelresultater. Udbredelsen af påvirkningen afhængig af koncentrationsniveauet kan aflæses i de specifikke plots.

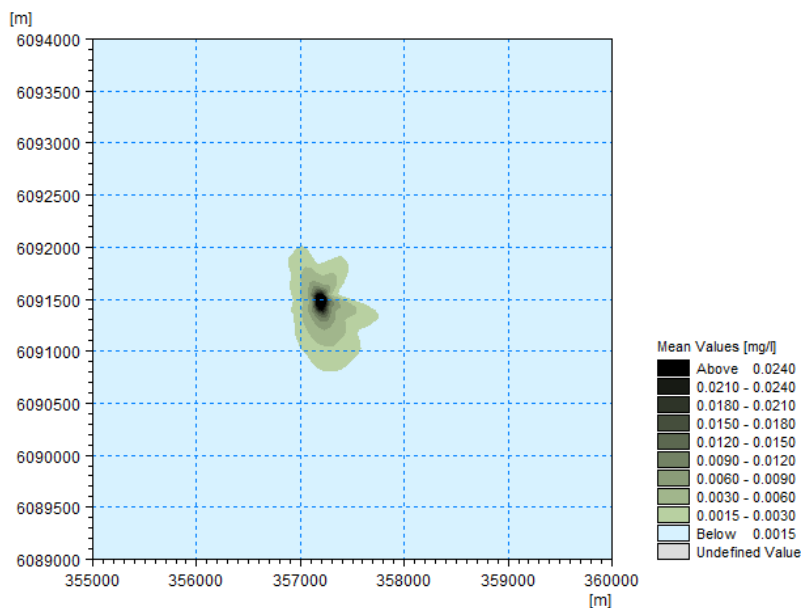
3.5.1 Modelleret spredning af biocid ved udledningsposition 1

Modelresultater for scenariet defineret ved spredning af biocid ved udledningsposition 1 med relativt stor vanddybde (cirka 30 m vanddybde) og med en geografisk tendens til lavere strømhaastighed, hvilket er kombineret med det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode, er vist i figur 3-26.



Figur 3-26: Eksempel på statistisk maksimal dybdemidt biocidkoncentration for udledningsposition 1 med relativt stor vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode.

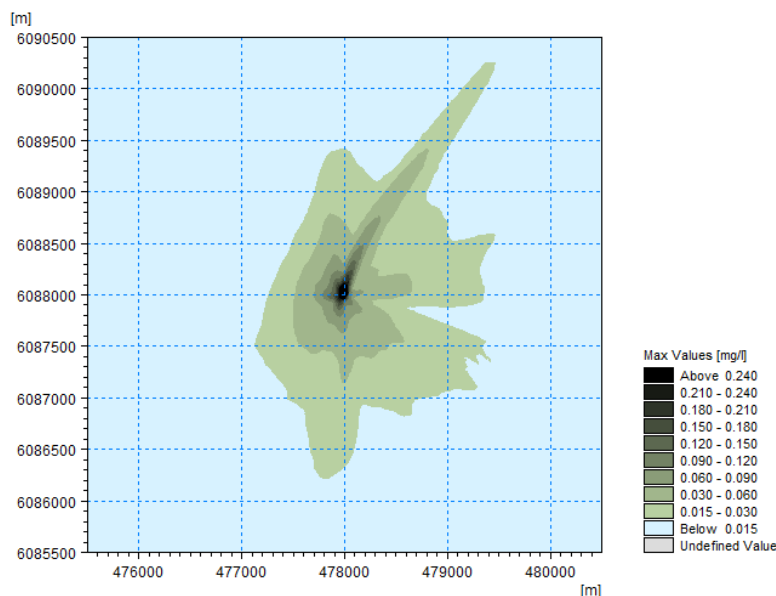
Modelresultater for den gennemsnitlige biocidkoncentration og spredning ved udledningsposition 1 i perioden for det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille forhold er vist i figur 3-27. Ved sammenligning med figur 3-26 ses langt lavere gennemsnitlige biocidkoncentrationer sammenlignet med de maksimale.



Figur 3-27: Eksempel på statistisk gennemsnits dybdemidt biocidkoncentration for udledningsposition 1 med relativt stor vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode.

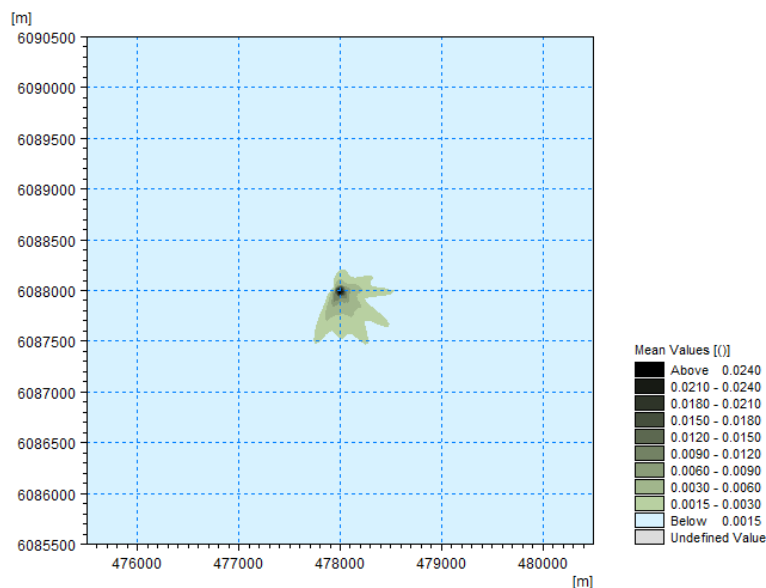
3.5.2 Modelleret spredning af biocid ved udledningsposition 2

Modelresultater for scenariet defineret ved spredning af biocid ved udledningsposition 2 med relativt lav vanddybde (cirka 17 m vanddybde) og med en geografisk tendens til højere strømha-stighed, hvilket er kombineret med det hydrodynamiske scenarie svarende til blæsende forhold, er vist i figur 3-28.



Figur 3-28: Eksempel på statistisk maksimal dybdemidlet biocidkoncentration for udledningsposition 2 med relativt lav vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode.

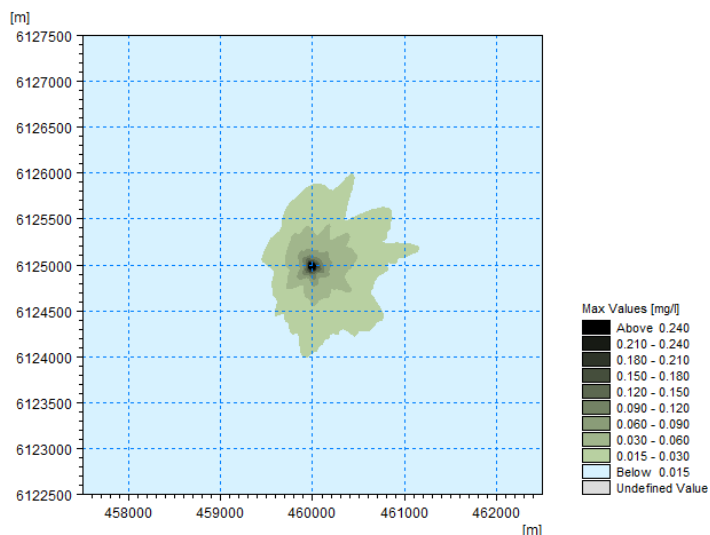
Modelresultater for den gennemsnitlige biocidkoncentration og spredning ved udledningsposition 2 i perioden for det hydrodynamiske scenarie svarende til blæsende forhold er vist i figur 3-29.



Figur 3-29: Eksempel på statistisk gennemsnits dybdemidlet biocidkoncentration for udledningsposition 2 med relativt lav vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode.

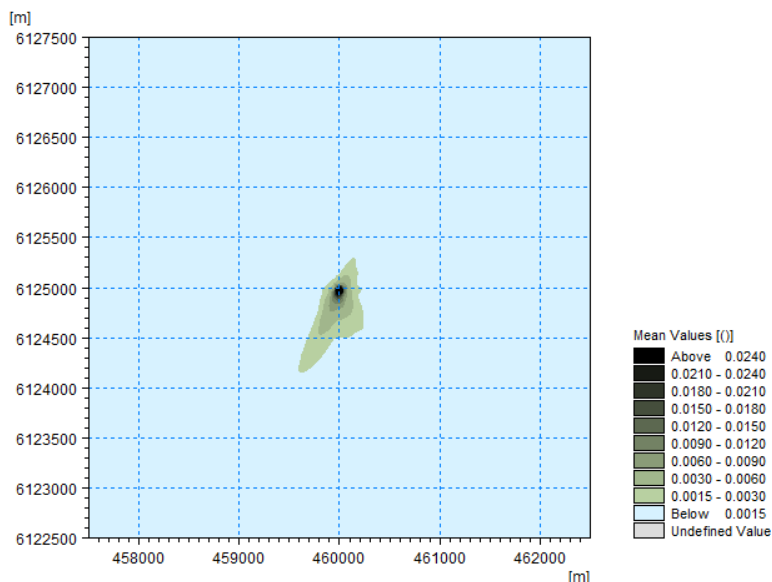
3.5.3 Modelleret spredning af biocid ved udledningsposition 3

Modelresultater for scenariet defineret ved spredning af biocid ved udledningsposition 3 med relativt stor vanddybde (cirka 45 m vanddybde) og med en geografisk tendens til højere strømhaastighed, hvilket er kombineret med det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode, er vist i figur 3-30.



Figur 3-30: Eksempel på statistisk maksimal dybdemidlet biocidkoncentration for udledningsposition 3 med relativt stor vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode.

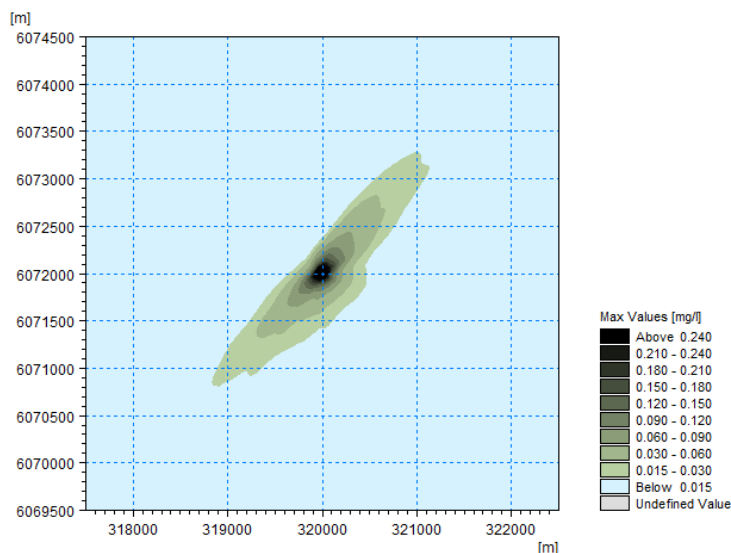
Modelresultater for det gennemsnitlige biocidkoncentration og spredning ved udledningsposition 3 i perioden for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode er vist i figur 3-31.



Figur 3-31: Eksempel på statistisk gennemsnits dybdemidlet biocidkoncentration for udledningsposition 3 med relativt stor vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode.

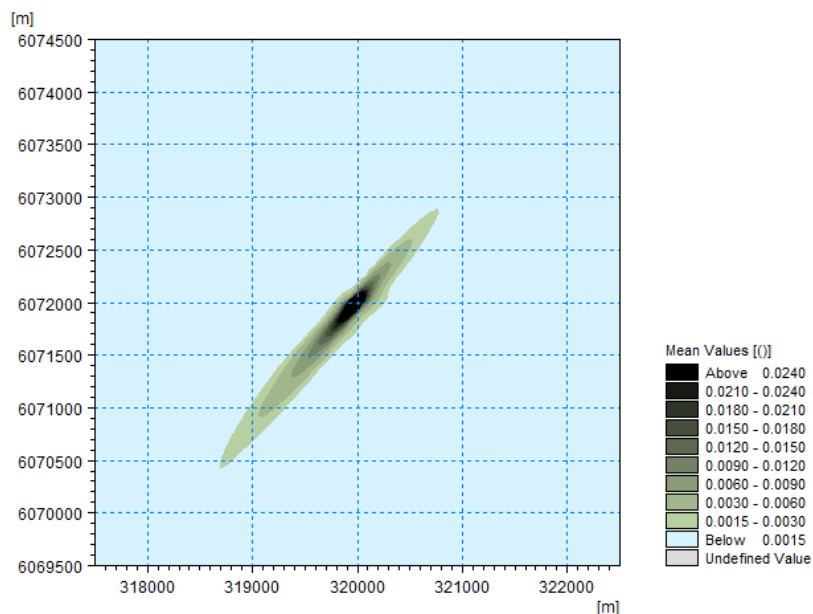
3.5.4 Modelleret spredning af biocid ved udledningsposition 4

Modelresultater for scenariet defineret ved spredning af biocid ved udledningsposition 4 med relativt lav vanddybde (cirka 17 m vanddybde) og med en geografisk tendens til lav strømhastighed, hvilket er kombineret med det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode er vist i figur 3-32.



Figur 3-32: Eksempel på statistisk maksimal dybdemidlet biocidkoncentration for udledningsposition 4 med relativt lav vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode.

Modelresultater for den gennemsnitlige biocidkoncentration og spredning ved udledningsposition 4 i perioden for det hydrodynamiske scenarie svarende til den blæsende periode er vist i figur 3-33.



Figur 3-33: Eksempel på statistisk gennemsnits dybdemidlet biocidkoncentration for udledningsposition 4 med relativt lav vanddybde og for det hydrodynamiske scenarie svarende til den stille periode.

3.6 Opsamling på modellering

Kapitel 3 præsenterer resultater fra gennemførte modelberegninger af spredningen af kølevand i havvand, ifm. driften af et offshore PtX-anlæg. Baggrunden er at give et grundlag for en indledende analyse af potentielle miljøpåvirkninger ved etablering af et PtX-anlæg i danske farvande. Således er der i nærværende kapitel ikke tale om et modellerings- og eller vurderingsgrundlag, som kan forveksles med detailniveauet i miljøkonsekvensvurderinger, men alene indledende resultater baseret på en række grundlæggende overordnede forudsætninger.

De præsenterede resultater er baserede på en række forudsætninger af både PtX-anlæggets driftssituation og de hydrauliske forhold lokalt og regionalt omkring PtX-anlægget og kan hverken betragtes som øvre estimerer eller udtømmende ift. mulige påvirkningsniveauer. Påvirkningselementerne, der er indeholdt er;

- temperaturændring af havvandet, idet kølevandet har en højere temperatur end det havvand det ledes ud i, hvormed der vil ske en opblanding og dermed påvirkning af havvandstemperaturen lokalt/regional
- påvirkning/spredning af biocid, idet kølevandet kan indeholde en koncentration heraf ved udledningen til havvandet

I de danske farvande findes en stor geografisk- og tidsmæssig variation af de hydrauliske forhold (herunder strømforhold, salinitet og vandtemperatur), hvilket medfører, at påvirkningen vil være meget afhængig af både den geografiske udledningsposition samt de hydrauliske forhold under udledningen. Derfor er der ifm. med de gennemførte modelberegninger taget udgangspunkt i fire forskellige scenarier for udledningspositioner (herunder forskellige realistiske vanddybder og geografisk betingede variationer i strømforhold) samt forskellige scenarier for hydrodynamiske forhold (hhv. relativt stille forhold og relativt blæsende forhold). Igen skal det pointeres, at der ift. modelscenarier og udledningspositioner alene er tale om få udvalgte repræsentative eksempler, og således ikke en udtømmende vifte af mulige scenarier og påvirkninger.

Foruden variationer i lokale hydrodynamiske forhold vil der naturligt forekomme stor variation i temperaturdifferens, vandføring mv. for de specifikke PtX-anlæg. Til nærværende eksempler er der taget udgangspunkt i en temperaturdifferens for kølevandet på +12 °C ift. det havvand det ledes ud i samt en kølevandsmængde på 20.000 m³/t. Desuden forudsættes, at der potentielt kan forekomme udledning af forskellige kemikalier, hvoraf det mest kritiske er vurderet at være biocid med en estimeret koncentration ved udløb til havet på 1,5 ppm. Kølevandet har ydermere en salinitetsforøgelse på 1% sammenlignet med saliniteten i havvandet i området for udledningen. Da salinitetsforøgelsen både er meget begrænset sammenlignet med de naturlige variationer af saliniteten i de danske farvande og er begrænset ift. de øvrige påvirkninger forårsaget af kølevandsudledningen, er der alene fokuseret på påvirkningen af havvandstemperaturen samt spredning af biocid.

Den anvendte model til simulering af spredning af kølevand er baseret på foreliggende grundlag for dybdeforhold og forceringsdata. Der har ikke været et tilgængeligt datagrundlag til kalibrering/validering af modellen, og således kan det ikke eftervises præcist i hvilket omfang modellen er i stand til at gengive de eksakte lokale hydrodynamiske forhold ved de evaluerede udledningspositioner. Dog vurderes det, at modellen er i stand til at gengive en tilstrækkelig repræsentation af variationer i hydrodynamiske forhold repræsentativ for de danske farvande, hvormed den vurderes egnet til anvendelse ifm. disse indledende analyser af påvirkningsniveauet.

Der vil naturligt kunne forekomme andre hydrauliske forhold, som vil medføre andre variationer af temperatur- og biocid-påvirkningen sammenlignet med de modellerede forhold præsenteret i

nærværende rapport. Det vurderes dog, at de opstillede modelscenarier og forudsætningerne for anvendelsen af resultaterne (som værende gældende for hele vanddybden), til en vis grad vil sikre, at de dækker en bred vifte af de påvirkninger, der vil kunne forekomme – selvfølgelig med variationer. Det er derfor også vigtigt at anvende resultaterne med en passende robusthed eksempelvis ifm. den indledende analyse. Desuden kan der forekomme ekstreme forhold som forventeligt vil være sjældnere og ikke inkluderet i de gennemførte scenarie-beregninger, men som kan medføre momentane mere kritiske temperatur- og biocid-påvirkninger.

De modellerede dybdemidlede påvirkning vurderes at være gældende for hele vandsøjlen. Denne antagelse vurderes at være konservativ for påvirkningen nær havbunden, da kølevandet vil have en lavere densitet end havvandet og dermed primært påvirke i den øvre del af vandsøjlen. I den øvre del af vandsøjlen kan af samme grund forekomme lokale påvirkninger, der er større end de præsenterede modelresultater – hvormed resultaterne ikke er konservative i denne del af vandsøjlen. Desuden kan det konstateres, at grundet de naturlige dynamiske strømforhold vil også temperatur- og biocidpåvirkningen være relativt dynamisk i både tid og sted.

4. Presfaktorer, receptorer og potentielle miljøpåvirkninger

Ved PtX-anlæg på havet kan der under anlægs-, drifts- og nedtagningsfaser forekomme presfaktorer, såsom undervandsstøj og udledning af opvarmet kølevand, som potentielt kan påvirke havmiljøets fysio-kemiske og biologiske forhold, herefter benævnt receptorer. I de følgende afsnit afgrænses relevante presfaktorer og relevante receptorer, og de potentielle miljøpåvirkninger beskrives og analyseres.

Presfaktorer, receptorer og potentielle miljøpåvirkninger fra nedtagning af PtX-anlæg er i høj grad tilsvarende det man må forvente fra anlægsfasen. Samtidig ligger anlæg og drift af PtX-anlæg på havet i Danmark en årrække ude i fremtiden, og med en forventet levetid på omkring 30 år (Energistyrelsen, 2023a) ligger nedtagningsfasen for potentielle anlæg formentlig som minimum mere end 35 år ude i fremtiden. Den forventede teknologiudvikling og fremtidige metoder til en bæredygtig og skånsom nedtagning af PtX-anlæg kendes ikke i detaljer. Grundet disse forhold medtages nedtagningsfasen ikke i den nærværende analyse.

4.1 Presfaktorer

På baggrund af de potentielle offshore PtX-anlæg og aktiviteter beskrevet i kapitel 2 er der identificeret en række presfaktorer, der potentielt kan påvirke havmiljøet, se Tabel 4-1.

De oplistede presfaktorer tilvejebringer en bruttoliste for hhv. anlæggelsen og driften af marine PtX-anlæg og afledte aktiviteter. I processen screenes for kendte presfaktorer knyttet til bl.a. elektrolyse-teknologien og derved produktionen af brint, men også viderekonverteringen til mere avancerede PtX-brændstoffer såsom ammoniak, metanol eller jetfuel (og andre olieprodukter).

På nuværende tidspunkt inddrages to forskellige overordnede teknologi-scenarier, hvor offshore-PtX udvikles som selvstændige elektrolyseanlæg i form af fritstående anlæg på platforme og såkaldte "brintmøller", hvor elektrolyseanlægget er integreret direkte i vindmøllerne eller som del af møllernes fundamenter. Ud over forventede presfaktorer, er der inkluderet potentielle utilsigtede hændelser, såsom udslip af kemikalier ved produktion.

Bruttolisten tager ikke udgangspunkt i konkrete placeringer og kendte projekteringsmuligheder da dette ikke er kendt på nuværende tidspunkt. Bruttolisten tager i stedet udgangspunkt i generelle betragtninger om presfaktorer fra lignende anlæg af tilsvarende omfang og karakter, som der måtte forventes ved anlæg og drift af PtX-anlæg på det danske havareal. Dette inkluderer eksisterende PtX-anlæg af varierende størrelse og effekt, offshore platforme, rørledninger, skibsbase-rede løsninger, elkabler og tankanlæg (på havbunden), som beskrevet i kapitel 2.

Bruttolisten er vist i Tabel 4-1. Presfaktorerne er opdelt i forventede presfaktorer og utilsigtede hændelser. Forventede presfaktorer stammer fra planlagte aktiviteter, såsom konstruktion af anlæg og rørledninger, mens presfaktorerne under utilsigtede hændelser er identificeret ud fra ulyk-kesscenarierne beskrevet i kapitel 2. Kun presfaktorer fra ulyk-kesscenarierne for et større udslip af brint, ammoniak og metanol er medtaget. Dette skyldes at de resterende ulyk-kesscenarier identificeret i kapitel 2 er af så lille karakter og omfang, at de kun forventes at have en meget begrænset påvirkning af det marine miljø.

For hver presfaktor er der en kort beskrivelse af faktorens kilder og karakter, relevante receptorer og direktiver, hvorvidt påvirkningen forventes at være negativ eller positiv og hvilke(n) fase en potentiel påvirkning vil finde sted i. For receptorer, der er relevante for habitatdirektivet, er der angivet hvilke bilag, der gør sig gældende, og for havstrategidirektivet er det angivet hvilke deskriptorer (D1-D11), der er relevante for en potentiel påvirkning.

Tabel 4-1 Overblik over potentielle presfaktorer ved anlæg og drift af PtX på havet. Det er angivet med et X, hvorvidt presfaktoren forekommer i anlægs- og/eller driftsfasen.

Forventede presfaktorer				
Presfaktor	Kilde til presfaktor/Beskrivelse	Mulige receptor(er) og relevante direktiver	Anlæg	Drift
<i>Undervandsstøj</i>	Etablering og nedtagning af faste strukturer og skibsaktivitet kan medføre undervandsstøj i det marine miljø	Marin biodiversitet: Fisk, havpattedyr, fugle (havfugle) Havstrategidirektivet: Deskriptor 1 (biodiversitet), Deskriptor 4 (fødenet), Deskriptor 11 (undervandsstøj) Habitatdirektivet: Bilag II og Bilag IV-arter	X	x
<i>Fysiske forstyrrelser over vand fra bl.a. visuelle forstyrrelser, lysforurening og luftbåren støj</i>	Tilstedeværelsen af anlægsfartøjer, anlægs- og driftsaktiviteter og stående strukturer kan lede til fysiske forstyrrelser af normal adfærd i det marine miljø	Marin biodiversitet: Havpattedyr (sæler) og fugle (havfugle) Habitatdirektivet: Bilag II og Bilag IV-arter Fuglebeskyttelsesdirektivet: Bilag I-arter Havstrategidirektivet: Deskriptor 1, Deskriptor 4	X	X
<i>Tab og forstyrrelse af havbunden</i>	Etablering af faste fysiske strukturer på havbunden vil medføre tab af habitat og introduktion af fast substrat for mulig fasthæftelse. Udgravning og nedlægning af rørledninger og kabler vil resultere i en midlertidig	Fysio-kemiske forhold: Havbund Marin biodiversitet: Bundflora og fauna, fisk, havpattedyr, fugle (havfugle) Habitatdirektivet: Bilag I-naturtyper samt bilag II og bilag IV-arter Havstrategidirektivet: Deskriptor 1, Deskriptor 2 (ikke hjemmehørende arter), Deskriptor 4, Deskriptor 6 (havbundens integritet), Deskriptor 7 (hydrografiske ændringer)	X (Den midlertidige fysiske forstyrrelse af havbunden)	X (Det permanente tab af havbundsareal og habitat)

	forstyrrelse af havbunden.			
<i>Sedimentspild (forøget sediment koncentration (SSC) og sedimentation)</i>	Gravearbejde og nedramning af fundamenter kan midlertidigt øge koncentrationen af suspenderede sediment i vandsøjlen. Det suspenderede sediment kan efterfølgende blive aflejret på havbunden	Fysio-kemiske forhold: Vandkvalitet, havbund Marin biodiversitet: Bundflora og fauna, fisk, havpattedyr, fugle (havfugle) Vandrammedirektivet: Spredning af sediment med risiko for reduktion af lysenergi ved havbunden og derved påvirkning af kvalitetselementet rodfæstede planter og vandets klarhed. Ved suspension af sediment fra graveaktiviteter vil der potentielt være risiko for spredning af miljøfarlige forurenende stoffer (MFS) og næringssalte (N og P) med risiko for påvirkning af kvalitetselementerne fytoplankton og nationalt specifikke stoffer (inden for basislinjen og 1 sm) samt kemisk tilstand ud til 12 sm. Habitatdirektivet: Bilag I-naturtyper og Bilag II-arter Fuglebeskyttelsesdirektiv: Bilag I-arter Havstrategidirektivet: Deskriptor 1, Deskriptor 4, Deskriptor 5 (eutrofiering), Deskriptor 8 (forurenende stoffer), Deskriptor 9 (forurenende stoffer i fisk og skaldyr)	X	
<i>Luftemissioner (emission af forurenende stoffer), herunder udledning af klimagasser</i>	Afbrændingen af fossile brændstoffer fra fartøjer og helikoptere, Materialeforbrug (indirekte påvirkning) og flaring/venting vil medføre luftemissioner: CO ₂ e, NOX (nitrogenoxider), SOX (svovloxider) og PM (partikler).	Luftkvalitet Klima: Emission af drivhusgasser Vandrammedirektivet: Deposition af NOx for kvalitetselementerne fytoplankton og nationalt specifikke stoffer (økologisk tilstand fra basislinjen og 1 sm), deposition af SOx og PM (kemisk tilstand fra basislinjen og 1 sm og 1 sm til 12 sm). Havstrategidirektivet: Deskriptor 5, Deskriptor 8, Deskriptor 9	X	X

<i>Spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer til havet</i>	Sedimentspild eller udledning af vand (kølevand og procesvand) kan lede til spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer	Fysio-kemiske forhold: Vandkvalitet, havbund Marin biodiversitet: Bundflora og fauna, fisk Vandrammedirektivet: Spredning/udledning af nationalt specifikke stoffer (økologisk tilstand fra basislinjen og 1 sm) og MFS (kemisk tilstand fra basislinjen og ud til 1 sm og fra 1 sm til 12 sm). Habitatdirektivet: Bilag I-naturtyper og bilag II-arter Havstrategidirektivet: Deskriptor 1, Deskriptor 4, Deskriptor 8, Deskriptor 9	X	X
<i>Udledning af opvarmet kølevand</i>	Ved PtX-anlæg er behov for store mængder vand til køling af processer	Fysio-kemiske forhold: Hydrografi Marin biodiversitet: Plankton, bundflora og fauna, fisk, fugle, havpattedyr Vandrammedirektivet: Udledning af opvarmet kølevand med mulig påvirkning af kvalitetselementerne fytoplankton og bundfauna (økologisk tilstand fra basislinjen og ud til 1 sm). Udledning af opvarmet kølevand med mulig påvirkning af kvalitetselementerne fytoplankton og bentisk fauna (økologisk tilstand fra basislinjen og ud til 1 sm). Havstrategidirektivet: Deskriptor 1, Deskriptor 4, Deskriptor 5		X
<i>Udledning af højsalint produktionsvand (udledes sammen med kølevandet og kaldes samlet kølevand da produktionsvandet udgør mindre end 1 % af det samlede volumen).</i>	Indtagsvand til elektrolyseprocessen skal afsaltes, hvorved der opstår en opkoncentrering af salte i udledningsvandet.	Marin biodiversitet: Bundflora og fauna, fisk Havstrategidirektivet: Deskriptor 1, Deskriptor 4		X

Utilsigtede hændelser				
Presfaktor	Beskrivelse	Mulige receptor(er)	Anlæg	Drift
Udslip af brint	Ved brud på rørforbindelser kan der ske et udslip af brint til atmosfære, mere sandsynligt er mindre udslip fra lækager i procesanlæg.	Der er ikke udpeget specifikke miljøreceptorer som følge af større udslip af brint, udover at gassen virker som en indirekte drivhusgas ved blandt andet at forlænge metans levetid i atmosfæren. Gassen forventes ikke i nævneværdig grad at blive opløst i vandsøjlen og vil derfor hovedsageligt blive udledt til atmosfæren.		X
Udslip af ammoniak	Større udslipscenarier er ved lækage af ammoniak på gasform fra tankanlæg	Marin biodiversitet: Bundflora og fauna, fisk, havpattedyr og fugle. Vandrammedirektivet: Vandkvaliteten for sikring af økologisk og kemisk tilstand kan forringes (økologisk tilstand fra basislinjen og ud til 1 sm og kemisk tilstand fra basislinjen til 1 sm og fra 1 sm til 12 sm). Habitatdirektivet: Bilag I-naturtyper samt bilag II og bilag IV-arter Fuglebeskyttelsesdirektivet: Bilag I-arter Havstrategidirektivet: Deskriptor 1, Deskriptor 4, Deskriptor 8, Deskriptor 9, Deskriptor 11		X
Udslip af metanol	Større udslipscenarier ved lækage fra tankanlæg	Marin biodiversitet: Bundflora og fauna, fisk, havpattedyr og fugle Vandrammedirektivet: Vandkvaliteten for sikring af økologisk og kemisk tilstand forringes (økologisk tilstand fra basislinjen og ud til 1 sm samt kemisk tilstand fra basislinjen til 1 sm og fra 1 sm til 12 sm). Habitatdirektivet: Bilag I-naturtyper samt bilag II og bilag IV-arter Fuglebeskyttelsesdirektivet: Bilag I-arter		X

		Havstrategidirektivet: Deskriptor 1, Deskriptor 4, Deskriptor 8, Deskriptor 9, Deskriptor 11		
<i>Udslip af olieprodukter (jetfuels + andre olieprodukter)</i>	Udslip fra procesanlæg eller større udslip fra tankanlæg	Marin biodiversitet: Bundflora og fauna, fisk, havpattedyr og fugle. Vandrammedirektivet: Vandkvaliteten for sikring af økologisk og kemisk tilstand kan forringes (økologisk tilstand fra basislinjen og ud til 1 sm og kemisk tilstand fra basislinjen til 1 sm og fra 1 sm til 12 sm). Habitatdirektivet: Bilag I-naturtyper samt bilag II og bilag IV-arter Fuglebeskyttelsesdirektivet: Bilag I-arter Havstrategidirektivet: Deskriptor 1, Deskriptor 4, Deskriptor 8, Deskriptor 9, Deskriptor 11		X

4.2 Receptorer

I afsnit 4.1 er de relevante presfaktorer og receptorer identificeret. Herunder følger en kort beskrivelse af de identificerede receptorer.

4.2.1 Fysio-kemiske forhold

De fysiske og kemiske forhold for havbunden, havets åbne vandmasser og luften herover udgør enorme habitater for den marine biodiversitet og sætter rammerne for livet i og på havet.

Hydrografi og vandkvalitet

Hydrografiske forhold i havet omfatter fysiske egenskaber såsom temperatur, dybde, havstrømme og bølgepåvirkning.

Vandkvaliteten omfatter forhold som turbiditet og kemiske egenskaber i vandet. Vandkvalitet behandles også nærmere under vandrammedirektivet.

Både de hydrografiske forhold og vandkvaliteten er af afgørende betydning for de marine økosystemer. Begge forhold styres i høj grad af naturlige processer, men kan også påvirkes af mange forskellige typer af menneskelige aktiviteter.

Havbund

Havbund refererer til havbundens substratforhold og hvorvidt dens beskaffenhed bidrager som habitat for bl.a. bundflora og fauna. Havbunden kategoriseres ud fra sedimentets kornstørrelsesforhold, men kan generelt inddeles i hhv. blødbund og hårbund. Blødbund karakteriseres som områder domineret af sand, silt og dynd med begrænsede indslag af grus og småsten. Hårbund karakteriseres i højere grad som et fast havbundssubstrat domineret af sten. Havbundens integritet spiller en vigtig rolle for marine økosystemer, da den er levested for en lang række bundlevende organismer, som danner grundlag for mange fødenet.

Luft og klima

Luft og klima omfatter alle direkte eller indirekte emissioner af gasser og partikler til luften, som påvirker luftkvaliteten eller medfører en drivhuseffekt. Langt størstedelen af emissionerne i havområderne er relateret til fragtskibe og olie- og gasfaciliteter. Koncentrationen af menneskeskabte emissioner, herunder NO_x (nitrogenoxider), SO_x (svovloxider) og PM (partikler), er dog markant højere over landområder i Danmark og Europa generelt. Klimareceptoren er overbelastet og dermed følsom overfor yderligere påvirkninger.

4.2.2 Marin biodiversitet

Marin biodiversitet dækker over mangfoldigheden af organismer knyttet til marine habitater over og under havoverfladen.

Plankton

Havets pelagiske miljø (de frie vandmasser) rummer et enormt antal mikroskopiske organismer, kaldet plankton. Nøglekomponenterne i planktonsamfundene er fytoplankton og zooplankton. Fytoplankton er fotosyntetiserende organismer, der hovedsageligt bidrager til primærproduktionen og udgør derfor et vigtigt link mellem havets abiotiske komponenter og fødenettet. Fytoplankton spiller også en væsentlig rolle i havets biogeokemiske cyklusser, særlig kulstof- og næringsstofcyklussen. Zooplankton er heterotrofe organismer, der også spiller en vigtig rolle i kulstof- og næringsstoftransporten, da de bidrager til den vertikale transport af organisk materiale i havet. Zooplankton lever hovedsageligt af fytoplankton, hvilket gør dem til en central forbindelse mellem primærproduktion og højere trofiske niveauer.

Bundflora og fauna

Bundflora og fauna refererer til organismer, der findes på havbunden, både kystnært og langt fra kysterne. Flora dækker over vandplanter, såsom ålegræs, og makroalger. Fauna dækker over bundlevende dyr som muslinger, krebsdyr og børsteorme, der både kan leve nedgravede i sedimentet (infauna) eller leve på overfladen af sedimentet (epifauna). Epifauna kan desuden være mobile eller fastsiddende (sessile). Gruppen af bundflora og fauna er yderst artsrig og findes i mange forskellige habitattyper, der danner grundlag for forskellige bentiske samfund, således at bentiske samfund på blødbund typisk vil adskille sig fra bentiske samfund på hårbund.

Fisk

De danske farvande omfatter et stort antal levesteder for fisk, lige fra de dybhavslignende dele af Skagerrak til den næsten ferske indre Østersø. Den danske saltvandsfiskefauna er tilpasset denne store variation af fysisk-kemiske forhold og består derfor af mange arter (cirka 200 saltvandsfisk og hertil en række ferskvandsfisk, der migrerer mellem både saltvand og ferskvand). Fisk er en artsrig gruppe der findes i både pelagiske og bentiske habitater. Fisk spiller en vigtig rolle i havets fødenet, da de både fungerer som rovdyr og byttedyr for større fisk, fugle og havpattedyr.

Havfugle og migrerende fugle

Det danske havareal udgør vigtige raste- og fødesøgningsområde for en lang række fuglearter, der enten fast eller periodevis opholder sig på åbent hav eller i kystnære områder. I disse områder fouragerer havfuglene på fisk, bløddyr og krebsdyr. Havfugle er også en vigtig indikator for havmiljøets sundhed, da ændringer i deres populationer ofte afspejler ændringer i fødegrundlaget eller forurening i havet.

Flagermus

Tilsvarende fugle, der søger føde og trækker i marine miljøer, findes der flagermusarter, der opholder sig i perioder over havet, hvor de fouragerer og eller trækker mellem yngle- og overvintningsområder. Træk- og strejfedistancer varierer betydeligt mellem arter, dog er der i flere tilfælde rapporteret distancer på mellem 150 og 1.400 kilometer (Alcalde et al., 2021; Baagøe, 2001; Baagøe, 2007; Dietz et al., 2009; Hutterer et al., 2005; Petersons, 2004; WSP & Energistyrelsen, 2023). Fødesøgningsadfærd for flagermus ud over havet er dårligt belyst, men visse arter, såsom brunflagermus (*Nyctalus noctula*) og skimmelflagermus (*Vespertilio murinus*) er observeret i afstande på 15-20 kilometer fra kysten ved fødesøgning nær Kriegers Flak (WSP & Energistyrelsen, 2023).

Havpattedyr

Havpattedyr dækker hovedsageligt over hval- og sælarter i de danske farvande. De tre mest almindelige havpattedyrarter i Danmark tæller marsvin (*Phocoena phocoena*), gråsæl (*Halichoerus grypus*) og spættet sæl (*Phoca vitulina*), der alle yngler og opholder sig regelmæssigt i danske farvande. Der findes tre delpopulationer af marsvin i de danske farvande; Nordsøpopulationen, Bælthavspopulationen og Østersøpopulationen (Sveegaard, 2022). Spættet sæl findes på mange lokaliteter langs de danske kyster, hvor de opholder sig i nærheden af hvilepladserne. Gråsæler har nogle få hvilepladser i dansk farvand, men de er kendt for at foretage lange vandringer på op til flere hundrede kilometer. Havpattedyr lever hovedsageligt af fisk og fouragerer over store områder.

4.3 Potentielle miljøpåvirkninger

De forventede presfaktorer og utilsigtede hændelser kan lede til potentielle påvirkninger af det danske havmiljø. I de følgende afsnit gennemføres en analyse af miljøpåvirkningerne for både forventede presfaktorer og utilsigtede hændelser.

4.3.1 Metode

Analysen af de potentielle påvirkninger af det marine miljø tager afsæt i rammerne for opgaven, nemlig at tilvejebringe nye oplysninger om anlæg og drift af PtX-anlæg på det danske havareal. Da der ikke er tale om et eller flere konkrete projekter, kendes eksakte placeringer, dimensioner og anlægs- og driftsmetoder ikke. Grundet denne brede ramme begrænses analysen af de potentielle miljøpåvirkninger til et overordnet niveau. For alle analyser af potentielle påvirkninger gør det sig derfor gældende, at der ikke kan tages højde for lokale forhold og forskelle, f.eks. forekomst af sårbare arter i bestemte områder.

Analysen baseres udelukkende på de scenarier, der er beskrevet i afsnit 2.7, de potentielle presfaktorer og potentielle miljøpåvirkninger, der måtte opstå som følge af scenarierne, samt relevant tilgængelig litteratur. Konkrete og mere detaljerede miljøvurderinger skal gennemføres i efterfølgende miljøkonsekvensvurderinger af kommende mulige PtX-anlæg på havet.

Havmiljøet er præget af store variationer i fordeling af habitater, individer og arter, både regionalt og lokalt. Da der ikke foreligger viden om de eksakte lokationer for udbygningen af PtX på det danske havmiljø endnu, foretages analysen af de potentielle miljøpåvirkninger på et overordnet og ikke-stedsspecifikt niveau, der ikke inddrager regionale og lokale variationer i det danske havmiljø i udgangspunktet. Hvis der findes viden om regionale forhold om f.eks. populationer eller udbredelser af arter, der kunne lede til betydelige geografiske afgrænsninger for udrulningen af PtX på det danske havareal, kan disse inddrages i analysen.

En række af de forventede presfaktorer og afledte miljøpåvirkninger fra anlæg og drift af PtX-anlæg er tilsvarende det, man må forvente ved anlæg og drift af lignende anlæg, såsom offshore platforme, gasrørledninger og skibsaktiviteter relateret til anlæg og transport af gasser. Dog er der også en række presfaktorer og afledte miljøpåvirkninger, der er mere unikke for netop anlæg og drift af PtX-anlæg på havet. Grundet opgavens fokus på tilvejebringelse af ny viden for PtX-anlæg på det danske havareal, vægtes de mere PtX-specifikke presfaktorer og potentielle miljøpåvirkninger højere i analysen.

I Tabel 4-2 listes analysens vægtning af de enkelte presfaktorer identificeret i afsnit 4.1. Ved lav vægtning gennemgås kort de relevante recipienter, deres følsomhed overfor presfaktoren og der gennemføres en tabelbaseret analyse ud fra kendte og tilsvarende projekter og referencer. Ved høj vægtning beskrives og analyseres presfaktoren, relevante recipienter og potentielle miljøpåvirkninger i højere detaljegråd med større inddragelse af resultater fra foregående kapitler, samt relevant litteratur.

Samtlige presfaktorer i anlægsfasen er lavt vægtede, og de potentielle miljøpåvirkninger analyseres derfor tilsvarende. I driftsfasen gælder det, at undervandsstøj, fysiske forstyrrelser over vand og eventuelle udledninger af atmosfæriske forbindelser tilsvarende kendes fra driftsfasen for lignende projekter, hvormed disse presfaktorer også vægtes lavt og analyseres tilsvarende. I driftsfasen kan der forekomme presfaktorer, der er mere unikke for netop PtX på havet. Dette gælder en række udledninger og utilsigtede hændelser. Disse presfaktorer og afledte miljøpåvirkninger er højt vægtede og analyseres tilsvarende.

Tabel 4-2 Vægtning af de enkelte presfaktorer i analysen af potentielle miljøpåvirkninger. Vægtningen er baseret på om hvorvidt presfaktoren og potentielle miljøpåvirkninger er kendte fra anlæg og drift af anlæg, der er tilsvarende det, der kan forventes ved PtX-anlæg på havet. Høj vægtning indikerer, at presfaktoren er relativt ny eller unik for PtX-anlæg og afledte aktiviteter specifikt.

Presfaktorer	Anlægs/driftsfase	Lav vægtning (almindelige og kendt fra andre projekter)	Høj vægtning (PtX-specifikke)
Undervandsstøj	X/X	X	
Fysisk forstyrrelse fra visuelle forstyrrelser, lysforurening og luftbåren støj	X/X	X	
Tab og forstyrrelse af havbunden	X/	X	
Sedimentspild	X/	X	
Luftemissioner	X/X	X	
Udledning af miljøfarlige forurenende stoffer til havet	X/X		X
Udledning af opvarmet produktionsvand	/X		X
Udledning af produktionsvand med forhøjet salinitet	/X		X
Udslip af brint – utilsigtet hændelse	/X		X
Udslip af ammoniak – utilsigtet hændelse	/X		X
Udslip af metanol – utilsigtet hændelse	/X		X

De potentielle miljøpåvirkninger behandles med udgangspunkt i presfaktoren. Det betyder, at presfaktorer, der både er relevante for anlægsfasen og driftsfasen, vil blive behandlet samlet og ikke per fase.

Før analyse af de potentielle miljøpåvirkninger beskrives presfaktorens omfang og karakter med udgangspunkt i resultater fra tidligere kapitler.

For at sikre ensartethed i analysen anvendes en hierarkisk metode, der bruges gennemgående for hver recipient under hver presfaktor. Analysen kan grundlæggende deles op i fire delelementer:

- 1) Beskrive presfaktorens relevans for den enkelte recipient og recipientens følsomhed over for presfaktoren. Herunder listes også om der foreligger vigtige grænseværdier for den enkelte recipient for den givne presfaktor, såsom f.eks. tærskelværdier for undervandsstøj for havpattedyr og fisk.
- 2) Beskrive de potentielle påvirkninger baseret på de tekniske beskrivelser og erfaringer fra tidligere projekter af lignende karakter.
- 3) Analyse af den potentielle miljøpåvirkning.
- 4) Beskrive mulige minimerende tiltag, f.eks. støjreduktionstiltag og usikkerheder i vidensgrundlag og analyse.

Det skal bemærkes, at en analyse af potentielle miljøpåvirkninger i forhold til relevante EU-direktiver foretages i afsnittene 4.3.12 til 4.3.14, hvor der anvendes terminologi fra den gældende lovgivning, f.eks. om realisering af anlæg og drift af PtX-anlæg på dansk havareal kan lede til skade

udpegningsgrundlaget for Natura 2000-områder eller være til hinder for opfyldelse af målsætningerne i vandområdeplanerne.

4.3.2 Undervandsstøj

Ved anlæg og drift af PtX på havet kan der forekomme impulsiv og kontinuerlig undervandsstøj af varierende frekvenser og intensiteter fra brug af akustisk udstyr, såsom USBL (Ultra Short Base-Line), installation af faste fysiske strukturer, såsom platforme og rørledninger, og ved skibstrafik. De relevante recipienter ved undervandsstøj er havpattedyr og fisk.

4.3.2.1 Havpattedyr

Flere arter af havpattedyr bruger hørelsen og ekkolokalisering som den primære sans for at finde bytte, opdage rovdyr, kommunikere og navigere. Arterne er derfor generelt følsomme overfor undervandsstøj, og deres sårbarhed og følsomhed er forskellig alt efter hvilket frekvensbånd de benytter og hører bedst indenfor, hvor de forekommer, bestandens status og hvordan de er beskyttet.

Generelt gælder det, at projekter som realiseres på havet skal følge Energistyrelsens retningslinjer for undervandsstøj som sikrer, at havpattedyr ikke udsættes for lydniveauer som kan medføre høreskader (Energistyrelsen, 2018, 2023b). Ved overskridelse af vedtagne tærskelværdier (Energistyrelsen, 2023b) kan undervandsstøj føre til permanente og midlertidige høreskader og adfærdssændringer. Omfanget af påvirkningerne kan variere meget fra projekt til projekt, og afhænger af både hydrografiske-, havdybde- og havbundsforhold samt de eksakte kilder til undervandsstøj.

Ved brug af forskelligt akustisk udstyr, såsom USBL eller sonar, kan der forekomme undervandsstøj af en karakter, der både kan medføre adfærdssændringer og høreskader. Både ekkolod og sonar har relativt begrænsede strålebredder, hvor området, hvor påvirkning kan finde sted, er meget begrænset (Tougaard, 2014). Ved USBL kan der være et større påvirket område på generelt mellem 5-10 km, hvor der kan opstå adfærdssændringer, mens høreskader er betydeligt begrænset til afstande tæt på lydkilden (INEOS & Rambøll, 2025).

Ved nedramning af platformfundamenter kan der udsendes kraftige impulser af undervandsstøj, og uden støjdæmpende foranstaltninger kan det medføre både permanente og midlertidige høreskader hos sæler og hvaler samt fortrængning fra havområder, hvor der nedrammes. Uden støjdæmpende tiltag og ved nedramning af store monopæle kan der forventes høreskader i afstande op til 0-3,5 km fra lydkilden (Rambøll, 2021), mens adfærdssændringer i form af fortrængning kan ske i op til 20-41 km fra lydkilden afhængig af art og område (Rambøll, 2021). Normalt vil der benyttes soft start procedurer for at skåne udstyret og lyden herfra vil medføre at hvaler og sæler søger væk fra anlægsområdet hvormed risikoen for høreskader og påvirkningsradius for adfærdssændringer reduceres kraftigt (Rambøll, 2021).

Effekten af undervandsstøj fra skibe er i visse tilfælde tydelig op til 2 km fra lydkilden (Frankish et al., 2023) og er oftest begrænset til adfærdssændringer. Grundet skibenes kortvarige opholdstid i et givent område, vil belastningen i de fleste tilfælde være kortvarig og kun forekomme meget lokalt. Så snart lydkilden har passeret, vil påvirkede individer kunne vende tilbage inden for relativ kort tid, hvormed konsekvensen vil være begrænset (Fernandez-Betelu et al., 2024).

Påvirkninger fra midlertidige høreskader og adfærdssændringer vil som oftest være kortvarige, idet påvirkede individer genvinder fuld hørelse inden for få timer til få dage efter endt påvirkning (Tougaard, 2021), og ved adfærdssændringer relativt hurtigt vender tilbage til påvirkede områder, når støjkilden er endt. Studier ved opførsel af Horns Rev II havvindmølleparken viste, at marsvin

vendte tilbage 24-72 timer efter 1 times pæleramning i en afstand af 2,6 km (Brandt et al., 2011). Et nyere tysk studie af fortrængning ved etablering af havmølleparker i Nordsøen viser, at der sker en fortrængning af cirka 17 % af marsvin i 10-15 km afstand fra kilden, men at dyrenes aktivitet er tilbage på baseline-niveau 24-48 timer efter ophør af pæleramningen (Brandt et al., 2018). Data fra den hollandske havvindmøllepark Gemini viser, at marsvinene blev fortrængt i op til 8,9 km afstand, men vendte tilbage allerede 2-6 timer, efter ophørt pæleramning (Geelhoed et al., 2018). Undersøgelser baseret på populationsmodeller for marsvin i Nordsøen fandt dog ikke længerevarende effekter af undervandsstøj fra pælenedramning på marsvinpopulationens dynamik eller gennemsnitlige størrelse (van Beest et al., 2015). Ved alle forventede kilder til undervandsstøj i forbindelse med udbygning af PtX vil undervandsstøjen være relativt kortvarig i et givent område. Akustisk udstyr og skibe bruges kun i begrænsede perioder i et givent område, men kan dog forekomme flere gange under anlægs- og driftsfaser, mens nedramning af platformfundamenter kun sker indenfor en begrænset periode på relativt få dage eller uger i forbindelse med anlægsfasen.

Adfærdssændringer som flugtrespons kan potentielt fortrænge marsvin fra områder hvor de søger føde eller yngler. Fortrængningen kan muligvis have en negativ effekt på populationsstørrelsen hvis fortrængning medfører at marsvin mister adgang til føde og dermed potentielt får reduceret sit energiindtag.

Permanente høreskader kan i sagens natur medføre permanente påvirkninger af individer af havpattedyr. Kriteriet for tærskelværdierne for permanent høretab udtrykker en forhøjet risiko for høretabet, og der er således ikke tale om et fuldt høretab, men snarere tab af hørelse i de frekvenser undervandsstøjen falder i (Tougaard, 2021). Langtidskonsekvenserne af et permanent høretab i et bestemt frekvensbånd kan være minimale, dog stærkt uønskede grundet arternes høje følsomhed og grad af beskyttelse. Påvirkningsafstande for permanente høreskader er endvidere ofte begrænset til enkelte kilometer eller få hundrede meter fra støjilden og vil oftest forsøges begrænset med støjminimerende tiltag.

4.3.2.2 Fisk

Mange arter af fisk producerer lyde ifm. kommunikation. Undervandsstøj kan påvirke fisk i alle livsstadier, og de mest sårbare er larver, samt fisk med svømmeblære. Fisk er i varierende grad følsomme overfor undervandsstøj alt afhængig af deres anatomi (Popper & Hawkins, 2019). Fisk uden svømmeblære har lav følsomhed (f.eks. benfisk, og voksne fladfisk hvor svømmeblæren degenererer) (Popper & Hawkins, 2019; Tougaard, 2014). Fisk, med svømmeblære, der i ringere grad er forbundet med det indre øre, har en højere følsomhed (f.eks. torsk eller tobis) (Popper & Hawkins, 2019). Fisk, med svømmeblære der er forbundet til det indre øre, har høj følsomhed (f.eks. sild og brisling) (Popper & Hawkins, 2019). Arter med svømmeblære har i højere grad også følsomhed overfor trykkomponenten af lyden, men deres hørelse må betragtes som en blanding af både tryk- og partikelbevægelse, hvilket giver dem unikke muligheder for at retningsbestemme lyd (Tougaard, 2014). Der er, tilsvarende havpattedyr, en række gængse tærskelværdier for undervandsstøj for fisk. Ved overskridelser af tærskelværdierne kan der opstå påvirkninger relateret til dødelig skade på voksne individer og fiskelarver, samt genoprettelig skade og midlertidig forringelse af hørefølsomhed for voksne individer (Popper & Hawkins, 2019).

Fisks hørelse er bedst i det lavfrekvente område, og fiskene vil derfor være i stand til at høre lyde, der typisk er fra 15 Hz til 1 kHz (Popper & Hawkins, 2019). Visse arter som atlantisk sild betragtes derfor som ultralydsspecialister, da de har hørelse op til 3 kHz og generelt har følsomhed i ultralydsområdet over cirka 20 kHz grundet trykkomponenter (Tougaard, 2014).

Installationsarbejde kan medføre støj, men påvirkning af fisk er stærkt afhængigt af udstyrets indstillinger og frekvensbånd. Arbejde med forundersøgelser kan eksempelvis være med Multi-beam Ekkolod (frekvensbånd 200 – 400 kHz), Side Scan Sonar (frekvensbånd 200 – 900 kHz), Sub Bottom Profiler/Imager (frekvensbånd 5 – 34 kHz) og magnetometer mv (passivt, udsender ikke signaler). USBL (Ultra Short Baseline 5-34 kHz) kan benyttes til at georeferere positionerne for udstyr. Der kan derfor godt være overlap af frekvensbånd for fisk og udstyr, og der kan derfor ikke afvises en påvirkning af fisk eller fiskelarver.

Pæleramning kan medføre permanente høreskader (PTS) og vævsskader af fisk der opholder sig nær aktiviteten, og kan være fatalt i alle livsstadier (Andersson et al., 2017; Popper & Hawkins, 2019). Aktiviteterne vil dog være relativt kortvarige i et givent område, hvormed der ikke forventes negative effekter på populationsniveau fra støjpåvirkningen.

Skibstrafik i forbindelse med transport af mandskab og produkter kan medføre adfærdsændringer hos fisk i umiddelbar nærhed af aktiviteterne. Det forventes dog ikke at støjpåvirkningen vil have negative effekter på populationsniveau.

4.3.2.3 Opsamling

Kilder til undervandsstøj, recipienter og afledte påvirkninger for havpattedyr og fisk er beskrevet i Tabel 4-3.

Påvirkningerne af havpattedyr fra undervandsstøj er i de fleste tilfælde relativt kortvarige (timer til dage) og reversible i form af adfærdsændringer og midlertidige høreskader ved projekter tilsvarende det, der forventes ved anlæg af offshore PtX. Permanente høreskader forekommer mere sjældent og ofte kun indenfor relativt lille afstand til støjkilden.

Påvirkningerne af fisk fra undervandsstøj kan i enkelte tilfælde være dødelige, dog er undervandsstøj af denne karakter ofte meget lokalt og tidsmæssigt begrænset. I de fleste tilfælde af undervandsstøj vil en påvirkning af fisk være relativt kortvarig (timer til dage) og reversibel ved projekter tilsvarende det, der forventes ved anlæg af offshore PtX.

Tabel 4-3 Opsummering af potentielle påvirkninger fra undervandsstøj.

Kilde til undervandsstøj	Recipient	Påvirkninger	Sårbarhed/følsomhed	Geografisk udbredelse (km)	Varighed
Anlægsfase					
Akustisk udstyr	Havpattedyr	Høreskader og adfærdsændringer	Høj	0-10 km	Timer til dage
Installation af konstruktioner	Havpattedyr	Høreskader og adfærdsændringer	Høj	0-30 km	Timer til dage
	Fisk og fiskelarver	Øget mortalitet, høreskader og adfærdsændringer	Lav til høj	0-6 km	Timer til dage
Skibstrafik	Havpattedyr	Høreskader og adfærdsændringer	Høj	0-2 km	Timer til dage
	Fisk og fiskelarver	Adfærdsændringer	Lav til høj	0-100 m	Minutter til timer
Driftsfase					
Akustisk udstyr	Havpattedyr	Høreskader og adfærdsændringer	Høj	0-10 km	Timer til dage
Skibstrafik	Havpattedyr	Høreskader og adfærdsændringer	Høj	0-2 km	Timer til dage
	Fisk og fiskelarver	Adfærdsændringer	Lav til høj	0-100 m	Minutter til timer

4.3.2.4 Minimerende tiltag

Der er udviklet en række støjdæmpende foranstaltninger som hydro sound damper (HSD) og boblegardin som reducerer lydudbredelsen i vandet og dermed også påvirkningen på de marine havpattedyr.

Samtidig er der udvikling af teknologier, der sigter mod yderligere dæmpning af undervandsstøj fra nedramning af fundamenter ved at sænke modstanden i havbunden, hvormed støjniveauet sænkes betydeligt (Ørsted, 2024).

Skibe og fartøjer, der benytter Dynamic Positioning (DP) systemer er vanskeligere at dæmpe, men anlægsperioden kan lægges den tid på året hvor der er færrest havpattedyr i området.

I tilfælde af brug af forundersøgelsesudstyr og akustisk udstyr kan der ved opstart af udstyret bruges en soft start-procedure (Energistyrelsen, 2018) med henblik på at reducere risikoen for høreskader. Et standardvilkår i forbindelse med en godkendelse eller tilladelse er, at selskaberne skal anvende en såkaldt soft start-procedure, når en støjende aktivitet skal udføres, f.eks. seismiske undersøgelser eller nedramninger af rør i havbunden. Ved en soft start-procedure øges lydniveauet fra lydkilden langsomt til det operationelle niveau, hvilket giver havpattedyr tid til at bevæge sig væk fra lydkilden.

4.3.2.5 Usikkerheder

De potentielle påvirkninger af havpattedyr og fisk er tilknyttet en række usikkerheder. Generelt har forskning og modellering af undervandsstøj fokuseret på relativt få arter (marsvin, sild og torsk). Dog er der øget fokus på de potentielle påvirkninger af andre arter i danske farvande, der måtte benytte andre frekvensområder. Dette kan for eksempel være lavfrekvent støj, som benyttes af andre hval- og fiskearter i højere grad. Der mangler generelt viden om andre hvalarters respons ift. undervandsstøj og der mangler stadig gode estimater på sælers tålegrænse overfor undervandsstøj ift. hvornår de udviser f.eks. flugtrespons. Modellering af undervandsstøj for flere arter og i flere frekvensbånd kan derfor være nødvendigt i forbindelse med anlæg og drift af PtX på havet for at kortlægge og belyse potentielle miljøpåvirkninger i højere detaljegrad end i den nærværende analyse.

Den generelle udbredelse og sæsonmæssige forekomst af hvalarter i danske farvande er påhæftet med en vis usikkerhed. Marsvin er altovervejende den bedst kendte art i dansk kontekst, dog er der stigende fokus på arter som for eksempel hvidnæse, der for nylig er identificeret som ynglende art i de indre danske farvande (Alstrup et al., 2024). Ny viden inden for dette område kan være med til at kortlægge områder og perioder, hvor havpattedyr er ekstra følsomme. Dermed øges sandsynligheden for at mindske de potentielle påvirkninger af havpattedyr.

Dernæst har fokus på påvirkninger fra undervandsstøj i høj grad været på konsekvenserne af anlægsarbejde, såsom nedramninger. Til trods for den mindre intensitet, vil driftsaktiviteter potentielt dog bidrage til en længerevarende akkumulerende grad af undervandsstøj i marine miljøer. Der er i højere grad fokus på stigende lyd niveauer i marine miljøer, og flere studier er begyndt at kortlægge driftsstøj fra bl.a. øget skibstrafik. Drift af PtX-anlæg nær havvindmølleparker kan potentielt betyde, at driftsstøj fra flere skibe og møller kan have en negativ akkumulerende påvirkning af følsomme havpattedyr, herunder hvaler. Der er dog fortsat stor usikkerhed på konsekvenserne af disse akkumulerende effekter og de afledte påvirkninger på det marine miljø. En kortlægning af de potentielle miljøpåvirkninger af især havpattedyr fra akkumulerende støjpåvirkninger kan potentielt vise, at der vil være områder, hvor anlæg og drift af PtX på havet kan være problematisk i forhold til påvirkning og konsekvens.

Grundet visse hvalarters høje følsomhed over for undervandsstøj og generelt strenge beskyttelse er tilvejebringelsen af bedre viden om deres forekomst og biologi afgørende for en mere konkret vurdering af de potentielle påvirkninger fra anlæg og drift af PtX på havet.

4.3.3 Fysisk forstyrrelse over vand

Ved anlæg og drift af offshore PtX kan tilstedeværelsen af fartøjer og fysiske strukturer, luftbåren støj og kunstigt lys give anledning til forstyrrelser i det marine miljø. Forstyrrelser dækker over ændringer i normal adfærd og kan således både være fortrængning, tiltrækning og barriere-effekter.

De relevante recipienter ved fysisk forstyrrelse er fugle, flagermus og sæler. Alt afhængig af forstyrrelsens karakter og varighed kan de forskellige organismegrupper blive påvirket forskelligt.

4.3.3.1 Fugle

Fugle der tilbringer noget af deres tid på havet kan forstyrres af anlægsaktiviteter og skibstrafik som er knyttet til etableringen af PtX-anlæg på havet. Generelt er fugle mest følsomme overfor forstyrrelser i yngletiden hvor de opholder sig på land (Clausen et al., 2023; Holm, Clausen, et al., 2023), mens fugle på havet generelt ikke er følsomme overfor støj, da de lever i et miljø som har naturligt høje lydniveauer skabt af vind og bølger, men de kan skræmmes op af pludselige ændringer i lydniveau (f.eks. eksplosioner, skud). Havfugle som også dykker efter føden, har fysiologiske tilpasninger som beskytter øret mod skader forårsaget af det ydre tryk, men som samtidig nedsætter høreevnen over vand (Zeyl et al., 2022). Nyere undersøgelser antyder at fugle på havet kommunikerer vha. lyd for at undgå kollisioner mellem fugle og for at koordinere fødesøgning (Thiebault et al., 2016). Nogle arter af havfugle er følsomme overfor visuelle forstyrrelser fra bevægelige objekter som skibe, fly, helikoptere og droner, og de kan udvise en flugtrespons som antyder at fuglene føler sig truet. Disse forhold er bedst undersøgt i forbindelse med havvindmølleparker som kan sammenlignes med etablering af PtX-anlæg for så vidt angår anlægsfasens påvirkningstyper (skibstrafik, lys, støj).

Fliessbach har udviklet et sårbarhedsindex i forhold til forstyrrelser fra skibstrafik for de mest almindeligt forekommende havfugle i Nordsøen og Østersøen. De mest følsomme grupper er lommer, derefter kommer dykænder og alkefugle, mens terner, måger og suler i nogen grad tiltrækkes af skibe og konstruktioner (Fliessbach et al., 2019). De maksimale flugtafstande er 1,6 km (standardafvigelse på 0,8 km) som er rapporteret for sortænder (Fliessbach et al., 2019). Nogle arter tiltrækkes af skibe, da de forventer føde (f.eks. måger, mallebukker eller suler efter fiskerfartøjer). Andre viser en negativ respons og flygter fra et fartøj, der nærmer sig. Responsen er ikke kun forskellig fra art til art, men afhænger også af årstid, områdets funktion og flokstørrelsen (Mori et al., 2001). Havfugle er særligt følsomme under fældning. Desuden er flugtafstande kendt for at være mindre i overvintringsperioden (Thiel et al., 1992). Arter som sortand og andre dykænder udviser store flugtafstande på 1-2 km, mens arter som f.eks. edderfugle har flugtafstande under 1 km (Bellebaum et al., 2006; Schwemmer et al., 2011). Gentagne forstyrrelser kan også have en kumulativ effekt (Merkel et al., 2009). Hvis skibsfarten kanaliseres inden for en forudsigelig korridor, kan nogle fugle vænne sig til forstyrrelser og vise lavere flugtafstande (Schwemmer et al., 2011).

Forstyrrelsen kan føre til at fugle fortrænges fra områder, hvor de søger føde, fælder svingfjer eller raster. Fortrængning fra fødesøgningsområder kan betyde at fuglene må flytte til mindre produktive områder, hvor der i forvejen er andre fugle og dermed kan fortrængningen resultere i øget konkurrence om føden. Øget konkurrence kan medføre at enkelte fugle får reduceret deres fødeindtag og det medfører en forringet energibalance. Dette kan igen føre til at enkelte individer

ikke kan gennemføre et forestående træk eller mislykkes i ynglesæsonen og det kan ultimativt føre til en bestandsnedgang (Garthe et al., 2023; Thompson et al., 2023). Nogle arter har meget ringe tolerance overfor forstyrrelser og undviger områder med forstyrrelser helt i en længere periode, mens andre arter er mere tolerante eller ligefrem tiltrukket af skibe og konstruktioner (Bradbury et al., 2014; Furness et al., 2013). En række arter benytter kun de danske farvande på træk mellem Syd- og Mellemeuropa og yngleområder i Skandinavien og Arktis, men de er helt afhængige af adgangen til egnede fødesøgningsområder i de danske farvande. Det gælder stort set alle de indre danske farvande, de kystnære lavvandede havområder og den sydlige Nordsø (Holm, Sterup, et al., 2023). Forskellige fuglearter reagerer forskelligt på forstyrrelser. De konkrete påvirkninger vil være afhængige af forstyrrelsens karakter, lokalitet, udbredelse, årstid og forekomst af arter i området som påvirkes.

Karakteren af påvirkninger på fugle i driftsfasen er stort set identiske med påvirkningerne i anlægsfasen. Der vil være mere trafik af større skibe af længerevarende karakter under driftsfasen, men mindre trafik af anlægsfartøjer og fartøjer som fragter konstruktionsmaterialer. Trafikken vil være spredt ud over hele året og ikke koncentreret i en kortere anlægsperiode. Påvirkningerne i driftsfasen vil være langvarige, men mindre intensive afhængigt af hvilken type drift og anlæg, der vælges.

Faste strukturer placeret ude til havs kan tiltrække trækkende fugle som benytter de faste strukturer som rastepads. Det omtales som Ø-effekten. Det er særlig relevant for mindre landlevende arter som spurvefugle og for arter som ikke kan lande på vandoverfladen for at hvile (rovfugle, vadere og andre). Ø-effekten vil i anlægsfasen og afviklingsfasen være af en afgrænset varighed på 1-2 år og det må forventes at lys fra skibe, kraner, platforme eller mølletårne kan tiltrække fugle på træk. I tilfælde af dårlig sigtbarhed kan fuglene forveksle lys på offshore strukturer med lys fra land og derved tiltrækkes og måske afvige fra normale trækruter. For sangfugle og andre små arter som trækker langt over havet kan det være fatalt at afvige fra de normale trækruter eller blive lokket til et stop midt på havet, hvor der ikke er føde tilgængeligt (Ronconi et al., 2015).

4.3.3.2 Flagermus

Visse flagermusarter foretager træk- og fødesøgningstogter over havet (WSP & Energistyrelsen, 2023), og det kan derfor ikke udelukkes, at der kan være flagermus til stede i områder, hvor der vil være anlæg og drift af PtX, hvormed der kan opstå forstyrrelser af normal adfærd.

Da flagermus hovedsageligt orienterer sig ved hjælp af ekkolokalisering under jagt, er arterne ikke følsomme overfor miljøpåvirkninger fra barrierer og tilstedeværelsen af relativt få og langsomme anlægsfartøjer og konstruktioner på havet vil ikke udgøre en risiko for barriere- eller kollisionseffekter, og flagermus antages at kunne navigere sikkert omkring sådanne enkelte objekter ved havoverfladen. Fysiske forstyrrelser af flagermus i form af barriere- og kollisionseffekter vil derfor med stor sandsynlighed kun lede til ubetydelige påvirkninger af flagermus.

Afhængig af afstanden til kysten ved et kommende PtX-anlæg, kan der under anlægsarbejdet og driften ske en tiltrækning af insekter mod lyskilder monteret på for eksempel fartøjer og konstruktioner i varierende grad efter vind- og temperaturforhold (Heydemann, 1967). Fænomenet er observeret ud til 30 km fra kysten i Nordsøen og må med en vis rimelighed også antages at ske i indre danske farvande. Lignende fænomener er observeret ved Kriegers Flak, hvor flagermus fødesøger nær havvindmøller (WSP, 2024; WSP & Energistyrelsen, 2023). Mange arter af flagermus er af denne grund netop tiltrukket af områder med belysning, hvor der kan være koncentrationer af insekter. Det er rapporteret, at flere arter af flagermus søger føde relativt tæt på havoverfladen, hvilket yderligere kan indikere, at lyskilder på anlægsfartøjer og konstruktioner kan

tiltrække flagermus. Dette må hovedsageligt betragtes som en neutral effekt, da flagermusene i forvejen kan opholde sig over havet ved potentiel fødesøgning nær anlægsfartøjer og konstruktioner.

Under både anlægs- og driftsfasen kan der forekomme en "ø-effekt", hvor flagermus under migration eller fødesøgning kan blive tiltrukket af og raster på skibe, platforme og andre faste konstruktioner i forbindelse med PtX. Tilstedeværelsen af flagermus omkring og på disse platforme kan skyldes flere faktorer, der endnu ikke er fuldt kortlagt. Både øget fødesøgningsmuligheder, skjul fra mulige prædatorer i dagtimerne, og tiltrækning til lys er blevet foreslået.

I flere tilfælde af midlertidigt rastende flagermus på skibe, har individerne forladt skibet igen ved havn, hvorfor ø-effekten i disse tilfælde må karakteriseres som kortvarig og uden større konsekvenser for de påvirkede individer. Ved offshore platforme og installationer i Nordsøen, f.eks. ved hollandske platforme, er der siden 1980'erne blevet registreret rastende flagermus i forbindelse med forårs- og efterårstræk på platforme i op til 60-80 kilometer fra kysten (Boshamer & Bekker, 2008). Mellem 1988 og 2007 blev der ifølge Boshamer og Bekker (observeret 34 individer af flagermus på hollandske platforme. Samme fænomen er observeret på britiske platforme (Russ et al., 2001). Ved analyse af observationerne blev der ikke fundet sammenhæng mellem vindforhold og observationer, hvilket kunne tyde på, at flagermus enten naturligt befinder sig langt fra kysten eller bliver tiltrukket direkte af strukturerne. Ved sammenligning af kropsvægt på observerede individer og en kontrolgruppe på fastlandet, blev det konstateret, at individer fundet på offshore platformene havde lavere kropsvægt. Boshamer og Bekker (2008) spekulerer om flagermusene bliver tiltrukket af sporadiske forekomster af fødeemner, men derefter strander grundet den utilstrækkelige fødemængde. Der er tale om et relativt lille antal individer over perioden og mens det ikke kan udelukkes, at individer, der strander på platforme, kan blive negativt påvirket, så er antallet af påvirkede individer formentlig så lille, at det ikke vil have betydning for bestanden.

4.3.3.3 Sæler

I danske farvande findes to sælarter, gråsæl (*Halichoerus grypus*) og spættet sæl (*Phoca vitulina*). Sæler anses generelt ikke som værende følsomme overfor forstyrrelser over vand (Blackwell SB, Lawson JW, 2004), udover i perioder med yngel eller fældning, hvor sælerne kan være følsomme overfor fysisk forstyrrelse på land nær kolonien (Galatius et al., 2017).

I forbindelse med anlægning og drift af PtX-anlæg vil der være behov for fartøjer. Ved fysisk forstyrrelse tæt på fartøjer kan individer lokalt blive fortrængt som følge af fartøjernes tilstedeværelse. Påvirkede individer vil dog kunne finde alternative fødesøgnings- og opholdsområder og vende tilbage efter endt påvirkning. Forstyrrelse fra fartøjer vil hovedsageligt ske ved en sådan afstand til kysten at der er meget lav risiko for forstyrrelse af kolonier på land. Der er dog tale om relativt få fartøjer i forhold til den eksisterende skibstrafik på det danske havareal og der forventes ikke at forekomme påvirkninger der vil have betydning på bestandsniveau.

4.3.3.4 Opsamling

Kilder til fysisk forstyrrelse, recipienter og afledte potentielle påvirkninger er beskrevet i Tabel 4-4.

Fugle kan blive påvirket af både fortrængning og tiltræknings-effekter ved anlæg og drift af PtX på havet. Følsomheden vil variere betydeligt mellem forskellige arter. Potentielle påvirkninger i anlægsfasen vil være begrænsede og kortvarige, mens der i driftsfasen kan være langvarige påvirkninger gennem hele levetiden for et projekt.

Flagermus kan, tilsvarende fugle, blive påvirket af tiltrækningseffekter ved anlæg og drift af PtX på havet, hvorefter de kan strande på platforme og strukturer grundet formodet for lav fødetilgængelighed. Studier viser dog, at det er relativt få individer, og deres følsomhed over dette vurderes derfor til at være lav. Potentielle kollisions- og barriere-effekter vurderes at være uden betydning for flagermus grundet deres evne til at navigere rundt om fartøjer og platforme.

Sæler er generelt ikke følsomme over for forstyrrelser over vand. En eventuel fortrængning fra fødeområder vil sandsynligvis kun ske kortvarigt ved skibstrafik, og sæler vurderes fortsat at kunne fouragere omkring permanente strukturer, hvis fødegrundlaget er tilstrækkeligt. Potentielle påvirkninger vil derfor sandsynligvis være uden betydelige konsekvenser for sæler.

Tabel 4-4 Opsummering af potentielle påvirkninger fra fysiske forstyrrelser.

Kilde til fysisk forstyrrelse	Recipient	Påvirkninger	Sårbarhed/følsomhed	Geografisk udbredelse (km)	Varighed
Anlæg					
Installation af konstruktioner	Fugle	Fortrængning fra fødeområde	Lav-høj	0-2 km	1-2 år
	Trækfugle	Tiltrækning "ø-effekt"	Høj	0-25 km	1-2 år
	Sæler	Fortrængning fra fødeområde	Lav	0-2 km	1-2 år
	Flagermus	Tiltrækning, fødesøgning	Lav	<1 km	Kort
Skibstrafik	Fugle	Fortrængning fra fødeområde	Lav- høj	0-2 km	kort
	Trækfugle	Tiltrækning "ø-effekt"	Høj	0-20 km	kort
	Sæler	Fortrængning fra fødeområde	Lav	0-2 km	1-2 år
	Flagermus	Tiltrækning, fødesøgning	Lav	<1 km	Kort
	Flagermus	Tiltrækning "ø-effekt"	Lav	<1 km	Kortvarig
Drift					
Drift af PtX-anlæg	Fugle	Fortrængning fra rasteområder	Lav-høj	0-2 km	Langvarig
	Sæler	Fortrængning fra fødeområde	Lav	0-2 km	Langvarig
	Flagermus	Tiltrækning "ø-effekt"	Lav	<1 km	Langvarig
Skibstrafik	Fugle	Fortrængning fra rasteområder	Lav-høj	0-2 km	1-2 år
	Sæler	Fortrængning fra rasteområder	Lav-høj	0-2 km	1-2 år
	Flagermus	Kollisions- og barriereeffekt	Lav	N/A	N/A
	Flagermus	Tiltrækning, fødesøgning	Lav	<1 km	Kortvarig

4.3.3.5 Minimerende tiltag

For at minimere forstyrrelser som kan føre til fortrængning af fugle fra deres fødeområder, kan man begrænse skibstrafik til perioder hvor der kun er lave tætheder af fugle i området, eller man kan udstikke sejladskorridorer som undgår de vigtigste rasteområder, fældningsområder og fødesøgningsområder. For at undgå at fugle forveksler fartøjer, kraner og offshore strukturer med land, kan der indføres begrænsninger i lyssætning ved ugunstige vejrforhold som tåge og regn.

For fugle kan det være aktuelt at søge mod minimering af de potentielle påvirkninger fra tiltrækning og fortrængning fra vigtige fødesøgnings- og rasteområder. Dette kan blandt andet gøres

ved at undgå at lægge PtX-anlæg i områder, hvor fugle søger føde, raster eller migrerer. Det samme gør sig gældende for flagermus, hvor vigtige områder for fødesøgning- og migrationstræk bør undgås i det omfang, det er muligt.

4.3.3.6 Usikkerheder

Fordelingen af havfugle i danske farvande ser ud til at følge fødetilgængelighed, men da flere arter kan udnytte flere fødeemner, vil et skift i et fødeemnes udbredelse (f.eks. som følge af lokal opvarmning af havvand) ikke nødvendigvis føre til et reduceret fødeudbud for arten. Data for havfugles udbredelse er begrænsede til NOVANA programmets overvågninger som foregår hvert 6. år men ikke hele havarealet undersøges hver gang. Dertil kommer en række projektspecifikke data som ikke er offentligt tilgængelige. Klimaforandringer kan betyde ændringer i udbredelsen og karakteren af de mulige tilgængelige fødeemner, men det er uvist hvordan den fremtidige fordeling af fødeemner vil se ud og det er også usikkert i hvilken grad det vil have indflydelse på fordelingen af havfugle. Ændringer i andre stressfaktorer som påvirker fuglebestande, f.eks. havvindmøller, fiskeri og forstyrrelser og tab af yngleområder på land kan også påvirke fuglebestande som benytter de danske farvande.

Modsat fuglene, er viden om flagermusenes trækstrategier begrænset, og basale informationer om timing og trækruter i området omkring Danmark, er kun beskrevet på et overordnet niveau (Ahlén, 1997; Ahlén et al., 2009; Hutterer et al., 2005; Rydell et al., 2014; Seebens-Hoyer et al., 2021). Det er generelt antaget, at flagermus kun passerer over åbent hav, når andre muligheder er mindre attraktive (Seebens-Hoyer et al., 2021). Således antages det, at havområder generelt krydses på steder med kort afstand og kun i tilfælde af, at den tilsvarende rute ikke kan tilbagelægges over land. Omfanget af fødesøgende flagermus i sommerperioden er dårligt undersøgt og der er behov for at indsamle yderligere information, særligt i forbindelse med planlagte havvindmølleprojekter der ligger tæt ved kysterne, hvor anlæg af PtX også vil kunne finde sted.

4.3.4 Tab og forstyrrelse af havbund

Etablering af faste fysiske strukturer og havbundsaktiviteter kan medføre tab af havbundsareal og fysisk forstyrrelse af havbunden. Dette kan lede til påvirkninger af havbundens integritet og tilknyttede økosystemer og arter.

Omfanget af tab og forstyrrelse af havbunden vil variere alt afhængigt af hvilke tekniske løsninger, der vælges ved et konkret projekt. Ud fra de beskrevne udbygningsscenarier i kapitel 2 vil den største potentielle påvirkning af havbunden komme fra brugen af platformbaserede løsninger med dertilhørende kabler til transport af elektricitet og rørledninger til transport af gas. Ved en worst case-betragtning vil en platform have et fysisk fodaftryk på havbunden på 50 x 33 m (1.650 m²). Fodafttrykket vil lede til et permanent tab af havbundsareal. Nedgravede kabler vil have et arbejdsbælte på omkring 30 meter i diameter, men nedgraves dog i havbunden og tildækkes efter nedlægning, hvormed havbunden genetableres over tid. Med et 30 meter bredt arbejdsbælte, vil et nedgravet kabel have et midlertidigt fodaftryk på 30.000 m² per løbende kilometer. Hvorvidt en rørledning vil have et permanent eller midlertidigt fodaftryk, afhænger af om rørledningen nedgraves og tildækkes eller hviler på havbunden. Ved etablering af gasrørledningen Baltic Pipe blev der rapporteret en rendebredde på 10-30 meter, hvormed arbejdsbæltet omkring rørdedlægningen antageligt vil være en smule større. Ved en worst case-betragtning antages en samlet bredde på arbejdsbæltet på 50 meter, hvormed der vil være et fodaftryk på 50.000 m² per løbende kilometer ved en rørledning. Hvis rørledningen ikke nedgraves, vil det permanente fodaftryk, hvor der vil være tab af havbunden, være en relativ lille del af det samlede fodaftryk og være begrænset til rørledningens diameter. Hvis rørledningen nedgraves, vil hele fodaftrykket udtrykkes som en midlertidig forstyrrelse af havbunden.

De relevante recipienter ved tab og forstyrrelse af havbunden er selve havbunden og dens integritet, bundflora og fauna, fisk, havpattedyr og fugle.

4.3.4.1 Havbund

Den potentielle påvirkning af havbunden fra anlæg af PtX kan inddeles i tre kategorier, som ændringer i substrattype, tab af havbunden og forstyrrelse af havbunden.

Konstruktioner som platforme, kabler og rørledninger udgør alle hårdt substrat. I områder hvor havbunden udgøres af blødt substrat, og hvor faste strukturer ikke er til stede, vil faste fysiske strukturer udgøre en ny substrattype og habitat for bundflora og fauna. I disse områder vil der samtidig ske et tab af havbundsareal og muligt habitat. Ændringer i substrattype og tabet af havbundsareal og muligt habitat for blødbundsarter vil være permanent.

Ved installationer af platforme og ved udgravning og nedlægning af kabler og rørledninger vil der ligeledes ske en forstyrrelse af havbunden, der kan ændre på de eksisterende sedimentforhold. Ved nedgravning og efterfølgende tildækning, vil eksisterende sedimentforhold dog blive genskabt, enten ved tilbagefyldning af det opgravede materiale eller ved naturlige strøm- og sedimenttransport. Der er derfor udelukkende tale om en midlertidig reversibel påvirkning, der kun har relativt begrænset geografisk omfang.

Udover havbundens beskaffenhed udgør havbundens kemiske forhold byggestenen for det liv som kan etablere sig på havbunden. Langt størstedelen af havbundens organismer kræver ilt for at trives. Koncentrationen af ilt er udover at være styret af de bionedbrydelige stofomsætninger på havbunden også styret af havområdets hydrografiske processer, såsom vind, strøm og bølgeaktivitet. I dynamiske områder ledes iltet og næringsrigt vand ned til havbunden som derved bidrager til gode vækstbetingelser for det marine liv. Udover vind, strøm og bølgeaktivitet kan etablering af faste fysiske strukturer desuden ændre de vertikale strømforhold og i visse tilfælde potentielt lede til turbulens ned gennem vandsøjlen. Hvorvidt dette vil lede til positive eller negative påvirkninger af de benthiske dyresamfund vil afhænge af meget lokale forhold, der ikke kan inddrages i analysens overordnede fokus. De forventede konstruktioner ved anlæg af PtX i det marine miljø udgør begrænsede arealpåvirkninger samt risiko for mindre ændringer af de hydrografiske forhold. Formentlig vil påvirkningerne udelukkende lede til begrænsede og ganske ubetydelige effekter af generelle strømforhold i området.

4.3.4.2 Bundflora og fauna

Bundflora og fauna refererer til bundlevende organismer der findes på havbunden. Det er en yderst artsrig gruppe og grundet den høje diversitet af bundflora og fauna, er der også meget varierende følsomhed af de forskellige arter og samfund overfor tab og forstyrrelse af havbunden. Til eksempel er ålegræs en følsom art, der ikke tolererer store udsving i fysisk-kemiske forhold, mens nogle arter af børsteorme kan være meget modstandsdygtige overfor ændringer.

Faste strukturer der placeres på havbunden, fra etablering af en platform til et PtX-anlæg eller en rørledning på havbunden, fører til øget dødelighed i det fysiske fodaftryk fra de givne strukturer. Tabet vil være permanent, da det fysiske fodaftryk forbliver så længe de faste strukturer er til stede på havbunden og området ikke kan reetableres af bundflora og fauna. Tab af havbund er derfor ikke reversibelt. Dog er dimensionerne på et sådant platformfundament meget lille relativt til udbredelsen af benthiske samfund i offshore områder og derfor vil et tab af relativt få individer ikke have en betydelig indvirkning på samfundet som helhed.

I forbindelse med etablering af offshore PtX-anlæg skal der potentielt konstrueres rørledninger mellem anlægget og land. En rørledning fra et anlæg til land kan gå gennem flere habitattyper og

artssamfund. Hvis rørledningen går gennem et ålegræsbed, vil der ske et tab, som kan tage meget lang tid at gendanne – ofte over 10 år. Dog har erfaring fra andre kabelprojekter vist, at selv 10 år efter konstruktionen var den naturlige genopretning af ålegræs stadig fraværende, mens de omkringliggende områder, der havde oplevet midlertidig forstyrrelse under kabelforlægningen, blev genetableret efter få år (Seacon, 2015).

Faste strukturer, der placeres i blødbundssubstrater på havbunden, kan også give anledning til ændringer i habitater. Habitataendringerne vil i disse tilfælde føre til skift i artssammensætningen i det pågældende område, hvor blødbundsarter vil blive erstattet af typiske hårbundsarter. Effekten af disse skift kan være både negative og positive afhængigt af hvilke arter, der koloniserer substratet, og kan først nærmere afgøres i forbindelse med et mere konkret projekt, hvor man kender de lokale forhold og artspuljer.

Under etablering af faste strukturer på havbunden eller nedgravning af rørledninger vil der ske forstyrrelse af havbunden. Dette vil ske i umiddelbar nærhed af strukturerne (Rambøll, 2019). Afhængigt af artssamfundet kan forstyrrelsen øge dødelighed og fortrænge individer. Specielt fastsiddende og langsomt bevægende arter er sårbare overfor fysisk forstyrrelse af havbunden da de ikke kan flytte sig fra påvirkningen. I områder med blødbund vil forstyrrelse og fortrængning være relativt kortvarig da arter i disse habitater typisk hurtigt kan genetablere sig ved at vandre ind fra nærliggende områder. På hårbund eller i ålegræsbed kan forstyrrelse af havbunden give anledning til langvarig påvirkning da det kan tage arter i disse habitater lang tid at genetablere det forstyrrede område.

Tab og forstyrrelse af bundflora og fauna afhænger meget af det påvirkede habitat. Bundflora og fauna vil have varierende sårbarhed overfor påvirkningen. Påvirkningen er kortvarig til permanent af karakter, men påvirker kun i den umiddelbare nærhed af faste strukturer. Dimensionerne af strukturerne der skal etableres i projektet, er desuden relativt små i forhold til det vidstrakte område hvori bundflora og fauna befinder sig.

4.3.4.3 Fisk

Ved etableringen af et offshore PtX-anlæg kan der konstrueres en platform til anlægget. En platform vil medføre et permanent tab af havbund, og der vil samtidigt ske en forstyrrelse af den omkringliggende havbund. Det forventes, at bundliggende æg fra fisk, der findes i det påvirkede område, permanent vil miste arealet som følge af tabet af havbund. Hvis platformen etableres i et blødbundsområde, vil det desuden være en introduktion af hårdt substrat, der kan have en tiltrækkende effekt for fisk der er knyttet hårbundssubstrattyper (bl.a. torskfamilien og læbefisk) (Hoffmann et al., 2021; Krog & Carl, 2019). Desuden vil fisk der typisk er tilknyttet blødbundsområder (bl.a. fladfisk) få reduceret deres potentielle levesteder med det areal som anlægget optager. Pelagiske arter forventes i mindre grad at blive påvirket som følge af konstruktionen.

Ilandføring af en rørledning vil typisk medføre en påvirkning af forskellige typer af fiskehabitater. Uanset hvor anlæg etableres vil det medføre en midlertidig potentiel påvirkning i form af forstyrrelser og kortvarige ødelæggelse af eksisterende levesteder for fisk. Det forventes, at bundliggende æg fra fisk, der findes i det påvirkede område, kan gå til grunde som følge af den fysiske forstyrrelse. Da det forventes at rørledninger skal udgraves og nedlægges, vil der ske en reetablering af havbunden hvis den eksisterende bundsubstratstruktur tilbageføres over tid. I tilfælde af at den eksisterende bundsubstratstruktur ikke tilbageføres, vil der være en permanent påvirkning af fiskehabitatet. I områder hvor man eventuelt skal passere eksisterende infrastruktur, vil krydsningsarbejdet medføre en permanent ændring fra blødbundssamfund til hårbundssamfund. Det forventes at der vil ske en reetablering af havbunden, men at det i områder med blødbundssubstrattyper vil ske hurtigere end i områder med hårbundssubstrattyper (DCE – Danish Center for

Environment and Energy, 2016; J. Støttrup et al., 2007). Påvirkningen af områder, hvor der kan forekomme flytningsaktiviteter af sten, vil have en længere varighed, før den tidligere funktionalitet er opnået, dvs. processen med indvandring, succession og genopbygning af biomasse, men det forventes, at fisk fortsat vil kunne anvende områder med sten bl.a. til skjul og fødesøgning (J. G. Støttrup et al., 2013). Forstyrrelse af havbund kan typisk påvirke fødegrundlaget for fisk som beskrevet i samme afsnit om bundflora og fauna, samt gyde- og opvækstområder for fisk der overlapper med tracéet.

4.3.4.4 Fugle

En række havfugle søger deres føde på havbunden i forholdsvis lavvandede havområder. Enkelte arter kan dog dykke helt ned til 40 m efter føde, men almindeligvis foretrækker havfuglene som søger føde på bunden havområder med vanddybder fra 0 – 25 m.

Fuglene påvirkes ikke direkte af tab af havbund, men kun indirekte hvis deres fødegrundlag også forsvinder. Som nævnt i forrige afsnit kan reduceret fødetilgængelighed i et afgrænset område i en afgrænset periode i yderste konsekvens betyde reduktion af bestanden, men hvis områderne der tabes, er små i forhold til det samlede potentielle fødesøgningsareal kan fuglene uden problemer finde andre områder i nærheden som er lige så egnede som fødesøgningsområder. Derfor forventes tab af havbund som følge af etablering af platforme eller andre isolerede strukturer i forbindelse med PtX ikke at få konsekvenser for havfugle.

4.3.4.5 Havpattedyr

Havpattedyr kan, tilsvarende fugle, kun indirekte blive påvirket af tab og forstyrrelse af havbunden i forbindelse med fødesøgning. Da den geografiske udbredelse af tab og forstyrrelse af havbunden forventes at være mere begrænset, vil ændringer i fødesøgningsmuligheder tilsvarende være meget begrænsede. Derfor forventes tab af havbund som følge af etablering af platforme eller andre isolerede strukturer i forbindelse med PtX ikke at få konsekvenser for havpattedyr.

4.3.4.6 Opsamling

Kilder til tab og forstyrrelse af havbunden, recipienter og afledte påvirkninger for havbund, bundflora og fauna, fisk, fugle og havpattedyr er beskrevet i Tabel 4-5.

For samtlige receptorer gør det sig gældende, at påvirkningen vil være yderst lokal. Ved fysisk tab af havbundsareal kan der være et permanent tab af habitat og individer. Fugle og havpattedyr vil kun indirekte blive påvirket og udelukkende i begrænset omfang. Påvirkningerne vil dog samlet få begrænsede konsekvenser for de relevante receptorer.

Tabel 4-5 Opsummering af potentielle påvirkninger fra tab og forstyrrelse af havbund.

Kilde til fysisk forstyrrelse	Recipient	Påvirkninger	Sårbarhed/følsomhed	Geografisk udbredelse (km)	Varighed
Anlægsfasen					
Installation af konstruktioner	Havbund	Ændringer i substrattype, tab af havbund og fysiske forstyrrelser	Lav-høj	Lokal	Potentielt langvarig
	Bundflora og fauna	Tab og fortrængning af individer	Lav-høj	Projektets fodaftryk og umiddelbar nærhed af faste strukturer	Kortvarig til Permanent
	Fisk	Ændring af fiskehabitat, tab af gydeområde, ændring af artssammensætning	Lav-høj	Projektets fodaftryk og umiddelbar nærhed af faste strukturer	Kortvarig til permanent

	Fugle	Reduceret fødegrundlag	Lav	Lille andel af samlet fødeøgningsareal	Langvarig
	Havpattedyr	Reduceret fødegrundlag	Lav	Lille andel af samlet fødeøgningsareal	Kortvarig
Driftsfasen					
Tab af havbund	Havbund	Ændringer i substrattypen, tab af havbund og fysiske forstyrrelser	Lav-høj	Lokal	Potentielt langvarig
	Bundflora og fauna	Tab og ændringer i habitat	Høj	Projektets fodaftryk	Permanent
	Fisk	Ændring af fiskehabitat, tab af gydeområde, ændring af artssammensætning	Lav-høj	Projektets fodaftryk og umiddelbar nærhed af faste strukturer	Kortvarig til permanent
	Fugle	Reduceret fødegrundlag	Lav	Lille andel af samlet fødeøgningsareal	Langvarig
	Havpattedyr	Reduceret fødegrundlag	Lav	Lille andel af samlet fødeøgningsareal	Kortvarig

4.3.4.7 Minimerende tiltag

Der er ikke identificeret relevante minimerende tiltag

4.3.4.8 Usikkerheder

Der er ikke identificeret usikkerhed i vidensgrundlag for presfaktoren og potentielle påvirkninger

4.3.5 **Sedimentspild**

Ved marine anlægsaktiviteter vil der være risiko for sedimentspild, hvor der kan forekomme perioder med forhøjede sedimentkoncentrationer i vandsøjlen og ske aflejring af sediment på havbunden. Suspension af sediment i vandsøjlen udtrykkes som partikelkoncentrationerne (SSC (suspended sediment concentration)) over naturlige niveauer, mens sedimentation udtrykkes i tykkelser (cm) over havbunden.

Spredning af miljøfarlige forurenende stoffer ved sedimentspild behandles i afsnit 4.3.7.

Omfanget og karakteren af sedimentspild fra etablering af platforme, søkabler og rørledninger afhænger af installationsteknik, strømforhold, dybde og sedimentstørrelse. I de fleste tilfælde vil sedimentet dog være af relativ kortvarig karakter og kun lokalt omkring konstruktionen. I forbindelse med anlæg af Baltic pipe viste modellering af SSC, at overskridelser af 10 mg/l (en koncentration, der er sammenlignelig med perioder med kraftig vind) at på under 12 m dybt vand, var der sedimentfaner op til 1,5 km fra spildpunktet. Modelleringen viste også, at der på dybder over 12 m kun fandtes øget SSC i umiddelbar nærhed af rørledningen. Varigheden af øget SSC varede hovedsageligt under et døgn og maksimalt 4 døgn (Rambøll, 2019). Samme modellering viste at sedimentaflejring hovedsageligt skete i umiddelbar nærhed af rørledningsarbejdet. Aflejringerne i dette område svarede til et lag på cirka 1 mm mens der i meget begrænsede områder kunne forekomme mellem 1-2 cm's aflejring (Rambøll, 2019).

De relevante recipienter ved sedimentspild er vandkvalitet, havbunden, bundflora og fauna, fisk, fugle og havpattedyr.

4.3.5.1 Vandkvalitet

Ved sedimentspild og forøget koncentration af sediment i vandfasen kan vandets klarhed forringes, hvorved lysgennemtrængningen til havbund og bundflora kan blive forringet. Sedimentspildet ved anlægsarbejde for faste installationer vil kun kortvarigt og i begrænset omfang påvirke vandets klarhed. Derfor forventes sedimentspild som følge af etablering af platforme eller andre isolerede strukturer i forbindelse med PtX ikke at få permanente konsekvenser for vandkvaliteten.

4.3.5.2 Havbund

Ved etablering af faste fysiske strukturer og nedlægning af rør og kabler i havbunden kan der afhængig af metode ske tab af sediment udtrykt som hhv. suspension af sediment i vandsøjlen og aflejring over havbunden. Særligt aflejring af sediment kan i områder hvor havbundens beskaffenhed er bestående af hårbundselementer som sten medføre en påvirkning af den tilstedeværende substrattype. Blødbundsområder er ikke i samme grad følsomme over for tildækning, medmindre det tilførte sediment over tid ændrer overfladesubstratets udtryk og kornstørrelsesfraktion. I de fleste tilfælde i de danske farvande vil naturlige strømforhold over tid dog være medvirkende til, at de eksisterende havbundsforhold naturligt genetableres.

4.3.5.3 Bundflora og -fauna

I forbindelse med etablering af offshore PtX-anlæg og nedlægning af rørledninger vil der være aktiviteter der giver anledning til sedimentspild. Sedimentspild refererer både til øget suspension af sediment i vandsøjlen og sedimentation, altså aflejring af sediment. Øget SSC kan især være et problem for filtrerende organismer, som mange muslinger, og for ålegræs der er afhængig af sollys idet suspenderet sediment kan reducere lysgennemtrængning i vandsøjlen. Organismer i eksponerede habitater kan dog være modstandsdygtige overfor denne påvirkning grundet høje naturlige suspensionsrater.

I forhold til bundfauna afhænger følsomheden overfor suspenderet sediment af arten, sedimentets karakteristika, koncentration og varighed. Flere muslingearter får reduceret filtreringsraten ved en forhøjet koncentration (100-300 mg/l) af suspenderet stof i vandfasen (Grant & Thorpe, 1991; Kamermans et al., 2013; Widdows, 1997). Forhøjelsen af sedimentkoncentrationer under en uge og under 10 mg/l er i miljøvurderingen af Femern Forbindelsen vurderet at være ubetydelig selv for de mest sårbare arter (Femern A/S, 2013). Den benthiske fauna vurderes at først reagere ved 50-100 mg/l ved varigheder over en uge (Femern A/S, 2013).

Ved sedimentation er påvirkningens omfang tæt forbundet med sedimentets karakteristika, intensitet (lagtykkelsen), raten hvormed sedimentet aflejres og varigheden af den resulterende aflejring. Hos flere arter af muslinger, der er en af de mest følsomme artsgrupper, da de er fastsiddende, kan en pludselig tildækning af sediment (2 til 7 cm) medføre en markant øget dødelighed (Hutchison et al., 2016). I forbindelse med VVM'en for en fast forbindelse over Femern Bælt blev der, baseret på videnskabelig litteratur, kortlagt en lang række tålegrænser for arter af benthisk fauna ift. aflejring af sediment (FEMA, 2013). Tages der udgangspunkt i disse tålegrænser ses det, at blåmuslinger, som er en af de mere følsomme arter, hvor aflejringer på 1-2 cm i en måned kan have betydning for levedygtigheden. Sedimentation på nogle få millimeter vurderes ikke at medføre nogen væsentlig påvirkning af bundfauna.

Ålegræs er generelt følsomt overfor aflejringer af sediment. Sårbarheden afhænger af en række faktorer som omfang og varighed af aflejringen samt de fysiske-kemiske forhold, når aflejringen finder sted, og er som udgangspunkt høj. Forventede aflejringer ved for eksempel rørledningsinstallation i kystnære områder med ålegræs forventes kun kortvarigt og meget lokalt at give anledning til sedimentationsrater, der kan påvirke ålegræs.

Strømforhold og sedimentstørrelse har også en betydning for hvor hurtigt suspenderet sediment og sedimentaflejring kan transporteres væk fra påvirkede områder. Da aflejringer og suspension af sediment sjældent er permanente, er påvirkningerne reversible da de fleste påvirkede organismer vil kunne grave sig fri eller strømforhold vil transportere det meste aflejrede materiale væk. Sedimentaflejringer i kystvande, specielt i ålegræsbede, kan dog have irreversible påvirkninger hvis aflejringerne er store og vedvarende.

4.3.5.4 Fisk

Øget sedimentkoncentration i vandet kan potentielt påvirke fisk samt deres fødeorganismer og habitater i og i nærheden af anlægsarbejdet. Påvirkningen fra sedimentspild på fisk er artsspecifik og typisk relateret til fiskenes levevis. Den samlede effekt af suspension af sediment på fisk, æg og larver bestemmes af sedimentkoncentrationerne og varigheden af eksponeringen (Kjelland et al., 2015). Arter af rovfisk er afhængige af god sigtbarhed for at kunne fange deres bytte. Samme gør sig gældende for flere bundlevende fisk. Desuden kan sediment klæbe til æg og larver og dermed bevirke, at de synker ned i iltfattige vandmasser (Appelberg et al., 2005). Bundlevende fisk er mere tolerante over for suspenderet materiale end pelagiske fisk. Larver, der i længere tid eksponeres for øget sedimentkoncentration i vandsøjlen, vil være begrænset i mobilitet og mulighed for at svømme væk, hvilket kan være fatalt (Westerberg et al., 1996).

Suspension af sediment til vandsøjlen vil resultere i, at dette sediment senere vil sedimentere og dermed aflejres på havbunden, hvilket potentielt kan ændre kornstørrelsesfordelingen i de øverste sedimentlag på det område af havbunden, som påvirkes (Wright et al., 2000). Dette kan potentielt påvirke demersale fiskearter som f.eks. fladfisk og tobis, som har særlige præferencer for specifikke sedimenttyper. Derudover kan sedimentation påvirke bunddyrssammensætningen. Bunddyrssammensætningen udgør fødegrundlag for fisk. Hvis anlægget oprettes i gydeområder for arter med bundliggende æg, da kan æg potentielt gå til grunde som følge af sedimentation (Messieh et al., 1981). Voksne fisk vil forventeligt udvise flugtaadfærd fra områder med stor sedimentation.

4.3.5.5 Fugle

En række havfugle søger deres føde på eller nær havbunden på forholdsvis lavvandede havområder. Fuglene påvirkes direkte af sedimentspild fordi sigtbarheden i vandet reduceres midlertidigt og indirekte hvis deres fødegrundlag også forsvinder. Påvirkningen vil dog være kortvarig og vil kun have betydning for fugle som aktivt benytter synet ved fødesøgning. Andre arter som søger føde i selve havbunden vil ikke være direkte påvirket. Som nævnt i forrige afsnit kan reduceret fødetilgængelighed i et afgrænset område i en begrænset periode i yderste konsekvens betyde reduktion af bestanden, men hvis områderne der tabes, er små i forhold til det samlede potentielle fødesøgningsareal kan fuglene uden problemer finde andre områder i nærheden som er lige så egnede som fødesøgningsområder. Derfor forventes sedimentspild som følge af etablering af platforme eller andre isolerede strukturer i forbindelse med PtX ikke at få konsekvenser for havfugle.

4.3.5.6 Havpattedyr

En række havpattedyr søger deres føde på eller nær havbunden, og vil potentielt kunne blive påvirket af nedsat sigtbarhed ved øget koncentration af sediment i vandsøjlen. Da marsvin jager ved hjælp af ekkolokalisering, vil en kortvarig og lokal forøgelse af suspenderet sediment i vandsøjlen ikke have direkte betydning. Undersøgelser har vist, at synet ikke er afgørende for sæler til at navigere og finde føde i vand (Todd et al., 2015). En kortvarig og lokal øget koncentration af sediment i vandsøjlen vil derfor have begrænset direkte betydning for havpattedyr.

4.3.5.7 Opsamling

Kilder til sedimentspild, recipienter og afledte påvirkninger for havbund, bundflora og fauna, fisk, fugle og havpattedyr er beskrevet i Tabel 4-6.

For samtlige receptorer gør det sig gældende, at påvirkningen fra sedimentspild vil være yderst lokal og kortvarig. Påvirkningerne vil samlet have begrænsede konsekvenser for de relevante receptorer.

Tabel 4-6 Opsummering af potentielle påvirkninger fra sedimentspild.

Kilde til fysisk forstyrrelse	Recipient	Påvirkninger	Sårbarhed/følsomhed	Geografisk udbredelse (km)	Varighed
Anlægsfase					
Sedimentspild	Havbund	Ændringer i sub-stratforhold	Lav	Lokal	Kort
	Bundflora og fauna	Tildækning af sediment	Lav-Høj	Lokal	Kort
	Fisk	Adfærdsændringer, øget mortalitet særligt æg og larver, ændring af habitat, ændring af fødegrundlag	Lav-Høj	Lokal	Kort
	Fugle	Reduceret fødeindtag	Lav	Lokal	Kort
	Havpattedyr	Reduceret fødeindtag	Lav	Lokal	Kort

4.3.5.8 Minimerende tiltag

Der er ikke identificeret relevante minimerende tiltag

4.3.5.9 Usikkerheder

Der er ikke identificeret usikkerhed i vidensgrundlag for presfaktoren og potentielle påvirkninger

4.3.6 Luftemissioner

Anlæg og drift af PtX på havet vil resultere i direkte eller indirekte emissioner af gasser og partikler til luften, hvilket potentielt vil føre til en ændring i den lokale luftkvalitet og kan påvirke drivhuseffekten på globalt plan.

Der forventes luftemissioner fra alle anlægsaktiviteter, primært forårsaget af brug af fossile brændsler til skibe, maskiner og indirekte fra materialeforbrug som følge af:

- Konstruktionsaktiviteter: Fremstilling og samling af PtX-anlægsstrukturer og materialer onshore.
- Store skibe/fartøjer: Installation af offshore installationer inkl. platforme, lastesystemer, rørledninger og strømledninger.
- Øvrige mindre fartøjer: Inspektion af havbund og forsyningskibe.
- Helikoptere og skibe: Transport af personel onshore – offshore.

Og i driftsfasen vurderes disse som primære kilder til luftemissioner:

- Skibe: Transport af produkter til og fra anlæg, vedligehold og servicering af anlæg.
- Helikoptere og skibe: Transport af personel onshore – offshore.
- Passive/aktive udledningspunkter: brint, ammoniak, metanol og kulbrinter afhængigt af anlægstype.

- Flaring (fakkel) af offgas: Der kan være behov for afbrænding af kulbrinter afhængigt af anlægstype.
- Diesel generatorer: Der forventes drift af dieselgeneratorer ved mangel på vind (14 dage om året), som skal levere strøm til vitale dele af anlæggene
- Materialer til vedligehold af systemer

Aktiviteter og materialer anvendt i forbindelse med PtX-projekter, forventes at være tilsvarende det som kendes fra offshore olie og gas-projekter, og dermed vil PtX-anlæg medføre tilsvarende eller mindre luftemissioner. At de kan være medvirkende til mindre emissioner, skyldes at de forventes at bruge elektricitet som deres primære energikilde under drift, samt at behovet for flaring kun er relevant i forbindelse med produktion af jetfuel og vil være et mindre omfang end ved typiske olie- & gasanlæg.

Kilder til luftemissioner, recipienter og afledte påvirkninger for mennesker og klima er beskrevet i Tabel 4-7. Påvirkninger på miljøet fra kvælstof deposition er ikke medtaget, da aktiviteterne generelt vurderes at være relativt begrænsede, men dette bør vurderes ved konkrete projekter, som er placeret i følsomme vandområder.

Påvirkningerne af luftkvaliteten er i de fleste tilfælde relativt kortvarige (dage til måneder) og reversible ved projekter tilsvarende det, der forventes ved anlæg af offshore PtX. Udbredelsen af påvirkningen er primært lokal tæt ved offshore installationslokaliteterne og med lav intensitet. Påvirkning af luftkvaliteten vurderes dermed meget begrænset.

Udledning af drivhusgasser er kortvarige (dage til måneder), men påvirkningerne af klimasystemet er permanent og irreversibelt. Der vil desuden være en positiv effekt på klimasystemet, fordi de producerede brændstoffer vil medvirke til fortrængning af fossile brændstoffer. De samlede påvirkninger vurderes som moderate.

4.3.6.1 Opsamling

Kilder til luftemissioner og afledte påvirkninger er beskrevet i Tabel 4-7

Tabel 4-7 Opsummering af potentielle påvirkninger fra luftemissioner.

Kilde til luftemission	Recipient	Påvirkninger	Sårbarhed/følsomhed	Geografisk udbredelse (km)	Varighed
Anlægsfase					
Installation af konstruktioner	Mennesker	Forringet luftkvalitet	Lav	0-10 km	Dage-måneder
	Klimasystemet	Klimaforandringer	Høj	Global	Permanent
Skibstrafik	Mennesker	Forringet luftkvalitet	Lav	0-10 km	Dage-måneder
	Klimasystemet	Klimaforandringer	Høj	Global	Permanent
Driftsfase					
Skibe og helikoptere	Mennesker	Forringet luftkvalitet	Lav	National	Timer
	Klimasystemet	Klimaforandringer	Høj	Global	Permanent
Passive/aktive udledningspunkter	Mennesker	Forringet luftkvalitet	Lav	0-10 km	Timer-permanent
	Klimasystemet	Klimaforandringer	Høj	Global	Permanent
Fakkel	Mennesker	Forringet luftkvalitet	Lav	0-10 km	Dage-permanent
	Klimasystemet	Klimaforandringer	Høj	Global	Permanent
Diesel generator	Mennesker	Forringet luftkvalitet	Lav	0-10 km	Dage
	Klimasystemet	Klimaforandringer	Høj	Global	Permanent

4.3.6.2 Minimerende tiltag

Der vurderes ikke behov for minimerende tiltag, dog bør fokus i konkrete projekter være at fokusere på at minimere udledninger af gasser for at sikre godt arbejdsmiljø på installationer og for at minimere klimapåvirkningerne fra driften. Ved behov for håndtering af overskudsgas med kulbrinter kan undersøges muligheden for at undgå flaring, hvor gassen alternativt bruges til opvarmning.

4.3.6.3 Usikkerheder

Der vurderes ikke være væsentlige usikkerheder mht. at beskrive påvirkning af luftkvalitet og klimasystemet. Der er usikkerheder mht. omfanget af passive/aktive udledninger fra processerne, men disse vurderes samlet som relativt begrænsede. De anvendte materialer til PtX-teknologier er mangeartede og mængderne er ikke veldefinerede, og det kan ikke udelukkes at visse typer projekter kan medføre en væsentlig påvirkning af klimareceptoren.

4.3.7 **Spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer til havet**

Spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer (MFS) til havet kan ske i både anlægs- og driftsfasen og medføre økotoksikologiske effekter og overskridelser af gældende miljøkvalitetskrav. Herunder beskrives de forskellige spredninger og udledninger af MFS, der forventes ved anlæg og drift af PtX på havet i Danmark, samt deres forventede koncentrationer og potentielle miljøskadelige effekter. I afsnit 4.3.12 beskrives vigtige forhold ved spredning eller udledning af MFS i forhold til EU's vandrammedirektiv, konkretiseret i dansk lov om vandplanlægning (Miljø- og Ligestillingsministeriet, 2017), vandområdeplanerne (Miljøministeriet, 2023), indsatsbekendtgørelsen (Miljø- og Ligestillingsministeriet, 2023) og bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål.

4.3.7.1 Spredning af MFS ved mobilisering af sediment

Under anlægsfasen vil der ikke ske udledninger til havmiljøet, dog kan der ske spredning af MFS via sedimentspild. Nedgravning af kabel eller rørledninger internt mellem anlæg, eller mellem anlæg og kyst, kan i anlægsfasen give anledning til spild, suspension og spredning af bundsediment. Sedimentet indeholder en række naturlige og menneskeskabte MFS'er, og en del af disse kan spredes med sedimentet eller frigives til vandfasen, når der graves. De menneskeskabte MFS'er er sædvanligvis koncentreret i sedimentets øverste lag, ofte 10-30 cm, afsat efter industrialiseringen tog fart for cirka 150 år siden (Marine Habitat Committee & ICES, 2001). De dybere lag afspejler i højere grad den geologiske baggrund på stedet og kan have naturligt høje koncentrationer af enkelte metaller eller metalloider.

Ved nedgravning af rør eller kabler i op til flere meters dybde, vil det dybereliggende og lavt belastede sediment dominere mængdemæssigt. Dette betyder, at selvom de øverste sedimentlag kan have niveauer af MFS'er, der overskrider myndighedernes krav og kriterier, vil opblandingen med de dybere lag medføre, at det spredte sediment enten ikke overskrider kriterierne, eller at det spredte sediment i det mindste vil have en væsentlig lavere koncentration end det omkringliggende overfladesediment det spredes på. På tilsvarende vis vil afgivelsen af MFS i opløst form fra det dybereliggende sediment være lavere end fra overfladesedimentet, der i forvejen er i nær kontakt og balance med vandfasen. Der vil dermed ved gravning i relativt ubelastede sedimenter langt fra kysten kun være lille risiko for overskridelse af gældende krav og kriterier. Det er dog vigtigt at bemærke, at der er stor geografisk forskel i tilstedeværelsen og koncentrationer af stoffer i marine sedimenter. Det gør sig især gældende ved punktkilder fra land og ved udledningspunkter fra for eksempel olie- og gasplatforme, at der lokalt kan være høje belastninger i det omliggende marine sediment. En videre analyse af en spredning eller udledning af MFS i forhold til gældende lovgivning i vandrammedirektivet foretages i afsnit 4.3.12.

Miljøpåvirkninger fra sedimentspild i forbindelse med anlægsfasen for PtX-anlæg vurderes generelt at være minimale og med kortvarige og begrænsede påvirkninger, helt i tråd med det som kendes fra andre energianlæg offshore. Der vurderes dog at konkrete projekter, særligt kystnært og på vise geografier, kan medføre spredning af uønskede mængder af MFS'er. Dette skal undersøges og vurderes nærmere ved et konkret projekt.

4.3.7.2 Spredning af MFS ved udledning af kølevand

I driftsfasen udledes store mængder vand fra forskellige kilder i PtX-anlægget, der samlet betegnes som kølevand, der kan indeholde MFS'er dels fra tilsætning af stoffer f.eks. biocider og fra opkoncentrering af salte og MFS'er fra havvandet.

Opkoncentrering af miljøfarlige forurenende stoffer ved indtag af vand

Ved PtX-anlæg bruges der i driftsfasen dels vand til at køleprocessen og dels til selve elektrolyseenheden, hvor der produceres brint. For at producere ultrarent vand til brintproduktionen, udskilles der en remanens med forøget indhold af salte og eventuelle miljøfarlige stoffer fra havvandet (Miljøstyren & NIRAS, 2024). Ved offshore PtX antages denne remanens at blive blandet op med kølevandet før udledning til havet, fordi der ikke vil være mulighed for nyttiggørelse af det opvarmede kølevand. Mængden af vand, der går til elektrolyse udgør omtrent 1 % af det samlede udledte vand og dermed vil havvandets indhold af salte og MFS'er blive opkoncentreret med 1 % og har dermed marginal effekt.

Såfremt kølevandet mod forventning kan nyttiggøres, kan der være behov for rensning af procesvand fra rentvandsproduktion til brintanlægget, i de tilfælde hvor udledningen skal leve op til de fastsatte krav i kystnære områder. I en rapport af NIRAS for Miljøstyrelsen (Miljøstyren & NIRAS, 2024) beskrives rensning af procesvand fra rentvandsfabrikker til onshore PtX-anlæg. Rapporten konkluderer, at der ved brug af havvand som vandkilde, kan være en risiko for, at koncentration af tungmetaller i det rene procesvand kan overskride fastlagte grænseværdier. Dette vil i høj grad være begrænset til lokaliteter hvor grænseværdien for tungmetaller allerede er overskredet. Risikoen for at grænseværdier for andre miljøfarlige stoffer i indtagsvandet vil overskride fastlagte grænseværdier, er meget lille da disse normalt forekommer i meget små koncentrationer i havvand og stigningen vil være marginal som beskrevet. Overordnet set vurderes denne opkoncentrering ikke at være en begrænsning for etablering af PtX-anlæg offshore, fremdeles fordi det opvarmede kølevand ikke vurderes muligt at nyttiggøre. I kystnære målsatte farvande kan der potentielt være begrænsninger på placering af PtX-anlæg grundet lokale udledninger, der kan lede til højere koncentrationer af visse MFS'er i vandfasen og dermed øge risikoen for overskridelse af gældende grænseværdier.

Udledning af tilsatte miljøfarlige forurenende stoffer

På baggrund af informationer i kapitel 2 og en gennemgang af tilgængelig litteratur er der identificeret en række stoffer, der tilsættes under PtX-produktionen eller potentielt kan blive udledt til vandmiljøet som følge af for eksempel korrosion eller slid på komponenter. De identificerede stoffer er beskrevet i Tabel 4-8. I visse tilfælde er det ikke muligt at identificere specifikke navngivne stoffer, hvor stofkategorier anvendes i stedet.

For at undgå udfældninger af kalk og metaller (scaling) i afsaltnings- og elektrolysemodulerne i brintanlægget, vurderes der behov for at tilsætte antiscala-kemikalier. Endvidere skal begroning med forskellige organismer (biofouling) i kølevandsystemet undgås, hvilket kontrolleres ved at tilsætte et biocid. Det udledte produktionsvand fra PtX-anlæg vil derfor indeholde rest eller omsatte kemikalier.

Endvidere vil der, afhængigt af PtX-teknologien, kunne forekomme andre udledninger som metanol, andre kulbrinter, og andre organiske biprodukter sammen med det producerede vand.

Ved brug af alkalisk elektrolyse er der risiko for spild af lud (KOH). Det maksimale teoretiske spild fra sådanne alkaliske elektrolyseceller (AEC) vurderes at være 30 m³. Men det forventes at PEM-elektrolyseanlæg uden brug af lud vil være det foretrukne offshore, se beskrevet i kapitel 2.

Tabel 4-8 MFS'er som kan udledes til miljøet under drift.

Stof/stofkategori	Anvendelse/årsag til forekomst
Biocid (ofte Natriumhypoklorit (NaClO))	Begroning med forskellige organismer (biofouling) i kølevandssystemet skal undgås, hvilket kontrolleres ved at tilsætte et biocid.
Antiscaling kemikalier (Udfældningskontrol)	For at undgå udfældninger af kalk og metaller (scaling) i afsaltning- og elektrolysemodulerne i brint-anlægget, vurderes der behov for at tilsætte anti-scale-kemikalie
Antikorrosive stoffer	På offshore PtX-anlæg vil der være behov for korrosionskontrol af metaldele ved brug eller offeranoder eller kemikalier. Der er ikke kendskab til de specifikke behov, men det vurderes at være sammenligneligt med olie- & gasanlæg.
PFAS / Teflon	Fra PEMEC-membraner forventes ikke udledning af PFAS, men membraner kan nedbrydes og medføre udledning af membranpartikler (teflon).
Metanol, oliekomponenter og andre organiske biprodukter	Produktionsvandet ved metanol og jetfuel PtX-anlæg vil medføre at udledningsvandet indeholder mindre mængder af organiske forbindelser.

Biocid

For at beskytte mod begroning i kølevandssystemer anvendes på offshore anlæg i dag typisk klorbaserede biocider til at mindske de driftsmæssige gener fra begroning i rørsystemer og procesanlæggene.

Natriumhypoklorit (NaClO) er det mest anvendte antifoulingkemikalie (antibegroning) i en lang række industrier, herunder offshore i olie- og gasindustrien. Ved opløsning i vand dannes både hypokloritioner, elementært klor, samt den mest aktive desinfektant; hypoklorsyre (HClO⁻). Fordelingen af disse komponenter er pH-afhængige, hvor det i saltvand ved pH 8,1, antages at andelen af hypoklorsyre er cirka 20%. Det vurderes at en kontinuert tilsætning af 5 ppm natriumhypoklorit er nødvendig/tilstrækkeligt til at bekæmpe begroning i kølevandssystemet. Mængderne som kommer i anvendelse, er direkte korreleret med kølevandsbehovet ved de forskellige PtX-løsninger, se Tabel 4-9.

Tabel 4-9 Biocid tilsætning til kølevand.

Anlægstype	Kølevandsflow	Klorin (Natriumhypoklorit) tilsætning
	m ³ /t	Kg/t
Brintmølle	296	1,5
Brintplatform	10.000	50
Ammoniak + brint*	19.000	95
Metanol + brint*	18.000	90
Jetfuel + brint*	18.000	90
*Brintplatform		

Natriumhypoklorit er bredt anvendt i industrien, men er på Miljøstyrelsens liste over uønskede stoffer, LOUS (Miljøstyrelsen, 2010). Natriumhypoklorit er risikovurderet i EU (Escudero-Oñate & NIVA, 2015). Vurderingen viser sammenfattende, at der ikke er nogen risiko hverken for miljø eller sundhed. Men EU's videnskabelige komité, SCHER, har dog på miljøområdet modsagt dette, idet de mener, at organiske klorforbindelser, som kan dannes i forbindelse med det organiske stof i vandet (organohalogenering), kan udgøre et miljøproblem. Reaktionen er kendt i forbindelse med spildevand, svømmebade og drikkevand. Den mest toksiske organiske klorforbindelse vurderes at være kloroform med et generelt miljøkvalitetskrav på 2,5 µg/l for halogenerede alifatiske kulbrinter. Cirka 0,5 til 3 % af hypokloriten forventes at blive omsat til AOX (adsorberbart organisk halogen), hvor cirka 15 % er i form af kloroform (Miljøstyrelsen, 2013). Ved en tilsætningskoncentration på 5 mg/l hypoklorit vil det altså medføre en kloroform koncentration på 1,125 µg/l og dermed under det generelle miljøkvalitetskrav for kystvande.

Udenfor målsatte kystvande er det relevant at inddrage andre grænseværdier og vurderinger, herunder No Effect Concentration (NOEC). Effektkoncentrationen på marine organismer er varierende og vil være afhængig den enkelte art, livsstadie, eksponeringstid, og de specifikke forhold som eksempelvis salinitet, pH, temperatur og mængden af organisk stof. Effektkoncentrationen måles i laboratorier i henhold til standardiserede testprotokoller for de enkelte marine organisme-grupper (f.eks. fisk, krebsdyr, alger og muslinger). De marine organismer eksponeres for forskellige koncentrationer af natriumhypoklorit over en periode på flere dage og op til uger. Baseret på disse resultater beregnes NOEC. Denne værdi angiver koncentrationen som ikke forventes at medføre nogen form for effekt for den pågældende organisme. Typisk vil larvestadier og andre planktonorganismer være mest sårbare. Eksempelvis er NOEC for udviklingen hos østerslarver blevet målt til 0,007 mg/l ved en eksponering på 7 dage. Væksten hos visse zooplankton arter er vurderet til ikke at blive påvirket ved en koncentration under 0,002 mg/l. Væksten hos udvalgte fiskearter er blevet vurderet til ikke at blive påvirket ved koncentrationer under 0,04 mg/l ved en eksponeringsperiode på 28 dage og er således mindre sensitive (ECHA - European Chemicals Agency, 2025).

Spredningsmodellering af udledt biocid, som er præsenteret i kapitel 3, tager udgangspunkt i en restkoncentration på 1,5 mg/l natriumhypoklorit ved udledningspunktet til havet. Dette er en konservativ antagelse, da doseringen af natriumhypoklorit forventes at blive tilpasset for det enkelte anlæg for at minimere udledning af aktivt biocid. Natriumhypoklorit har en halveringstid i miljøet på få timer (SCHER, 2008) og i modelleringen er der anvendt en halveringstid på 2 timer. Som det fremgår af kapitel 3, er der modelleret udledningsscenarier på forskellige dybder og strømforhold. Resultaterne af de gennemsnitlige dybdemidlede biocidkoncentration i modelleringsperioden kan anvendes til at vurdere, om der er risiko for en eventuel toksikologisk påvirkning af marine organismer. De maksimale værdier, præsenteret i kapitel 3, opstår derimod kun i meget korte perioder, i meget afgrænsede lokaliteter og under mindre sandsynlige strømforhold og er derfor ikke egnede til en sådan vurdering.

Resultaterne viser at den gennemsnitlige dybdemidlede biocidkoncentration kun vil overstige 0,04 mg/l i umiddelbar nærhed af udledningspunktet for alle valgte scenarier. De maksimale værdier med størst udbredelse blev fundet ved spredningsmodellering i området med lavt vand og under stille vejrforhold og viste, at der kan opstå faner med koncentrationer af natriumhypoklorit på 0,002 mg/l op til 2 km fra udledningspunktet. Den tilsvarende koncentration i forbindelse med modellering på dybere vand og blæsende vejrforhold kan observeres op til ca. 1 km fra udledningspunktet. Indenfor disse afstande kan der, på baggrund af de førnævnte NOEC-værdier, potentielt kunne opstå påvirkninger af de meste følsomme marine organismer, dvs. larver og andre planktondyr. Det skal dog understreges, at det i denne rapport ikke er undersøgt, hvor længe de

marine organismer vil være udsat for disse koncentrationer, og om det er tilstrækkeligt til at resultere i en negativ påvirkning. Det kan dog udledes, at risikoen for en evt. påvirkning af marine organismer vil være forøget i områder med lavere dybde og strømforhold. Den egentlige effekt af biocid i kølvandsudledning vil afhænge af de stedspecifikke hydrauliske- og hydrokemiske parametre samt det marine økosystem i recipientområdet. De estimerede mulige påvirkningsafstande i denne rapport bør således ses som indikative.

Antiscaling kemikalie (Udfældningskontrol kemikalie)

For at kontrollere dannelsen af uorganiske belægninger i afsaltnings- og elektrolysemodulerne i brintanlægget, vurderes det at et antiscaling kemikalie kan komme i anvendelse. Som et eksempel, er set på kemikaliet Alpacon Altreat 400. Dette indeholder små mængder af copolymer, baseret på maleinsyre, som er effektivt til at holde salte opløste, hvorved udfældning forhindres. Antiscale kemikalie tilsættes kun den mindre vandmængde som går igennem elektrolyseanlægget i en koncentration af cirka 7,5 ppm. De skønnede anvendte mængder er listet i Tabel 4-10. Udledningen fra afsaltnings- og elektrolysemodulerne udledes sammen med kølevandet, og herved sker en fortynding på cirka 100 gange inden udledning. Påvirkningen vurderes umiddelbart at være ubetydelig, men den endelige vurdering kan først foretages når der er valgt proceskemikalier.

Tabel 4-10 Antiscale tilsætning ved afsaltnings- og elektrolysemodulerne i brintanlægget.

Anlægstype	Vandflow	Antiscale tilsætning
	m ³ /t	Kg/t
Brintmølle	3	0,02
Brintplatform	102	0,8

Anti-korrosive stoffer

På platforme og fundament vil det endvidere være nødvendigt med korrosionskontrol af metaldele, ofte i form af en offeranode af zink eller aluminium. Belastning med zink eller aluminium, dvs. korrosionshastigheden af anoden og spredningen med strømmen, kendes ikke, men baggrundskoncentrationen af zink i havet er væsentlig lavere end miljøkvalitetskravet (MKK), og for aluminium eksisterer der ikke et MKK. Påvirkningen vurderes umiddelbart som ubetydelig.

Andre miljøfarlige forurenende stoffer

PFAS / Teflon

PEMEC-membraner kan nedbrydes ved "membrane thinning", hvor teflonmembranen over tid bliver tyndere og huller evt. opstår. Mængden af fluorholdige membraner eller opløste forbindelser, der antages at blive udledt ved denne nedbrydning, er ikke velbeskrevet eller kvantificeret i litteraturen, men vil være relevant at undersøge yderligere for storskala applikation af PEMEC. I litteratur anføres dog at langt størstedelen af fluorpolymerer opfylder OECD's kriterier for at blive defineret som "problematiske polymerer" (PLC). De vurderes ikke at udgøre en risiko for menneskers sundhed eller miljøet, da de ikke opløses i eller forurener vand (Hydrogen Europe, 2023).

Andre organiske forbindelser

Afhængigt af PtX-teknologien vil der kunne forekomme andre udledninger som metanol, kulbrinter og andre organiske biprodukter.

Procesvand i forbindelse med metanolproduktion kan indeholde op til 15 ppm metanol. Metanol er et let omsætteligt organisk stof, der ikke er giftigt i de udledte koncentrationer, men det repræsenterer et potentielt iltforbrug (BOD) ved bakteriel nedbrydning i recipienten på 1½ gange egen vægt, dvs. 23 ppm ilt. Iltindholdet i marint overfladevand er i størrelsesordenen 8-10 ppm. Mængden af procesvand er lavt (30 m³/h) og ved opblanding med kølevandet (18.000 m³/h) sker der en fortynding på 600 gange, og iltforbruget er dermed ubetydeligt allerede ved udledning til recipienten.

4.3.7.3 Minimerende tiltag

I forbindelse med PtX-anlæg vurderes biocidet hypoklorit, som det mest problematiske kemikalie. Klorbaserede biocider anvendes udbredt, men der bør løbende være fokus på at finde alternative metoder til at håndtere procesvandet. F.eks. kan UV og ozon være alternativer. Brugen af hypoklorit kan endvidere optimeres således der kun tilsættes den absolut påkrævede mængde, denne metode kaldes break-point klorering, hvor klorrestindholdet måles kontinuert og dosering justeres løbende, hvilket minimerer indholdet af overskudskemikalier.

Problematikker i forbindelse med brugen af PEMEC/PEM-membraner "membrane thinning" i brint-anlæggene er et emne som skal følges og undersøges løbende i forbindelse med etablering af PtX-anlæg. Baseret på det nuværende vidensgrundlag er der ikke påvist væsentlige miljøproblemer ved brugen af disse membranteknologier.

Ved brug af de rette antikorrosive materialer i de vandførende systemer i PtX-anlæggene, vil der ikke være behov for tilsætning af kemikalier som inhiberer korrosion.

4.3.7.4 Usikkerheder

PtX-teknologier er under stadig udvikling og brugen af kemikalier og mulige udslip af MFS'er er dermed usikre. Da udrulning af PtX på havet i Danmark formentlig ligger +10 år ude i fremtiden kan teknologisk udvikling potentielt muliggøre en reduktion i behovet for forskellige MFS'er eller forbedre rensning, hvormed de udledte koncentrationer vil blive tilsvarende reduceret.

4.3.8 **Udledning af opvarmet vand**

Ved drift af PtX-anlæg vil der være behov for køling af blandt andet elektrolyseprocessen som beskrevet i kapitel 2. Dette medfører, at der forventes at skulle udledes opvarmet kølevand fra en række af de beskrevne udbygningskoncepter i kapitel 2. Det opvarmede kølevand antages at have en temperaturstigning på 12 °C ved udledningspunktet til det omkring havmiljø i forhold til det indtagne vand. Udledningen sker til det omgivende havmiljø ved en forventet dybde på 10 meter under havoverfladen og tæt på produktionsanlægget, som beskrevet i kapitel 2.

Temperatur og ændringer i temperatur er afgørende for marine økosystemer, da det er tæt knyttet til vandets iltindhold og arters fysiologi. Mange marine arter har snævre temperaturlimitationsgrænser, og ændringer i temperatur kan påvirke deres stofskifte, reproduktion, udbredelse, og overlevelse. Temperaturændringer kan dermed forårsage forskydninger i fødekæder og ændringer i økosystemernes sammensætning og funktioner, herunder tillade spredning og etablering af invasive arter, der måtte foretrække varmere vand end de naturlige forhold. De relevante recipienter er plankton, bundflora og fauna, og fisk. Fugle og havpattedyr kan blive indirekte påvirket ved ændringer i fødegrundlag, dog vil påvirkningerne sandsynligvis være meget begrænsede og behandles ikke yderligere i afsnittet.

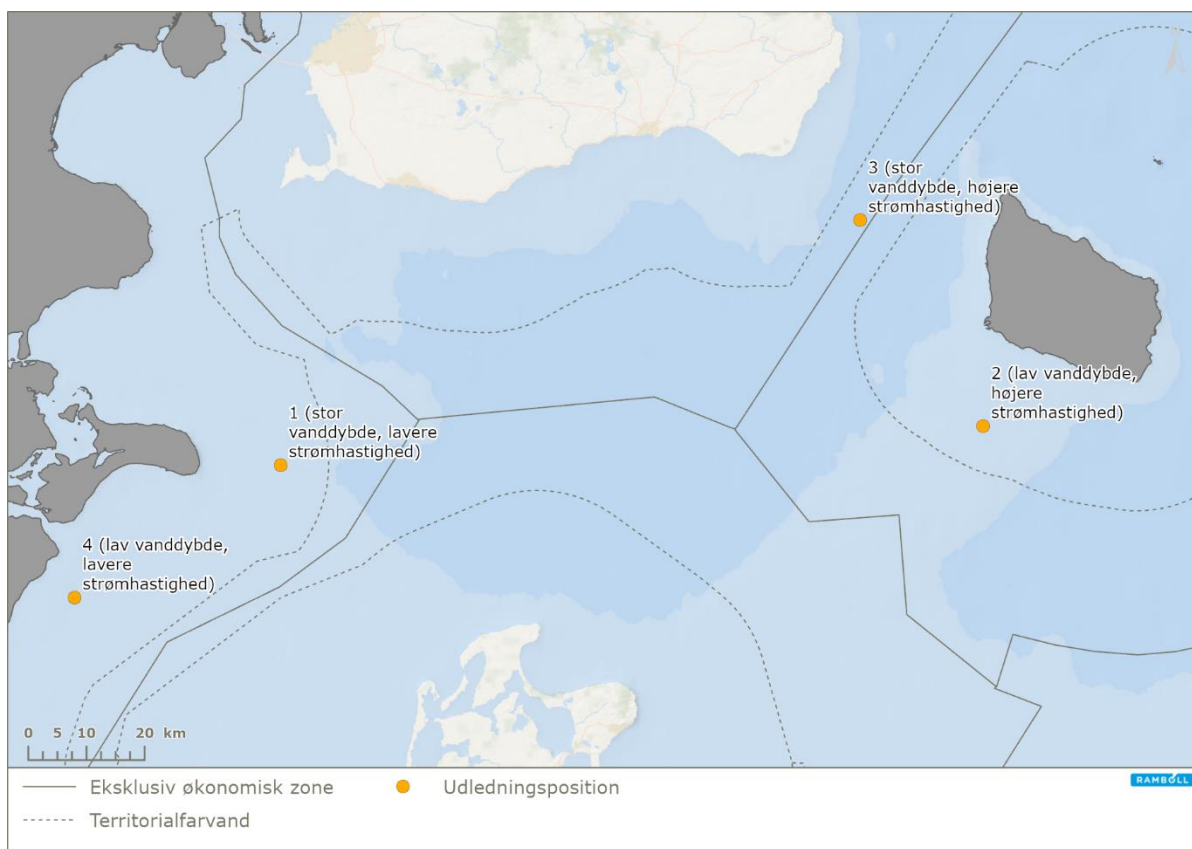
Potentiel termisk påvirkning af kystvande i forhold til vandrammedirektivet behandles under afsnit 4.3.12.

De forventede udledningsmængder og temperaturer af opvarmet kølevand er beskrevet i detaljer i kapitel 3, og er opsummeret herunder i Tabel 4-11.

Tabel 4-11 Udledning af opvarmet kølevand.

Anlægstyper	Udledt vand (m ³ /t)	Udledningstemperatur
Brintmølle	300	Der forventes en ΔT fra indtag til udløb på cirka 12 °C, dvs. ved en almindelig havtemperatur på 10 °C vil resultere i en udlednings-temperatur på 22 °C.
Brintplatform	10.000	
Ammoniak + brint	19.000	
Metanol + brint	18.000	
Jetfuel + brint	18.000	

I kapitel 3 er der gennemført fire modelleringsscenarier for udledning af opvarmet kølevand. Scenarierne dækker varierende dybde- og strømforhold ved fire udledningspositioner på det danske havareal i Østersøen, se Figur 4-1. Eksempler på udledningspositioner skal ikke forveksles med egentlige positioner for PtX-anlæg, idet der ikke er vurderet på konkrete PtX-anlægslokaliteter. Udledningspositionerne udgør derimod, som tidligere nævnt, eksempler, der i et vist omfang kan repræsentere de indledende estimer på realistiske temperaturændringer, men ikke nødvendigvis øvre estimer, ved udledning af kølevand i et område med sammenlignelige dybde- og strømforhold. Udledningen fra et PtX-anlæg vil være specifik for det konkrete anlæg. Til nærværende modelleringer er der taget udgangspunkt i én defineret udledningsmængde og -temperatur, hvor til der dog må forventes variationer, når de endelige specifikationer for eventuelle konkrete PtX-anlæg kendes. På samme vis tages der udgangspunkt i specifikke hydrodynamiske scenarier, som udgør eksempler på variationer i bl.a. de lokale strømforhold, strømforhold men ikke er udtømmende eller ekstreme ift. spredningen af det udledte kølevand.



Figur 4-1 Kort over udledningspositioner

Modeldetaljer, forudsætninger og -resultater er beskrevet i detaljer i kapitel 3. Herunder beskrives de modelresultater for de fire udledningspositioner, der er relevante for en potentiel påvirkning af det marine miljø. Resultaterne indikerer den relative temperaturændring af havvandet under drift af et PtX-anlæg. Resultaterne præsenteres som hhv. maksimale, middel og tidlige temperaturændringer i åbent vand. Maks.- og middel temperaturændringer i simuleringsperioden viser hhv. den maksimalt simulerede temperaturændring gennem simuleringsperioden i hvert enkelt beregningselement og den gennemsnitlige temperaturændring gennem simuleringsperioden. Tidlige temperaturændringer er målt i op til fem målepunkter i modellen (t1-t5) med stigende afstand til udledningspunktet.

Udledning af opvarmet kølevand kan påvirke havmiljøet på to måder:

- Kortvarige og afgrænsede faner af opvarmet vand, der overskrider organismers termotolerancer, nærmest som et akut "varme-chok".
- Længerevarende opvarmning af en stående vandmasse.

Begge forhold kan gøre sig gældende for både de fri vandmasser i den åbne vandsøjle og i vandmassen ved bunden.

I resultaterne differentieres der mellem de maksimale og de gennemsnitlige temperaturstigninger observeret i et givent område hen over den modellerede periode på 14 dage. Begge forhold har en rumlig udbredelse og er desuden også beskrevet ud fra deres frekvens og tidlige variation, hvis muligt.

Modelresultaterne viser generelt, at temperaturstigningerne er relativt små og begrænset til et lokalt område omkring udledningspunktet upåagtet udledningsscenariet, og der ses kun korte og afgrænsede indslag af temperaturstigninger over cirka 1 °C. Temperaturstigningerne er som forventet omvendt korreleret med afstanden til udledningspunktet og falder kraftigt med stigende afstand til udledningspunktet. Dette gælder både maksimale og gennemsnitlige temperaturstigninger.

Modelresultaterne viser også, at lokale strømforhold kan have stor betydning for spredningen af det udledte opvarmede vand. Dette ses tydeligst ved scenarie 4 sammenlignet med de andre scenarier. Scenarie 4 er præget af kystparallelle strømme, hvormed spredningsfanen for det opvarmede vand også følger en mere udstrakt fordeling, hvorimod de andre scenarier viser en mere centreret spredning i flere forskellige retninger omkring udledningspunktet. De store forskelle i spredningsmønstre mellem scenarierne fremhæver vigtigheden af at gennemføre projektspecifikke beregninger og spredningsmodeller i forbindelse med konkrete PtX-anlæg på det danske havareal.

De største temperaturstigninger for de fire udledningsscenarier ligger på mellem 2,3 °C (udledningsposition 3) og 4,6 °C (udledningsposition 2). De største stigninger i temperatur er alle af pulserende karakter, hvor indslagene af maksimale (eller nær-maksimale) stigninger kun forekommer kortvarigt (relativt få timer) og kun få gange (cirka 1-6 gange) i løbet af den 14-dage lange modelperiode. Disse afgrænsede og kortvarige faner af relativt varmt vand ses kun inden for et meget lokalt område tæt på udledningspunktet, se f.eks. Figur 3-13 og oversigt i Tabel 4-12. De maksimale temperaturstigninger ses udelukkende ved målepunkterne t1, der alle ligger i en afstand på 50 meter fra udledningspunktet. Allerede ved t2 på 100 meter er de modellerede maksimale temperaturer faldet betydeligt og ligger mellem 1,5 til 2 °C med yderligere faldende temperaturstigninger ud til t3-t5, som ligger mellem 200 og 3.000 meter fra udledningspunktet. Ved t5 er de observerede maksimale temperaturer på 1 °C eller under.

Tabel 4-12 Afstande (meter) fra udledningspunkt for maksimale temperaturstigninger (°C) for udledningspositioner 1 til 4.

Udledningsposition	Målepunkt	T1	T2	T3	T4	T5
1	Afstand til udledningspunkt (meter)	50	100	200	500	-
	Maksimal temperaturstigning (°C)	2,6	1,5	0,8	0,4	
2	Afstand til udledningspunkt (meter)	50	100	300	750	3.000
	Maksimal temperaturstigning (°C)	4,6	1,5	1,5	1,2	0,7
3	Afstand til udledningspunkt (meter)	50	100	200	300	-
	Maksimal temperaturstigning (°C)	2,3	1,3	0,8	0,6	
4	Afstand til udledningspunkt (meter)	50	100	500	1.000	3.000
	Maksimal temperaturstigning (°C)	3,4	2,0	1,0	0,5	1,0

De gennemsnitlige temperaturstigninger kan karakteriseres ud fra to forhold: den observerede maksimale gennemsnitsstigning og midlet af gennemsnitsstigningerne. Den observerede maksimale temperatur er aflæst fra Figur 3-11, Figur 3-15, Figur 3-19, Figur 3-23 og midlet af gennemsnitsstigningerne er estimeret ud fra Figur 3-13, Figur 3-17, Figur 3-21 og Figur 3-25.

De maksimale gennemsnitlige temperaturstigninger ses ved udledningsposition 1 og 4, hvor stigningerne vil være mellem 0,75 og 1,5 °C. For de resterende udledningspositioner ligger de maksimale gennemsnitlige temperaturer under 0,4 °C. De maksimale gennemsnitstemperaturer observeres udelukkende relativt tæt på udledningspunktet, og for samtlige udledningspositioner gælder

det, at de maksimale gennemsnitstemperaturstigninger ses mellem 50 og 100 meter fra udledningspunktet. Ved afstande større end 100 meter falder de observerede maksimale gennemsnitsstigninger i temperatur betydeligt.

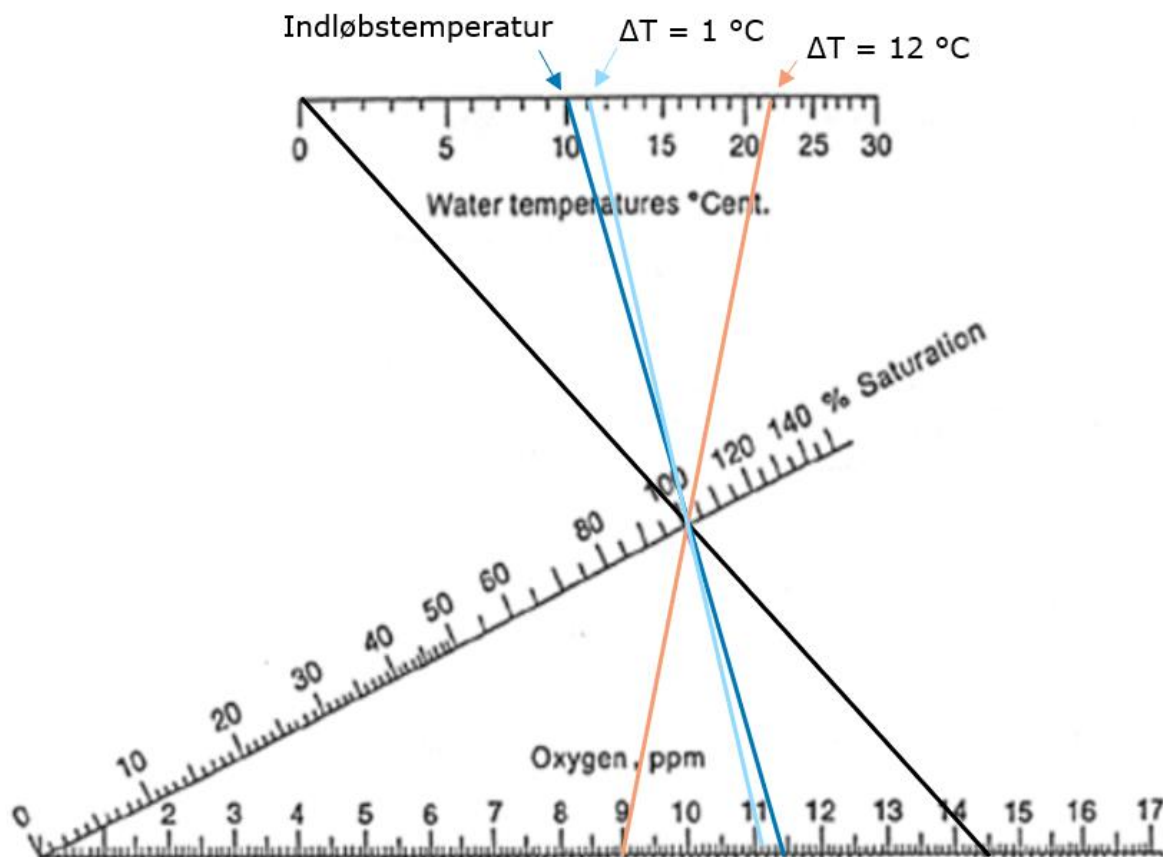
De rumlige fordelinger af de maksimale gennemsnitsstigninger i temperatur vist i Figur 3-11, Figur 3-15, Figur 3-19, Figur 3-23 udtrykker ikke en permanent opvarmning af vandmassen til den givne maksimale gennemsnitstemperatur, men snarere den maksimale gennemsnitstemperaturstigning hen over modelperioden på 14 dage. Frekvensen og omfanget af disse maksimale gennemsnitsstigninger varierer mellem hvert udledningsscenarie. Grundet skift i strømretninger og strømstyrke vil et givent vandområde sandsynligvis ikke opleve en konstant temperaturstigning. Ved ingen af de fire modellerede udledningsscenarier er der observeret sammenhængende perioder på 14 dages varighed, hvor der konstant er en opvarmning af en given vandmasse ved målepunktet 1, som i alle scenarier ligger i 50 meter afstand fra udledningspunktet. Ved rolige strømforhold ses der dog en tendens til, at der kan være en gennemsnitlig og vedvarende opvarmning af et meget lokalt område omkring udledningspunktet i en afstand på cirka 100 meter på få dage (1-4 dage).

Tabel 4-13 Observeret maksimale gennemsnitsstigninger udtrykt i $\Delta^\circ\text{C}$.

Udlednings-position	Observeret maksimale gennemsnitsstigning
1	0,75 - 1,0
2	0,20 - 0,30
3	0,30 - 0,40
4	1,0-1,5

Idet det udledte kølevand vil have en lavere densitet end det omliggende havvand, vil det søge mod overfladen, som udgangspunkt. En temperaturforøgelse på $\Delta t = +12^\circ\text{C}$ for kølevandet vil medføre en teoretisk reduktion i densiteten på cirka -0,22%. Selvom modellen ikke forholder sig til udstrømningshastighed- og retning ved udledningspunktet, vurderes det usandsynligt, dog ikke umuligt, at, der for nogle lokaliteter og under bestemte strøm- og dybdeforhold, kan forekomme perioder, hvor det udledte opvarmede vand vil have kontakt med havbunden, hvor det kan påvirke bundhabitat- og økosystemer. Det vil dog alt andet lige være den koldere og tungere del af det udledte vand som måtte få bundkontakt. Der kan ikke siges noget om frekvensen eller varigheden af disse bundkontakter, dog vurderes det, at de vil være kortvarige og kun påvirke et meget lille lokalt areal på havbunden tæt ved udledningspunktet. Det må dog også antages, at hyp-pighed og arealpåvirkning kan stige, hvis f.eks. udledningspunkt placeres tættere på havbunden.

Som det fremgår af ovenstående beskrivelse af potentielle temperaturændringer ved udledning af opvarmet kølevand, er der tale om meget begrænsede, kortvarige ændringer, hvilket medfører, at potentielle ændringer i iltforhold i nærområdet omkring udledningspunktet tilsvarende vil være meget begrænsede. I Figur 4-2 er der vist en kendt grafisk og statisk metode til beskrivelse af sammenhængen mellem temperatur, iltmætning og iltindhold. Iltmætningen i havvand ved 0°C og 1013 hPa er cirka 14,6 mg O_2/l . Ved en indløbstemperatur på 10°C er iltmætningen er cirka 11,4 mg O_2/l .



Figur 4-2 Statistisk metode til bestemmelse af iltkoncentration ved forskellige temperaturer og mætningsgrader. På figuren er der indtegnet sammenhængen mellem 100 % mætning og temperaturer på 0 °C, 10 °C, 11 °C og 22 °C.

4.3.8.1 Hydrografi og vandkvalitet

Ændringer i havtemperatur kan ændre vandets potentielle iltindhold. Ingen af modelscenarierne viser en længere (op til 14 dage) sammenhængende periode, hvor vandmassen opvarmes permanent. Dog ses der korte sammenhængende perioder på få dage, hvor gennemsnitstemperaturen kan stige med op til cirka 0,5 til 1 °C i udledningsposition 4 inden for 100 meter fra udledningspunktet.

Ved en temperaturstigning på 1 °C ved 100 % mætning vil iltkoncentrationen falde til cirka 11,1 mg O₂/l, se Figur 4-2, sammenlignet med en iltkoncentration på cirka 11,4 mg O₂/l ved 10 °C. Højere temperaturstigninger end 1 °C ses kun kortvarigt (relativt få timer over en 14 dage periode) og i begrænsede perioder ved alle udledningsscenarier. De afledte reduktioner i iltmætning vil dermed også tilsvarende være kortvarige og begrænsede. Ved lavere mætninger falder iltindholdet. I de danske farvande vil der med stor sandsynlighed være en relativt høj mætning i overfladevandet i sommerperioden grundet primærproduktion, mens der under den fotiske zone godt kan være en lavere mætningsgrad. Da det varmere udledte vand vil søge mod toppen af vandsøjlen grundet lavere densitet, vil en potentiel påvirkning af iltindhold være ved netop havoverfladen. Iltindholdet påvirkes ikke direkte af temperaturstigningen, men stigningen kan øge omsætningen og dermed iltforbruget samtidig med at den dog også kan stimulere fytoplanktonvæksten og dermed iltproduktionen. Modellens opbygning og opløsning tillader ikke for konklusioner om så specifikke biologiske processer, men da resultaterne for de gennemsnitlige temperatursvingningerne viser meget små variationer, vil ændringer i iltkoncentrationen i vandet derfor også være

meget begrænsede og ubetydelige, og sandsynligvis i langt højere grad blive styret af strøm og omrøring. Den samlede effekt er formodentlig meget tæt på nul grundet de små og kortvarige ændringer i temperatur.

4.3.8.2 Plankton

Havenes pelagiske miljø (de frie vandmasser) indeholder et enormt antal mikroskopiske organismer, kaldet plankton. Sammensætningen af planktonarter og individer i planktonsamfundene bestemmes i vid udstrækning af vandmassernes bevægelse, næringsstofniveauer, lys og temperatur. Udledning af opvarmet kølevand kan derfor have betydning for planktonsamfundet. Som vist vil de forventede temperaturændringer være meget begrænsede og kortvarige. Udledte opvarmede vandmasser vil være flygtige og hurtigt blive spredt og fortyndet grundet strøm og omrøring. Der vil således ikke være en stående vandmasse af opvarmet vand i længerevarende perioder, som det kan ses ved udledninger i mere lukkede vandområder, såsom i en fjord. Selvom planktonsamfund hurtigt kan respondere på ændringer i temperaturer, vil der altså ikke være forhold, der kan medføre ændringer i artssammensætning og metaboliske tilpasninger. Kun i meget kortvarige perioder på få dage er der modelleret udledninger af opvarmet vand, der vil medføre stigninger i temperaturer. Udledningen af opvarmet kølevand vil derfor sandsynligvis have meget lille eller ingen betydning for planktonsamfundet.

Planktoniske larver og æg fra invasive arter og potentielt invasive arter kan udgøre et økologisk og socio-økonomisk problem i marine miljøer (Hyytiäinen et al., 2013), hvis ændrede temperaturforhold tillader larvefældning og kolonisering på faste strukturer eller tilstedeværelse i de åbne vandmasser. Dette fænomen ses på større skala i forhold til varmere havtemperaturer som følge af klimaforandringer (Pyšek et al., 2020). Udledning af opvarmet kølevand kan derfor være medvirkende til spredning af invasive arter, hvis larver og æg kan finde passende temperaturer som følge af udledningen omkring udledningspunktet. Effekten af dette er også kendt som "stepping stone"-effekt, da de enkelte udledningspunkter og strukturer kan udgøre trædesten for yderligere etablering og spredning af invasive arter (de Oliveira Soares et al., 2020; Hyytiäinen et al., 2013). Modelresultaterne viser, at der i et enkelt scenarie med lave strømhastigheder kan være et mindre område omkring udledningspunkt, hvor kan opstå en permanent opvarmning af vandmasserne på cirka 1 °C sammenlignet med det omkringliggende vand i perioder af varighed på få dage. Opvarmningen vil dog kun ske i et meget begrænset område på formentlig 50-100 meter omkring udledningspunktet. Temperaturforhold er kun én ud af mange faktorer, der ligger til grund for en succesfuld kolonisering for invasive arter. Substratforhold, hydrografiske betingelser og artssammensætningen i det pågældende økosystem er relevante faktorer ved en invasiv arts potentielle kolonisering i et område. Grundet disse forhold og det meget geografisk afgrænsede område med potentiel opvarmning vurderes det, at sandsynligheden for potentiel stepping stone-effekt ved udledning af opvarmet kølevand er lille. Det er dog værd at bemærke, at potentiel spredning af invasive arter på menneskeskabte strukturer, såsom platforme og møllefundamenter, er et forskningsfelt som oplever øget opmærksomhed og interesse. Det anbefales derfor at undersøge dette nærmere ved udbygning af PtX på havet i Danmark.

4.3.8.3 Bundflora og fauna

Sammensætningen af bundflora og faunaarter er tæt knyttet til de temperaturforhold, der hersker på havbunden. Temperatur påvirker en række vigtige processer hos bundflora og fauna, og ændringer i havtemperaturen kan derfor have konsekvenser for det benthiske økosystem. Når temperaturen stiger, kan det øge stofskiftet hos benthiske dyr, hvilket kræver mere ilt og energi. Samtidig reducerer varmt vand mætningspotentialet i vandet for ilt, hvormed der kan ske reduktioner i iltindholdet. Nogle arter kan fortrænges fra deres oprindelige levesteder, hvis temperaturerne overstiger deres tolerancetærskel, mens andre, som invasive arter, kan trives og potentielt over-

tage området. Påvirkninger fra øget vandtemperatur er typisk lave iltholdigheder hvilket er en begrænsende faktor for levende organismer (Walkuska & Wilczek, 2010). Dog ses denne påvirkning typisk i søer og mindre vandmasser hvor der ikke er samme strøm- og opblandingsforhold som i havet.

I forbindelse med PtX-anlæg vil opvarmet kølevand udledes i cirka 10 meters dybde. Da PtX-anlæg forventes at placeres på over 17 meters dybde, vil udledningspunktet altså ikke være nær havbunden. Mens den anvendte model ikke tillader fortolkning af resultaterne for forskellige dybder, er der flere forhold, der medvirker til at en påvirkning af bundflora og fauna vil være begrænset. Det opvarmede vand vil have lavere densitet end det omliggende havvand og vil stige mod havoverfladen, hvormed risikoen for bundkontakt reduceres. De præsenterede temperaturer for de fire udledningspositioner i kapitel 3 udtrykker dybdemidlede temperaturstigninger. Den del af det udledte vand, der potentielt kan få bundkontakt vil udgøre den tungere koldere fraktion, og temperaturstigningen for benthiske økosystemer vil derfor være lavere end de præsenterede dybdemidlede temperaturstigninger, som svinger mellem 0 og 4,6 °C jf. Tabel 4-12. Samtidigt viser modelresultaterne, at der sker et stort varmetab og stor opblanding i umiddelbar nærhed af udledningspunktet, og inden for 50-100 meter mindskes temperaturstigningen betydeligt og allerede ved 100 meter fra udledningspunktet er de maksimale temperaturer på under 2,0 °C.

De gennemsnitlige temperaturstigninger ligger på omkring 0,2 – 1,5 °C, og der er for samtlige udledningspositioner modelleret perioder, hvor resultaterne viser, at ved 50 meter fra udledningspunktet vil der ikke være observerbare temperaturstigninger.

I tilfælde af at udledningensvand får havbundskontakt, vil det føre til en marginal temperaturøgning i nærområdet. Dette forventes dog ikke at forekomme ofte, og vil kun være en midlertidig kortvarig påvirkning, der konservativt medfører en maksimal temperaturstigning under 2,0 °C i et relativt lokalt område mellem 50 til 100 meter fra udledningspunktet. Gennemsnitlige temperaturstigninger ligger betydeligt lavere end 2,0 °C, og udledning af opvarmet kølevand som følge af drift af platforme eller andre isolerede strukturer i forbindelse med PtX forventes derfor kun at have begrænsede eller ingen konsekvenser for bundflora og fauna. Med stigende vanddybder og afstand mellem udledningspunktet og havbunden vil risikoen for bundkontakt mindskes, hvormed påvirkningen af bundflora og fauna også reduceres.

Ved udledninger af opvarmet vand tættere på havbunden og i mere rolige farvande med mindre omrøring og opblanding kan risikoen for bundkontakt øges. Både med hensyn til stigningen i temperatur, men også potentielt i hyppighed og varighed. Ved hyppig bundkontakt af udledningensvand kan der ske ændringer i det benthiske samfund. Koldvandsarter, som østersømusling (*Macoma baltica*), vil potentielt klare sig dårligt og reduceres i antal eller forsvinde fra området (Neuman & Andersson, 1990). Dog kan nogle arter tilpasse sig nye temperaturforhold (Walkuska & Wilczek, 2010). I tilfælde af temperaturstigninger nær havbunden og ændrede benthiske samfund, vil ændringen i yderste tilfælde være permanent, da opvarmet kølevand kontinuerligt vil udledes i et PtX-anlægs levetid.

4.3.8.4 Fisk

Udledning af opvarmet kølevand kan medføre en øget metabolisme, respiration, aktivitet og fødeoptag hos fisk (Neuman & Andersson, 1990; Walkuska & Wilczek, 2010). Opvarmet kølevand kan ligeledes tiltrække varmtvandsarter (bl.a. arter af multe og ål) og derved ændre artssammensætningen i det påvirkede område (Krog & Carl, 2019; Neuman & Andersson, 1990). Opvarmet kølevand kan medføre en øget mortalitet blandt tilstedeværende æg og yngel og hindre reproduktion i det påvirkede område (Neuman & Andersson, 1990). Temperaturstigningen kan resultere i en tidligere igangsættelse af reproduktionsperioden, og en acceleration af den efterfølgende vækst

(Neuman & Andersson, 1990; Walkuska & Wilczek, 2010). De fleste studier af ovenstående påvirkninger fra udledning af opvarmet kølevand dokumenterer niveauer der overstiger de modellerede resultater i nærværende rapport, hvor der nærmest udledningen er en maksimal gennemsnitsstigning på 1,5 °C. Som et eksempel er der i et svensk studie dokumenteret øget mortalitet hos æg og yngel af sild, samt infektion af ål, ved en temperaturstigning i mixzonen 4-5°C (Neuman & Andersson, 1990). Som beskrevet for plankton og bundflora og fauna vil de forventede temperaturudsving dog være yderst begrænsede og kortvarige og kun forekomme meget lokalt omkring udledningspunktet. Den maksimale gennemsnitlige temperaturstigning på tværs af modelresultater ligger på omkring 0,2-1,5 °C, mens gennemsnittet af de observerede temperaturer ligger på omkring 0,5 – 0,75 °C, og kun ved udledningsscenarier med lave strømhastigheder vil der være en meget begrænset og lokal opvarmning af en stående vandmasse omkring udledningspunktet, dog kun i korte perioder af få dage. Derfor forventes udledning af opvarmet kølevand som følge af drift af platforme eller andre isolerede strukturer i forbindelse med PtX-anlæg kun at få begrænsede eller ingen konsekvenser for fisk.

4.3.8.5 Fugle

Fuglene er ensvarme dyr der konstant holder en jævn kropstemperatur. Fugle der lever på havet, er tilpasset miljøet og har en isolerende fjerdragt, der gør at de kan holde på varmen selv hvis der er store udsving i temperaturen. Det er derfor ikke sandsynligt at fugle kan påvirkes direkte af udledning af opvarmet kølevand. Der kan være en indirekte påvirkning idet opvarmet vand kan tiltrække/fortrænge nogle arter som fuglene lever af. Det vil afhænge af hvilke fødeemner som fuglene opsøger på den gældende lokalitet og det er forskelligt fra art til art. Som nævnt i forrige afsnit kan reduceret fødetilgængelighed i et afgrænset område i en afgrænset periode i yderste konsekvens betyde reduktion af bestanden, men hvis områderne der tabes, er små i forhold til det samlede potentielle fødesøgningsareal kan fuglene uden problemer finde andre områder i nærheden som er lige så egnede som fødesøgningsområder. Samtidig forventes der ikke betydelige påvirkninger af hverken fisk eller bundflora og fauna ved PtX-anlæg, og derfor forventes udledning af opvarmet kølevand som følge af drift af platforme eller andre isolerede strukturer i forbindelse med PtX ikke at få konsekvenser for havfugle.

4.3.8.6 Havpattedyr

Havpattedyr er ensvarme dyr, der forsøger at holde en nogenlunde konstant kropstemperatur. Samtlige havpattedyr i danske farvande jager over store temperaturgradienter på tværs af dybder dagligt og vil således ikke påvirkes af små lokale temperatursvingninger fra udledning af opvarmet kølevand. Som beskrevet for fugle ovenfor kan der dog være en indirekte påvirkning idet opvarmet vand kan tiltrække/fortrænge nogle arter som havpattedyr lever af. Havpattedyr i danske farvande har en diæt bestående hovedsageligt af fisk. Da der ikke forventes nogen betydelige påvirkninger af fisk som følge af udledning af opvarmet kølevand, forventes der ikke betydelige konsekvenser for havpattedyr i forbindelse med PtX og udledning af opvarmet kølevand.

4.3.8.7 Minimerende tiltag

Udledning af opvarmet kølevand er modelleret under fire forskellige udledningsscenarier. Modelresultater fra alle fire scenarier viser, at temperaturændringer i det omliggende marine miljø vil være kortvarige og begrænsede. Dermed vil de afledte potentielle miljøpåvirkninger også være begrænsede. Dog kan der ved lavere udledningsdybder med mindre afstand til havbunden eller i marine miljøer med lav vandgennemstrømning og opblanding være øget risiko for bundkontakt eller perioder med stående opvarmning af vandsøjlen omkring udledningspunktet. Risikoen for påvirkning af det marine miljø kan afværges gennem en række tiltag. Hvis udledningstemperaturen sænkes gennem øget køling i anlægget, vil temperaturstigningen reduceres sammenligneligt ved udledningspunkt, hvormed påvirkningen af det marine miljø reduceres yderligere. Desuden vil udledningens volumen per udledningspunkt reduceres, hvis der vælges en løsning, hvor der er flere

separate udledningspunkter med en vis afstand, og risiko for potentiel bundkontakt kan reduceres ved at ændre udledningsvinklen i forhold til havbunden.

4.3.8.8 Usikkerheder

Spredning af udledt opvarmet kølevand er baseret på en række modelscenarier. Modelscenarierne dækker forskellige vanddybder og strømforhold på fire specifikke geografiske punkter, og mens man kan tillade sig en vis grad af ekstrapolering af resultaterne til andre havområder med lignende forhold for dybde og strøm, kan resultaterne ikke overføres én til én. Eksakte spredningsforhold kan variere betydeligt mellem forskellige dybde- og strømforhold. En generalisering af modelresultaterne til det større danske havareal er derfor påhæftet en vis grad af usikkerhed. Modelresultaterne udtrykker temperaturstigninger over dybdemidlet, hvormed der ikke kan beskrives eller analyseres påvirkningen ved forskellige dybder af vandsøjlen. Disse usikkerheder kan reduceres ved at gennemføre projektspecifikke modelleringer ved en kommende udbygning af PtX på havet med inddragelse af for eksempel lagdeling og større opløsning over dybden.

4.3.9 **Udledning af restvand med forhøjet salinitet**

Ved brintproduktion skal der bruges en mængde rent vand, hvormed der vil være en stigning i koncentration af salte i det udledte produktionsvand sammenlignet med indtagsvandet, se også afsnit 4.3.7. Mængden af vand, der går til elektrolyse udgør omtrent 1 % af det samlede udledte vand og er opblandet med kølevandet med udledningspunktet. Stigningen i salinitet i udledningsvandet er omtrent 1 %. Se kapitel 3 for flere detaljer og beregning af stigning i salinitet og følgende densitetsændringer. Med en forventet øjeblikkelig og stor opblanding i vandsøjlen vil en potentiel påvirkning af det marine miljø sandsynligvis være ubetydelig. Udledning af produktionsvand med forhøjet salinitet beskrives derfor ikke yderligere i analysen.

4.3.10 **Udledning af dødt organisk materiale i kølevand**

Den fysiske belastning ved kølevandets passage gennem pumper og kondensatorer vil sammen med temperaturstigningen og tilsætning af biocider slå hovedparten af det indeholdte fyto- og zooplankton ihjel. Samtidig kan der potentielt ske en udledning af organisk materiale fra mekanisk forbehandling af vand til elektrolyseprocessen med fokus på at fjerne partikulært, ofte organisk, materiale. Kølevandets indhold af organisk materiale vil ved udledning være tilsvarende indholdet af organisk materiale ved indtaget, og den eneste forskel vil udelukkende være om hvorvidt materialet vil bestå af levende organismer eller dødt materiale. Ved elektrolyseprocessen vil der blive fjernet en fraktion af rent vand til selve brintproduktionen, hvormed mængden af organisk materiale stiger en smule i denne del af det udledte vand. Restvandet fra elektrolyseprocessen udgør dog cirka 0,5 % af det totale udledte vand i kølevandsudledningen (kølevand + restvand fra elektrolyseprocessen) og forøgelsen af organisk materiale i restvandet fra elektrolyseprocessen vil derfor kun medføre en ubetydelig stigning i koncentration af organisk materiale i det omliggende miljø. I tilfælde af potentielt væsentlige påvirkninger kan bortskafning af slamfraktionen til land anvendes som afværgetiltag.

Omsætningen af det døde organiske materiale giver anledning til et mer-iltforbrug, der dog formentlig er væsentlig mindre end den påvirkede vandmasses iltindhold ved mætning. Omsætningen af det organiske stof og dermed iltforbruget manifesterer sig ikke øjeblikkeligt, men først efter timer til dage efter udledningen af kølevandet, dvs. fortyndingen vil være betydelig, og effekten vurderes derfor som ganske ubetydelig.

Ved udledning af dødt organisk materiale til vandsøjlen kan der være risiko for at en fraktion af materialet vil sedimentere ud og lande på havbunden, hvor de kan give anledning til et lokalt

mer-iltforbrug, der kan påvirke de fysiske og kemiske forhold for bundlevende flora og fauna. Mængden af udledt organisk materiale vil stort set være tilsvarende mængden i indtagsvandet, og grundet omrøring og spredning før eventuel bundfældning vil en stigning i koncentration af organisk materiale i sedimentet sandsynligvis være relativ lille og kun i et lokalt område omkring udledningspunktet. Omfanget af påvirkningen kan dog ikke kvantificeres mere præcist i denne analyse, da det i høj grad vil afhænge af de eksakte forhold for vanddybder og omrøring. Risikoen for påvirkningen af bundlevende flora og fauna vil formentlig være større i områder med lavt vand og lille vandudskiftning, hvor det døde organiske materiale hurtigere ville kunne sedimentere i et mere lokalt område. Ved et konkret projekt kan dette vurderes nærmere, hvormed det kan være nødvendigt med afværgetiltag rettet mod udledningsdybde og lokation eller afskaffelse af organisk materiale på anden vis.

4.3.11 Utsigtede hændelser

For at identificere større utilsigtede hændelser, der kan lede til udledninger til miljøet, er der blevet gennemført en workshop til identifikation af større utilsigtede hændelser, se endvidere afsnit 2.6. De væsentligste og mest sandsynlige hændelser fra et miljøperspektiv er opsummeret i tabel Tabel 4-14

Endvidere vil der ved anlæg som producerer jetfuel være risiko for spild af kulbrinter, som er en velbeskrevet risiko i forbindelse med olie- & gasproduktion. Desuden kan udslip af CO₂ være et scenarie i forbindelse med transport på skib og håndtering offshore. Dette kan medføre til en ikke ønskelig påvirkning af klimasystemet.

Tabel 4-14 Opsummering af væsentligste og mest sandsynlige utilsigtede hændelser.

Emne	Ammoniak (Platform)	Ammoniak (FPSO)	Metanol (FPSO)	Jetfuel (Platform)	Jetfuel (FPSO)
Oplag (Proces)	Min. 13.500 tons ammoniak lagret (kryogen). Udslip på grund af boil-off (cirka 10 tons/dag) som afgasses til atmosfæren.	Min. 13.500 tons ammoniak lagret (kryogen). Udslip på grund af boil-off (cirka 10 tons/dag) som afgasses til atmosfæren.	Metanoltank, udslip af metanol (cirka 12.000 tons) til havet. Lækage fra CO ₂ tank - potentielt udslip af 17.600 tons CO ₂ .	Revner i tank under platform, udslip af olie (cirka 5.500 tons) til havet.	Revner i olietank på FPSO, udslip af olie (cirka 5.500 tons) til havet.
Udstyrsrisiko	Skibskollision: Udslip af hele volumen af ammoniak min. 13.500 tons over lang tid.	Skibskollision: Udslip af hele volumen af ammoniak min. 13.500 tons over kort tid.	Skibskollision: Udslip af hele volumen af CO ₂ 17.600 tons. Udslip af metanol (cirka 12.000 tons) til havet.	Lækage fra CO ₂ tank - potentielt udslip af 16.900 tons CO ₂ .	Lækage fra CO ₂ tank - potentielt udslip af 16.900 tons CO ₂ .
Generel påvirkning	Langsom udsivning til vandfasen i dybden vurderes at medfører lokale påvirkninger	Et hurtigt udslip ved overfladen vil være dødeligt for fugle og marine indenfor spildzonen	Metanol: Giftig for organismer i nærhed af spild CO ₂ : Klimapåvirkning i moderat omfang	Olie: Kræver tiltag som ved spild fra olie- og gasanlæg. CO ₂ : Klimapåvirkning i moderat omfang.	Olie: Kræver tiltag som ved spild fra olie- og gasanlæg. CO ₂ : Klimapåvirkning i moderat omfang.

4.3.11.1 Udslip af brint

Der er ikke fundet et scenarie med udslip af brint som medfører væsentlige miljøpåvirkninger. Mindre diffuse udslip må forventes af denne lille og svært håndterbare gasart. Brint (H_2) har meget lav densitet og er dermed lettere end den omkringliggende luft, hvorfor den stiger hurtigt til vejrs. Udslip af brint er dog ikke ønskeligt pga. eksplosionsrisiko og endvidere er brint en klimagas, som har en drivhuseffekt som er 12 gange større end for CO_2 (Phys.org, 2023). For miljøet skal lækager af brint derfor minimeres.

4.3.11.2 Udslip af ammoniak

Væsentlige udledningsscenarier

I forbindelse med evalueringen af mulige utilsigtede hændelser blev det vurderet at det mest problematiske uheld med ammoniak var et udslip fra en FPSO pga. kollision med andet skib, se Tabel 4-15.

Tabel 4-15 Mulige scenarier for et stort ammoniakspild.

Scenarier	Mængde udledt	Fordeling i miljøet
FPSO – Spil af lagret ammoniak pga. skibskollision	13.500 tons/få timer	Worst case opløses 80% i vandfasen $\sim 10.800 m^3$
Platform - Lækage i subsea tanksystem	13.500 tons over lang tid, forventes mitigeret delvist.	Størstedelen opløst i vand

Et spild i den ovennævnte størrelse vil, ud fra en generel betragtning, forventes at kunne ske en gang hvert 10.000 år (Norwegian Directorate for Civil Protection (DSB), 2019), som beskrevet i Fritt-Rasmussen, J. 2022. Den egentlige risiko vil være stærkt afhængig af de valgte tekniske løsninger for lagring af ammoniak samt placering af anlægget. Sandsynligheden for et spild af denne størrelse forventes dog under alle omstændigheder at være meget lav.

Egenskaber og mulige påvirkninger

Ved normale temperaturer og tryk er ammoniak (NH_3) en farveløs gas med en skarp lugt. Opbevaring og transport af ammoniak sker typisk på flydende form, enten afkølet og ved nær atmosfærisk tryk eller ved højt tryk og omgivelsestemperatur. Afkølingsmetoden er den foretrukne og forudsættes anvendt ved eventuelle fremtidige offshore tankanlæg.

Ammoniak er meget opløseligt i vand ($\sim 700 g/L$ ved $10^\circ C$) og reagerer hurtigt med både flydende vand og fugtighed i luften (HOME, 2024). Når den er opløst, dannes en ligevægt mellem ammoniak og ammonium-ionen (NH_3 og NH_4^+):



Fra et miljømæssigt perspektiv bruges udtrykket 'ammoniak' typisk til at beskrive summen af NH_3 og NH_4^+ . NH_3 er generelt 100 gange mere giftigt end NH_4^+ . Det skyldes at NH_3 passerer nemmere igennem cellemembraner, øger pH i cellerne og ødelægger deres funktion. Forhøjede NH_3 koncentrationer vil således typisk resultere i en akut toksisk effekt, hvorimod NH_4^+ vil kunne resultere i eutrofiering af marine økosystemer og dermed f.eks. iltsvind.

Fordelingen mellem de to former styres af vandets fysisk-kemiske egenskaber, primært: pH, temperatur og salinitet. I Nordsøen og de vurderede indre farvande ligger pH-værdien på cirka 8, dette fluktuerer med årstiderne og ligger generelt lidt lavere i de mere ferske indre farvande.

Uanset udgør mængden af NH_3 kun en mindre brøkdel af den samlede ammoniakkoncentration ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$). Generelt forventes NH_3 at udgøre nogle få procent af det totale ammoniakindhold ($\text{NH}_3 + \text{NH}_4^+$) (Water Quality Australia, 2000).

Flydende ammoniak er meget flygtig på grund af sin lave densitet (0,6 kg/l) og lave kogepunkt (-33°C). Når flydende ren ammoniak frigives til havet i store mængder, vil den reagere med vandet, hvorved en andel går i vandfasen, men samtidig vil noget den frigjorte NH_3 koge pga. temperaturstigningen og dermed fordampe som gasformig ammoniak (NH_3). Hvis den frigives ved vandoverflade, vil den dels spredes som gas eller opløst i vandfasen. I luften dannes tungere aerosoler af NH_4OH , som har en tendens til at bevæge sig ved jordoverfladen i stedet for hurtigt at stige op i atmosfæren, denne fraktion vil løbende opløses i vandfasen. Den relative mængde ammoniak, der opløses i vandet, er normalt mellem 50%-80% for overfladespild og noget højere for undervandsudslip. Spredning af ammoniak i luft- og vandfasen styres således af udslipspunktet og raterne for udslippet.

Potentielle eutrofieringseffekter

I marine økosystemer er biologisk tilgængeligt kvælstof ofte et begrænsende næringsstof. Udledninger af store mængder ammoniak kan medføre stærk forøget algevækst (eutrofiering) som efterfølgende nedbrydes og forårsager iltsvind på havbunden. Effekten på det marine økosystem som følge af et større spild vil være afhængigt af de hydrofiske og bathymetriske forhold, men vil må forventes at kunne påvirke hele økosystemet specielt i kystnære egne med begrænset vandudskiftning. Der findes kun få tilfælde af relativt store og pludselige udledninger af kvælstof fra punktkilder, som ville være tilsvarende et utilsigtet udslip af ammoniak i forbindelse med drift af PtX på havet. Dog kan der drages paralleller til udslippet af cirka 2.750 tons kvælstof til Lillebælt i 2016 fra en kollapsede gødningstank (DHI, 2018). DHI har i 2018 gennemført et modelleringsstudie af spredningen af det udledte kvælstof og potentielle direkte miljøeffekter i Lillebælt (DHI, 2018), hvor der konkluderes, at der ikke var længerevarende effekter på hverken klorofyl-a koncentrationen, lysdæmpningen eller iltkoncentrationen i havbunden. Der er i modellen observeret kortvarige signifikante effekter som følge af næringsstoffertilgængeligheden, men disse ses kun inden for få dage til et par måneder efter udslippet. DHI fremhæver selv i studiet, at resultaterne er påhæftet en vis grad af usikkerhed, som ved alle modelstudier, og der kan være tilfælde af underestimering i modelresultaterne. Dog vurderer DHI selv, at dette ikke har konsekvenser for de overordnede resultater og konklusioner. I et notat fra DCE fra 2016 (Markager et al., 2017) fremhæves det, at de potentielle miljøkonsekvenser skal observeres over en længere årrække, og der er indrapporteret anekdotiske beviser om usædvanlige miljømæssige forhold, såsom øget mængde makroalger, uklart vand, fraværet af normalt forekommende fisk, samt opblomstring af fytoplankton arter, som i en periode lukkede for muslingefiskeriet langs Østjyllands kyster. Samtidigt er der gennemført et studie i 2020 af de potentielle effekter på algeopblomstringer af udslippet af kvælstof (Olesen et al., 2020). Mens studiet ikke påviser en direkte årssammenhæng mellem udslippet, konkluderes det, at sammensætningen af arter i algesamfundet viste tegn på påvirkning fra udslippet af kvælstof. Der er derfor ikke entydige og klare konklusioner på de potentielle miljøpåvirkninger ved en akut og lokal udledning af en stor mængde kvælstof i de danske farvande. Både DHI og DCE fremhæver, at de lokale strømforhold i perioden omkring udledningstidspunktet potentielt har haft stor betydning for omfanget af de potentielle miljøpåvirkninger.

Ved et udslip på op mod 13.500 tons ammoniak, hvoraf kvælstof vil udgøre cirka 11.000 tons kan de potentielle miljøpåvirkninger være betragteligt mere betydelige end ved et udslip på cirka 2.750 tons som beskrevet for Lillebælt og svare til en betydelig del af den årlige samlede udledning af kvælstof til danske farvande, der ligger på cirka 56.000 tons fordelt over hele året og langs hele den danske kyststrækning. En yderligere kvalificering af de potentielle miljøpåvirknin-

ger skal ske gennem projektspecifik modellering og vurdering i forbindelse med et konkret projekt, hvor dimensioner og placering kendes. Samtidigt er det vigtigt at bemærke at både opholdstid og sæson spiller en betydelig rolle i omfanget af de potentielle miljøpåvirkninger. I mere åbne vandmiljøer, som for eksempel uden for fjorde og i åbent farvand længere fra kysten, vil en hurtig opblanding og kortere opholdstid formentlig ikke lede til langvarige eller permanente ændringer i graden af eutrofiering og dermed kun medføre kortvarige og begrænsede påvirkninger af fytoplankton. Kun lokalt vil der muligvis kunne ses et signal i fytoplankton. I sommerperioden hvor fytoplanktonvækst og -biomasse er kvælstofbegrænset vil et udslip have en betydelig lokal og måske regional effekt, mens et udslip i vinterhalvåret, hvor der i forvejen er et betydeligt indhold af uorganisk N og en betydelig lysbegrænsning, kan udslippet formentlig nå at spredes inden forårsopblomstringen.

Potentielle toksiske effekter

Høje koncentrationer af ammoniak kan føre til akut toksicitet hos forskellige arter af dyr og planter. Disse effekter beskrives herunder for en række organismegrupper. De toksiske værdier for total ammoniak refererer kun til den udissocierede form (NH_3), mens den dissocierede form, NH_4^+ ikke anses for akut toksisk. Effektkoncentrationer af ammoniakgas varierer mellem organismegrupper. Den geografiske afgrænsning af det påvirkede område og de påvirkede grupper vil i høj grad afhænge af hvor udslippet sker. Der er ikke identificeret akut-toksiske værdier for samtlige organismegrupper.

Fugle og havpattedyr

Den akutte dødelige koncentration af ammoniak for landpattedyr ligger indenfor samme interval som hos mennesker, og afhænger af varighed af eksponering (Fritt-Rasmussen et al., 2022). I Tabel 4-16 er værdier for akut dødelig koncentration af ammoniak for fugle og mindre pattedyr præsenteret. Det har ikke været muligt at finde studier, der undersøger effekten af ammoniak på havpattedyr, men det må forventes at lignende koncentrationer er gældende for havfugle og havpattedyr som sæler og marsvin.

Tabel 4-16 Akutte dødelige koncentrationer (mg/m^3) af ammoniakgas under akut (5-120 min) eksponering for fugle og pattedyr. Tal i parentes angiver antal (n) af inkluderede undersøgelser. (Data fra WHO, 1986, som beskrevet i (Fritt-Rasmussen et al., 2022)).

Dyregruppe	Akut dødelig koncentration (mg/m^3)
Fugle*	1.600 (1)
Mindre pattedyr**	2.960 (13)
*Akut dødelig koncentration fundet for stære, spurve og duer ved behandling af en stald med ammoniakgas ved 1.600 mg/m^3 i 7 minutter for at udrydde de vilde fugle, der opholder sig i stalden,	
**Akut dødelige koncentrationer (LC_{50}) hos mus og rotter fundet i laboratorieundersøgelser	

Forsøg med landpattedyr har vist subletale virkninger såsom lungeskader under akutte og længerevarende eksponering for ammoniak. Høje koncentrationer af ammoniak kan også påvirke overlevelsesevne, fødeindtag og immunsystem hos fugle (Fritt-Rasmussen et al., 2022). I Tabel 4-17 er subletale virkninger af ammoniak præsenteret for fugle, mindre og større landpattedyr. Det har ikke været muligt at finde studier, der specifikt kigger på subletale virkninger af ammoniak på havpattedyr, men det må formodes at lignende skader kan observeres hos mindre havpattedyr såsom sæler og marsvin, hvis de udsættes for høje koncentrationer af ammoniak

Tabel 4-17 Subletal effekt koncentration (mg/m³) af ammoniak i fugle og landpattedyr under akut (<72 timer) inhalerings eksponering. Tal i parentes angiver antal (n) af observationer. (Data fra WHO, 1986, som beskrevet i (Fritt-Rasmussen et al., 2022).

Dyregruppe	Subletal effekt koncentration (mg/m ³)
Fugle*	14 (3)
Mindre pattedyr**	85 (7)
Større pattedyr ***	196 (1)
*Høns (adulte og juvenile)	
**Mus, rotter, harer og katte	
***Grise	

Vegetation

Ved kystnære anlæg, såsom FPSO-baserede løsninger forankret ved kysten (se H2Carrier-eksempel i afsnit 2.3.3.4), kan der ved udslip af ammoniak ske skader på terrestrisk vegetation. Der vil opstå skader på løv (dvs. blade) når bladoptagelsen af NH₃ er større end løvets evne til at afgifte. Andre negative virkninger på højere planter, der udsættes for øgede ammoniakniveauer, er ændringer i produktivitet og vækst og reduceret modstandsdygtighed over for stress, såsom tørke og frost. Vild vegetation, især lav og mosser, menes at være mere følsom over for høje niveauer af ammoniak sammenlignet med træer og landbrugsprodukter afgrøder (Cape et al., 2009; Fangmeier et al., 1994; Krupa, 2003).

Vandlevende organismer

Ammoniak produceres naturligt ved nedbrydning af organisk materiale. Det er desuden et biprodukt af fiskenes stofskifte og forekommer i vandmiljøet ved lave niveauer (U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES, 2004).

Toksiciteten af denne forbindelse på vandorganismer vil afhænge af den kemiske form af ammoniak, pH og temperatur. Eksponering for høje ammoniakkoncentrationer kan påvirke reproduktion, vækst og overlevelse på grund af toksisk ophobning i blod og indre væv og kan direkte føre til dødelighed. De akutte eller kroniske virkninger af ammoniak eksponering på vandlevende organismer afhænger af organismetypen og stadiet. Tabel 4-18 og Tabel 4-19 viser tærskelværdier for henholdsvis akut toksicitet i marine organismer under kortvarige eksponeringer og kronisk toksicitet i marine organismer under længere eksponeringer. Der forelægger ikke studier på samtlige organismer for de forskellige eksponeringsvarigheder.

Tabel 4-18 Tærskelværdier for akut toksicitet (EC50 og LC50; mg/l) i marine organismer under kortvarig eksponering (dvs. < 5 dage) for total ammoniak (NH₃ + NH₄⁺). Tal i parentes angiver antal (n) af inkluderede undersøgelser (Data fra ECOTOX-databasen (U.S. EPA) 2021 som beskrevet i Fritt-Rasmussen, J. 2022).

Marine organismer	Effekt koncentration (EC50; mg/l)	Dødelig koncentration (LC50; mg/L)
Alger	29,2 (1)	<i>Ikke tilgængelig</i>
Krebsdyr	<i>Ikke tilgængelig</i>	4,98 (84)
Bløddyr	<i>Ikke tilgængelig</i>	2,55 (16)
Fisk	<i>Ikke tilgængelig</i>	2 (24)

Tabel 4-19 Tærskelværdier for kronisk toksicitet (EC50 mg/l) i marine organismer forbundet med længere eksponering (dvs. > 10 dage) for total ammoniak (NH₃ + NH₄⁺).

Marine organismer	Effekt koncentration (EC50; mg/l)
Fisk	0,26-1,8

Hos fisk kan høje koncentrationer af ammoniak beskadige gæller, lever, nyrer, milt og andre organvæv. Effekter kan vise sig ved, at fisken gisper efter luft og har forhøjede niveauer af kortisol, glukose og kolesterol, hvilket kan føre til udtømmning af energilagre, sløvhed, forringet vækst, reproduktion og immunfunktion. Dette kan føre til fysiologiske ændringer og i sidste ende udmattelse, tab af balance, blødninger, koma eller død. Ammoniak kan også påvirke antioxidantforsvaret og dermed ændre niveauet af oxidativt stress hos fisk (Levit, 2010). Studier af fisks flugtadfærd ved eksponering af ammoniak viser, at påvirkede individer fra visse arter hurtigt flytter sig fra toksiske koncentrationer, mens andre arter, ikke udviser flugtrespons ved subletale koncentrationer (Haywood, 1983). Det kan derfor ikke afvises at fisk kan blive påvirket ved udslip af ammoniak. Dog vil påvirkningen formentlig være begrænset til et relativt lille område grundet omringning og opblanding med havvand samt fordampning, hvor det ikke er sandsynligt, at et udslip af ammoniak vil lede til påvirkninger af fisk på bestandsniveau.

Invertebraters tolerance overfor ammoniak er ikke studeret i samme grad som fisks tolerance. Ammoniak har lignende virkninger på invertebrater som på fisk, herunder reduceret vækst og osmoregulatorisk kapacitet samt øget sårbarhed overfor patogener (Zhang et al., 2023). Derudover hæmmer ammoniak også krebsdyrs vækstrater, fødeindtag og skalskifte hvilket kan resultere i unormal udvikling af kropsform og organer. Ammoniak kan også ændre metaboliske funktioner hos muslinger hvilket kan føre til unormale immunrespons og inflammation (Zhang et al., 2023).

Zooplankton påvirkes også af ammoniak. Diversiteten har en tendens til at falde under ammoniakstress, da mere sensitive arter elimineres mens der herefter kan ske en stigning i abundansen af tolerante arter (Zhang et al., 2023). Dette fører til ændrede artsammensætninger og kan også ændre på interspecifike interaktioner mellem plankton (Livingston, 2007). Desuden kan tilstedeværelsen af ammoniak påvirke fødekilderne og fødekædestrukturen for invertebrater, hvilket indirekte påvirker artsdiversiteten (Mangas-Ramírez et al., 2002; Steinberg & Saba, 2008).

Frigivelse af ammoniak kan stimulere væksten af mikroorganismer, der forbruger ilt under nedbrydning af ammoniak, hvilket fører til fald i iltmætning (Dale et al., 2018; Dyer et al., 2003). Desuden danner ammoniak uopløselige calcium ion-komplekser, og disse kan reducere koncentrationen af frit calcium i vandet og dermed påvirke skaldannende invertebrater (Omelson et al., 2009).

Eksempler på påvirkninger ved større ammoniak udslip

Aarhus Universitet udarbejdede i 2022 en vurdering af de potentielle miljøpåvirkninger fra et større spild af ammoniak fra et PtX-anlæg i Grønland (Fritt-Rasmussen et al., 2022). Der blev bl.a. foretaget modelberegninger af spildscenarier på 10.000 og 40.000 tons ammoniak i forbindelse med uheld forbundet med henholdsvis overførsel og transport af ammoniak med skib (Fritt-Rasmussen et al., 2022).

For fugle viste modelberegninger ved 10 °C lufttemperatur dødelige niveauer cirka 4-10 km fra spildstedet i en højde på op til cirka 50-100 meter. For landpattedyr blev der beregnet dødelige niveauer cirka 1-2 km fra spildstedet tæt på overfladen. Det må antages at havpattedyr vil være tilsvarende påvirket i forbindelse med et spild af denne størrelsesorden.

Hydrografiske modeller viste, at der ved en fuld opblanding i områder med 30 meters dybde kunne være risiko for påvirkning af fisk i en radius på hhv. cirka 5 og 12 km for de to spildscenarier. For planktoniske organismer var påvirkningsafstanden cirka 1-3 km for alger og cirka 3-7.5 km for krebsdyr (Fritt-Rasmussen et al., 2022). Samtidig må det forventes, at bundlevende dyr kan opleve toksiske effekter og øget mortalitet i området omkring udsippet.

I dette studie er der ikke indarbejdet en særskilt toksikologisk modellering af et worst-case spildscenarie på 13.500 tons som er beskrevet ovenfor (Tabel 4-15). Selvom modelresultaterne fra Grønland ikke er direkte sammenlignelige, så er det tænkeligt, at de akut-toksiske påvirkningsafstande vil være i samme størrelsesorden i forbindelse med lignende spild i danske farvande. Det må forventes, at længerevarende påvirkning af marine økosystemer i form af eutrofiering vil være størst i områder med lavere vandudskiftning dvs. hovedsageligt indre danske farvande hvor der allerede er konstateret udpræget iltsvind. Et eventuelt større spild i nærheden af beskyttede marine områder må ligeledes formodes at kunne medføre en væsentlig påvirkning på blandt andet udpegningsgrundlaget som afhængigt af sårbarhed kan være langvarige.

4.3.11.3 Udslip af metanol

Metanol er en organisk forbindelse, som klassificeres som en alkohol. Ved stuetemperatur og atmosfærisk tryk er stoffet en farveløs, forholdsvis flygtig, vandopløselig, og meget brandbar væske.

Tabel 4-20 Mulige scenarier for stort et stort metanol spild

Scenarier	Mængde udledt	Fordeling i miljøet
FPSO – Spil af metanol lagret pga. skibskollision	12.000 tons/få timer	Størstedelen opløst i vand
Metanoltank, udslip af metanol til havet.	12.000 tons over lang tid, forventes mitigeret delvist.	Størstedelen opløst i vand

Ligesom for ammoniakspild vil et metanolspild i den ovennævnte størrelse, ud fra en generel betragtning forventes at kunne ske en gang hvert 10.000 år. Den egentlige risiko vil være stærkt afhængig af de valgte tekniske løsninger for lagring og transport af metanol samt placering af procesanlægget. Sandsynligheden for et spild af denne størrelse forventes dog under alle omstændigheder at være meget lav.

Når en stor mængde metanol pludselig frigives, vil det straks samle sig på vandoverfladen, fordi det har en lavere densitet (798 g/l) end vand. Det har også en lav viskositet og derfor vil sprede sig hurtigt på vandoverfladen. Metanol vil således efter et spild først flyde som en let ikke-vandig flydende film, som hurtigt forsvinder fra vandoverfladen, som følge af fordampning til atmosfæren og opløsning i vand. Grundet metanols høje vandopløselighed, vil opløsning i vand være den dominerende proces, og størstedelen af metanolspildet vil ende med at opløses i det omgivende vand. Ligeledes vil en stor del af den fordampede metanol blive opløst i vandfasen, hvis den igen kommer i kontakt med vandoverfladen.

I atmosfæren vil metanol fotooxidere med en halveringstid på mellem 3 og 30 dage. I overfladevand varierer metanolhalveringstiden fra 1 til 7 dage baseret på vandig aerob bionedbrydning (Howard, 1991).

Mikroorganismer kan nedbryde metanol til myresyre. Der vil derfor ske en hurtig fortynding og nedbrydning i vandmiljøet (Katsumata & Kastenbergh, 1996). Metanol har også en lav biokoncentrationsfaktor, hvilket betyder, at det ikke vil bioakkumulere i den økologiske fødekæde (Kaviraj et al., 2004).

I henhold til Oslo Paris Konventionens (OSPAR) er metanol på listen over PLONOR (Pose Little Or No Risk) kemikalier dvs. et kemikalie som har begrænset eller ingen miljøeffekt i forbindelse med udledning til havs (OSPAR, 2013).

Metanol er meget brand- og eksplosionsfarligt, og væske eller dampe i nærheden af frigivelsespunktet kan let antændes.

Fugle og pattedyr

Metanol vil være akut giftigt for dyr og fugle hvis det bliver indtaget. Dette scenarie vil dog i det fleste tilfælde ikke være aktuelt for et spild til havet. Eksponering for metanoldampe kan føre til åndedrætsbesvær, neurologiske problemer og muligvis være dødelig i meget høje koncentrationer. Fugles åndedrætssystem er designet til effektiv gasudveksling, og således kan metanoldampe have betydelige negative virkninger, hvis de befinder sig i umiddelbar nærhed af spildet.

Tabel 4-21 Tærskelværdier for toksicitet (EC50 og LC50; mg/l) i fugle og pattedyr

Dyregruppe	Akut dødelig koncentration (LC 50 mg/m ³)
Fugle*	>7000 mg/kg kropsvægt
Mindre pattedyr**	83.900 (64.000 ppm)
* U.S. Environmental Protection Agency (EPA) Methanol: Chemical Hazard Assessment Document **4-timer median LC50 for metanolindånding hos rotter Lewis, RJ, Sr. (1992). Sax's dangerous properties of industrial materials: v III (8th ed.). New York, NY (Lewis, 1989)	

Vandlevende organismer

Eksponering for meget høje metanolkoncentrationer kan medføre akutte eller kroniske virkninger på vandlevende organismer. Effekten af et eventuelt spild vil være kortvarigt og Tabel 4-22 præsenterer effektkoncentration på forskellige marine dyregrupper ved kortere eksponering (typisk maksimalt 4 dage). Toksikologiske effektkoncentrationer forbundet med en langvarig eksponering og relaterede kroniske påvirkninger regnes ikke for relevante i forbindelse med et spild af metanol til havet.

Tabel 4-22 Tærskelværdier for toksicitet (EC50 og LC50; mg/l) i marine organismer under kortvarig eksponering (dvs. < 5 dage) for metanol

Organismer	Effekt koncentration (EC50; mg/l)	Dødelig koncentration (LC50; mg/L)
Alger	530-8.000****	28.501 (10 dage)*
Krebsdyr	<i>Ikke tilgængelig</i>	4.820**
Bløddyr	<i>Ikke tilgængelig</i>	15.900****-54.890**
Fisk (ferskvand)	736**	15.400 – 29.400***
* <i>Chlorella pyrenoidosa</i> (). ** <i>Moina micrura</i> as som mest sensitiv krebsdyrart (Kaviraj et al., 2004) ***oligochaete (<i>Branchiura sowerbyi</i>) 54,890 mg/L (Kaviraj et al., 2004) ****blåmusling (<i>Mytilus edulis</i>) 15,900 mg/L (Helmstetter et al., 1996). *****diverse fiskearter (Poirier, S. H.; Knuth, M. L.; Anderson-Buchou, C. D.; Brooke, L. T.; Lima, A. R.; Shubat, 1986; Veith et al., 1983) *****Alge (<i>Microcystis aeruginosa</i>) 530 mg/L, grønalg (Scenedesmus quadricauda) 8.000 (Verschuere, 1983)		

I overfladevand vil den høje opløselighed af metanol resultere i hurtig bølge-, vind- og tidevandsforstærket fortynding til lave koncentrationer (< 1%). Computersimuleringer har vist, at en

10.000 tons frigivelse af metanol til søs ville nå en koncentration på 0,36% inden for en time efter udslippet. En anden simulering af et kystnært spild på 10 m³ metanol i timen viste at metanolkoncentrationen var under 1% indenfor 2 timer og 0.13% indenfor 3 timer efter spildets ophør (Machiele, 1989).

I forbindelse med et større spild af metanol i åbne danske farvande må den akutte påvirkning af marine organismer forventes at være begrænset til et område i umiddelbar nærhed af spildpunktet. Der forventes ikke langvarige påvirkninger af det marine økosystem med mindre, at der lokalt forefindes sårbare arter og fauna, som kun langsomt vil kunne reetablere sig området. I kystnære områder med lav vandudskiftning vil risiko for påvirkning være større.

4.3.11.4 Udslip af jetfuel og andre olieprodukter

Jetfuel, som består af en blanding af lette (C8-C12) og tunge kulbrinter (C16->) og har typisk en API-gravitet >40 dvs. de har en lav densitet og viskositet. Massefylden for jetfuel er således typisk 0,77-0,85 kg/l sammenlignet med 1,03 for havvand. Vandopløseligheden ved cirka 21°C varierer fra 50-80 ppm og er lineær med temperaturen. Den vandopløselige fraktion indeholder omkring 6-7 ppm aromater, som for det meste er de monoaromatiske forbindelser, med xylener, ethylbenzen og trimethylbenzener som de dominerende forbindelser i opløsning. Jetfuel er en klar væske og typisk sværere at se på vandet end andre oliespild.

Tabel 4-23 Mulige scenarier for stort et stort jetfuel spild

Scenarier	Mængde udledt	Fordeling i miljøet
FPSO – Spil af jetfuel lagret pga. skibskollision	5.500 tons/få timer	Størstedel fordampning til atmosfæren. Mindre del opløst i vand, spredning på overfalde og sedimentering på havbunden
GBS Jetfuel-tank, udslip af metanol til havet.	5.500 tons over lang tid, forventes mitigeret delvist.	Fordampning til atmosfæren. Mindre del opløst i vand, spredning til overfalde. I højere grad sedimentering på havbunden

Når jetfuel udledes i havet, begynder det at sprede sig og fordampe, men processen afhænger af flere faktorer:

- Fordampning: Jetfuel består af hydrokarboner med forskellige kogepunkter. Nogle komponenter er meget flygtige og fordamper hurtigt, mens andre er tungere og forbliver lænere i vandet. Fordampningen er hurtigst lige efter udslippet, særligt i varmt vejr og ved kraftig vind.
- Opløsning: Jetfuel er generelt dårligt opløseligt i vand, så kun små mængder, primært de lettere komponenter, der vil gå i opløsning.
- Spredning: Jetfuel spreder sig hurtigt over havoverfladen og danner en tynd film. Denne film påvirkes af bølger og strømme, hvilket fører til, at drivstoffet spredes over større områder.
- Nedbrydning: Jetfuel bliver også nedbrudt af mikroorganismer over tid. Dette kan tage uger til måneder, afhængigt af forhold som temperatur samt tilgængeligheden af ilt og næringsstoffer.
- Fordampning vs. sedimentering: Mens en del af drivstoffet fordamper, kan tungere rester lægge sig på havbunden. Graden af sedimentering afhænger af ovennævnte faktorer samt indholdet af suspenderet materiale i vandsøjlen.

Jetfuel er meget giftigt for forskellige marine dyregrupper, og effekten af forureningen afhænger af flere faktorer, herunder typen af organismer, koncentrationen af jetfuel, eksponeringens varighed og tilsætningsstoffer i jetfuel (Dean-Ross et al., 1992).

Vandlevende organismer

Fisk er særligt følsomme over for jetfuel, især når de er i deres æg- eller larvestadier. Jetfuel kan forårsage skader på fiskenes gæller, hvilket hæmmer deres evne til at trække vejret. Desuden kan det påvirke deres immunsystem, vækst og reproduktion. Langvarig eksponering kan føre til udviklingsforstyrrelser og nedsat overlevelse. PAH'er (polycykliske aromatiske kulbrinter), kan opbygges i fiskens væv og forårsage kroniske sundhedsproblemer.

Skaldyr, der er i kontakt med jetfuel, kan optage giftstofferne gennem filtrering af vandet, hvilket kan skade deres åndedrætssystem, vækst og reproduktion. De kan også udvikle interne organproblemer, især i deres filtrations- og fordøjelsessystem. Skaldyr som muslinger og østers kan opleve nedsat befrugtning og larveudvikling, hvilket påvirker deres evne til at reproducere sig.

Plankton og mikroskopiske organismer er meget følsomme over for den akutte toxicitet forbundet naturlige og tilsatte kemikalier i jetfuel. Selv små koncentrationer af jetfuel kan forstyrre planktons vækst og reproduktion, hvilket kan føre til en lokal og kortvarig nedgang i planktonpopulationen.

Fugle og pattedyr

Havfugle, som ofte opholder sig på vandet, kan få jetfuel på deres fjerdragt. Dette ødelægger fjerenes isoleringsevne og evnen til at flyde, hvilket kan føre til, at fuglene bliver kolde og dør af hypotermi eller drukner. Fugle, der prøver at rense deres fjer, kan indtage giftige stoffer. Dette kan føre til forgiftning og alvorlige helbredsskader som nyresvigt, leverproblemer og død.

Havpattedyr som sæler og hvaler kan komme i kontakt med olie på havets overflade, hvilket kan føre til hudirritationer og skade på deres pels eller hud. De kan også optage giftige stoffer gennem deres hud og indånding af dampe. Ved at indtage forurenede bytte eller indånde giftige dampe kan de udvikle symptomer som nedsat immunforsvar, lever- og nyreskader og neurologiske problemer. Langvarig eksponering kan føre til reproduktionsproblemer og død.

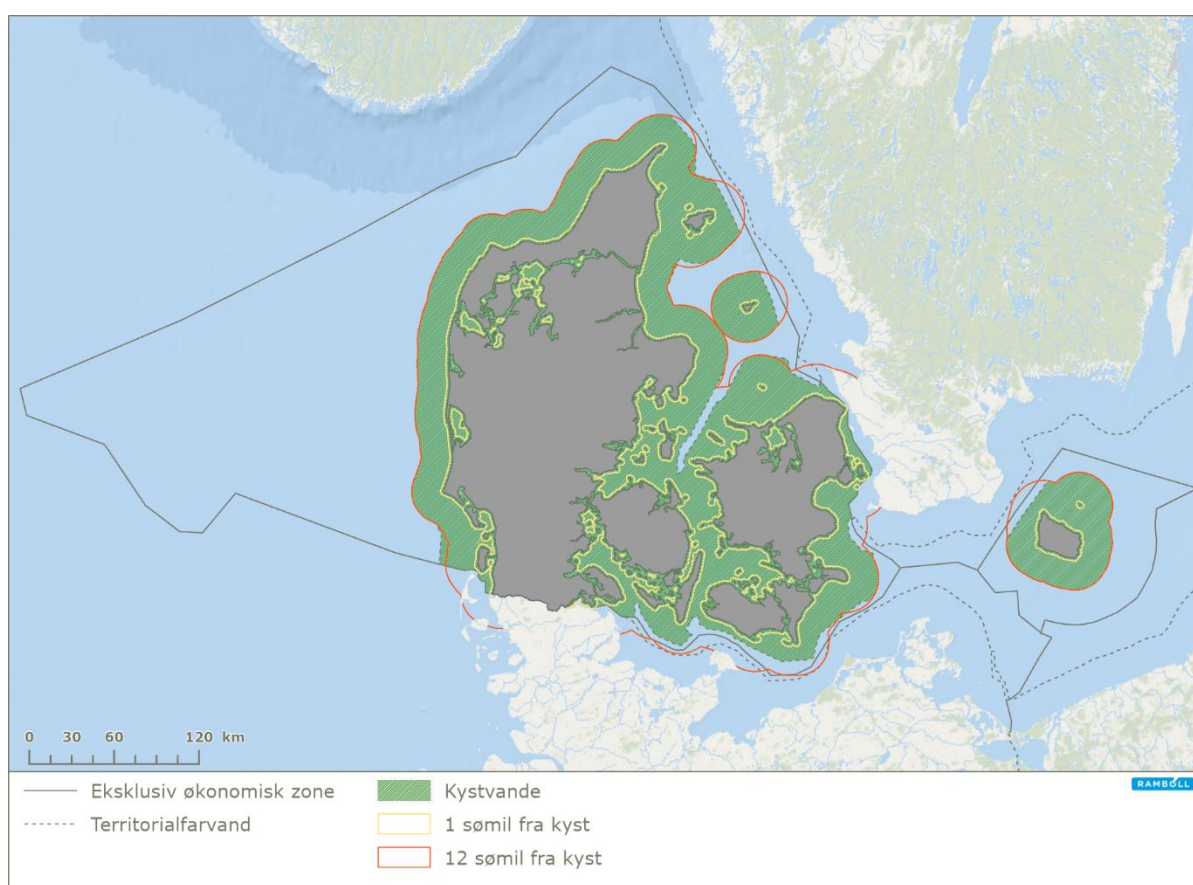
Generelt kan et spild på 5.500 tons jetfuel forventes at skabe en højrisikozone for toksiske effekter på mellem 5 og 50 kvadratkilometer omkring udslippet, hvor akutte toksiske virkninger er sandsynlige. En bredere zone, hvor subletale effekter kan påvirke det marine liv, kunne strække sig over hundredvis af kvadratkilometer, afhængigt af vejret, strømforholdene og tidsforløbet efter udslippet.

Den akutte toksiske effekt fra et spild vil være mest intens inden for de første 1-3 dage efter udslippet, hvor koncentrationerne er høje tæt omkring udslippunktet. Under gunstige forhold (varmt, blæsende og åbent farvand) vil risikoen for akut toksicitet aftage hurtigt herefter. I kolde eller stillestående farvande samt i sårbare kystnære områder, kan den akutte toksicitet vare længere, op til en uge eller mere, før koncentrationerne er fortyndet eller fordampet til et niveau, hvor de ikke længere er risiko for akut påvirkning. Sedimentering af oliekomponenter kan medføre længerevarende påvirkning af bundfauna.

4.3.12 Vandrammedirektivet

I henhold til det europæiske vandrammedirektiv (Europa-Parlamentets og rådets direktiv 2000/60/EF af 23. oktober 2000) skal alle EU-landenes vandområder (vandløb, søer, kystnære farvande, overgangsvande og grundvand) have *god tilstand* i 2027. Vandrammedirektivet er implementeret i dansk lovgivning i lov om vandplanlægning (LBK nr. 126 af 26/01/2017), og udmøntet via vandområdeplanerne. For denne analyse er kystnære farvande relevante.

Vandområdeplanerne beskriver tilstand, miljømål, samt indsatsbehov for alle målsatte vandforekomster i Danmark. Målet med vandområdeplanerne er, at alle målsatte vandområder skal opnå mindst god økologisk tilstand og god kemisk tilstand. På havet dækker vandområdeplanerne alle 109 afgrænsede kystvande (1 sømil-områder) og 14 territorialfarvande (12 sømil-områder). Kystvandområder er målsat og klassificeret i forhold til økologisk tilstand og kemisk tilstand, mens territorialfarvande kun er karakteriseret mht. kemisk tilstand.



Figur 4-3 Kystvande og 1 og 12 sømil grænser for danske farvande.

God økologisk tilstand i kystvande vurderes ud fra en række biologiske og fysisk-kemiske understøttende kvalitetselementer, se Tabel 4-24.

.

Tabel 4-24 Biologiske og fysisk-kemiske understøttende kvalitetselementer

Biologiske kvalitetselementer	Fysisk-kemiske understøttende kvalitetselementer
• Fytoplankton (klorofyl koncentration) • Rodfæstede bundplanter (dybde-grænse af f.eks. ålegræs) • Den benthiske faunas sammensætning og tæthed (invertebrater)	• Sigtdybde • Termiske forhold • Iltforhold • Salinitet • Næringsstoffer • Nationalt specifikke stoffer (opfyldelse af miljøkvalitetskrav i vand, sediment og biota for 16 kemiske stoffer)

Kemisk tilstand af et vandområde bestemmes af forekomsten af de miljøfarlige forurenende stoffer, hvor der er fastsat miljøkvalitetskrav på EU-niveau. God kemisk tilstand vurderes ud fra en potentiel overskridelse af en række miljøfarlige forurenende stoffer (MFS) ud fra vedtagne miljøkvalitetskrav og -kriterier (MKK). Kvalitetskriterierne bliver fastsat på baggrund af kemiske stoffers effekter på de dyr og planter, der lever i vandet. Miljøkvalitetskriterierne udgør den højeste koncentration af et forurenende stof, hvor myndighederne vurderer, at det ikke giver skader på vandmiljøet.

En vurdering af om anlæg og drift af PtX på havet kan hindre målopfyldelse beror sig på vandområde-specifik information om tilstedeværelsen og den potentielle påvirkning af kvalitetselementer, specifikke målte koncentrationer af MFS i sediment, vandfase og biota, samt projektspecifikke informationer om udledninger. Grundet analysens overordnede niveau kan sådan en konkret vurdering ikke gennemføres på nuværende tidspunkt og skal gennemføres i forbindelse med en miljøvurderingsproces. Herunder fremhæves i stedet vigtige forhold under vandrammedirektivet, der i forbindelse med udbygningen af PtX på havet bør inddrages og eventuelt belyses yderligere.

4.3.12.1 Miljøfarlige forurenende stoffer

Miljøstyrelsen understreger blandt andet i deres publikation om udledninger fra PtX (Miljøstyren & NIRAS, 2024), at udledning af procesvand til et målsat vandområde skal dels overholde fastsatte grænser for en række MFS, men også krav til næringssalte, organisk stof og salte afhængigt af hvilken recipient, der udledes til. En udledning må desuden ikke forringe tilstanden og forhindre opfyldelsen af miljømål for det målsatte vandområde. Det gælder generelt, at udledninger til ikke-målsatte vandområder skal overholde de gældende miljøkvalitetskrav for de nationalt fastsatte og EU-prioriterede miljøfarlige forurenende stoffer.

Direkte udledninger fra PtX-anlæg skal screenes, og i det omfang der udledes nationalt prioriterede og EU-prioriterede MFS skal spredningen modelleres og miljøpåvirkning vurderes. En udledning må i henhold til vandrammedirektivet ikke lede til en forringelse af vandområdets tilstand eller hindre målopfyldelse. En overskridelse af et eller flere MKK vil resultere i en forringelse af områdets tilstand. For stoffer, hvor MKK allerede er overskredet kan en mertilførsel resultere i en yderligere forringelse af vandområdets tilstand. Stoffer hvor kvalitetskrav eller -kriterier allerede er overskredet kan derfor være problematiske. På grund af mængderne, vurderes de væsentligste udledninger at være stoffer der tilsættes kølevandet, dvs. biocider og anti-scaling-kemikalier. Påvirkningen forventes at være lav og at kunne leve op til gældende miljøkvalitetskrav (se afsnit 5.3.7), men en nærmere og endelig vurdering kan først foretages når det endelige valg af produktionskemikalier foreligger.

Vurderingen skal foretages på enkeltstofniveau. For hvert stof sammenlignes koncentrationen med de fastsatte miljøkvalitetskrav for vand, sediment og biota. Den samlede koncentration, som inkluderer både den tilførte og den eksisterende koncentration i miljøet, må som hovedregel ikke

overstige de fastsatte krav. Hvis der findes stoffer i udledningen, som ikke har fastsatte miljøkvalitetskrav, skal vurderingen baseres på tilgængelige kvalitetskriterier og økotoksikologiske data. Derudover skal det vurderes, om stoffet kan påvirke vandmiljøet eller menneskers sundhed, f.eks. gennem fiskekonsum.

Afværge- og minimerende tiltag

Ved eventuel overskridelse af MKK kan der gennemføres en række tiltag, der vil minimere en potentielle miljøpåvirkning eller muliggøre en udledning af MFS. Se afsnit 4.3.7.3 for minimerende tiltag for de enkelte MFS, der er identificeret i analysen.

Det er muligt at etablere en blandingszone omkring et udledningspunkt fra en punktkilde, hvor koncentrationen af et eller flere miljøfarlige stoffer må overskride de gældende miljøkvalitetskrav. Dette kan dog kun ske i situationer, hvor den bedste tilgængelige teknologi (BAT) ikke er tilstrækkelig, og hvor det ikke er muligt at anvende alternative tekniske renseløsninger. Anvendelsen af blandingszoner forudsætter derfor, at BAT allerede er i brug.

Udledningen må ikke forhindre opfyldelsen af miljøkvalitetskrav i de områder af vandmiljøet, der ligger uden for blandingszonen. Størrelsen på blandingszonen afhænger af det udledte stof og den type recipient, som udledningen sker til. For eksempel bør blandingszonen i kystvande ikke overstige 350 meter fra udledningsstedet i åbne kystområder og maksimalt 100 meter i fjorde og lukkede kystvande.

Hvis en udledning, selv ved anvendelse af BAT, bidrager til, at miljøkvalitetskrav ikke kan overholdes uden for en eventuel blandingszone, skal der stilles strengere krav end BAT, eller der skal findes et andet udledningssted. Hvis dette ikke er muligt, kan myndigheden afvise ansøgningen.

4.3.12.2 Næringsstoffer

Miljøstyrelsen har beregnet en maksimal acceptabel kvælstofbelastning til hvert enkelt af de 109 kystvandområder (1 sømil), som vandområdeplanerne omfatter. Den acceptable kvælstofbelastning er beregnet således at god økologisk tilstand for fytoplankton og ålegræsudbredelse kan overholdes og fremgår af indsatsbekendtgørelsen (Miljø- og Ligestillingsministeriet, 2023).

Ved drift af PtX på havet kan påvirkning af vandmiljøet fra næringsstoffer hovedsageligt ske fra tre kilder: luftemissioner, udledning af dødt organisk materiale og utilsigtet udslip af ammoniak. Selvom belastningen med kvælstof af kystvande især skyldes landbaserede kilder, skal f.eks. atmosfærisk deposition af kvælstof i røggasser eller tab ved produktion af ammoniak til vand og atmosfære tages i betragtning, og udledninger, der påvirker kystvandsområder, skal eventuelt kompenseres ved reduktion af kvælstofudledning fra andre kilder. Påvirkninger på miljøet fra kvælstof deposition fra røggasser er ikke medtaget videre da aktiviteterne generelt vurderes at være relativt begrænsede, men dette bør vurderes ved konkrete projekter, som er placeret i og nær følsomme vandområder. Herunder følger dermed udelukkende betragtninger om udledning af dødt organisk materiale i kølevand og utilsigtet udslip af ammoniak.

I afsnit 4.3.10 for udledning af dødt organisk materiale i kølevandet er det beskrevet og vurderet, at potentiel eutrofiering vil være begrænset og kortvarig i åbne farvande med stor vandudskiftning, da mængderne af dødt organisk materiale vil være relativt små og blive fortyndet betydeligt inden for kort tid, hvormed det kun kan have en lille effekt lokalt. En potentiel påvirkning af det marine miljø fra eutrofiering ved udledning af dødt organisk materiale vil dog sandsynligvis øges i farvande med mere begrænset vandudskiftning, hvor der lokalt og både i vandfasen og ved bunden kan være afledte konsekvenser.

I afsnit 4.3.11 for utilsigtet udslip af ammoniak er det beskrevet og vurderet, at potentiel eutrofiering vil være begrænset og kortvarig i åbne farvande med stor vandudskiftning. En potentiel påvirkning af det marine miljø fra eutrofiering ved udslip af ammoniak vil dog sandsynligvis forøges i farvande med mere begrænset vandudskiftning. Udslippet er dog kun relevant ved den utilsigtede hændelse, hvorfor sandsynligheden generelt vurderes at være meget lav.

Ved et udslip på 13.500 tons ammoniak, hvoraf cirka 11.000 tons vil være kvælstof, vil der være betydelig overskridelse af den maksimale acceptable kvælstofbelastning inden for kystvandområders afgrænsning på 1 sømil.

4.3.12.3 Biologiske og fysisk-kemisk understøttende kvalitetselementer

En potentiel påvirkning af de biologiske og fysisk-kemiske understøttende kvalitetselementer er, med undtagelse af de nationalt specifikke stoffer, delvist beskrevet og analyseret i tidligere afsnit. På baggrund af disse tidligere analyser og analyse i dette afsnit, fremhæves resultater og konklusion i forhold til vandrammedirektivet i Tabel 5-22. Som beskrevet ovenfor er det ikke muligt inden for opgavens rammer at analysere en potentiel overskridelse af de nationalt specifikke stoffer og om hvorvidt det vil være til hinder for opnåelse af miljømål. Dette skal gøres i forbindelse med et konkret projekt.

Tabel 4-25 viser en gennemgang af de relevante kvalitetselementer og den potentielle miljøpåvirkning. Generelt gør det sig gældende, at de potentielle påvirkninger vil aftage i omfang, varighed og intensitet jo længere fra kysten påvirkningen finder sted.

Tabel 4-25 Oversigt for de potentielle påvirkninger af biologiske og understøttende kvalitetselementer

Kvalitetselement	Årsag til påvirkning	Beskrivelse
Fytoplankton	- Udledning af opvarmet kølevand afsnit 4.3.8 - Næringsstoffer og organisk materiale - Fysisk påvirkning i varmeveksleren og ved tilsætning af biocider	- Modelresultater for udledt opvarmet kølevand viser, at ændringer i temperatur er små, kortvarige og ubetydelige. Som følge heraf forventes det også, at temperaturdrevne ændringer i fytoplanktonvækst og ilthold vil være begrænsede og ubetydelige. - Potentiel eutrofiering som følge af utilsigtet udslip af ammoniak vil sandsynligvis kun være kortvarig og begrænset, hvormed der ikke forventes en betydelig længerevarende konsekvens for fytoplankton i mere åbne farvande. I farvande med lav vandudskiftning og lang opholdstid kan et udslip af ammoniak medføre betydelige konsekvenser som følge af kraftig lokal eutrofiering. - Plankton i selve kølevandsstrømmen forventes ikke at overleve passagen gennem kondensatorer og tilsætning af biocider. Men da iltforbruget til omsætning af det døde organiske stof er væsentlig mindre end kølevandets iltindhold, og da iltforbruget først sker forsinket, dvs. når der allerede er sket en væsentlig fortynding, vil effekten formentlig være ubetydelig. Der forventes begrænset eller ingen påvirkning af fytoplankton i åbne farvande. I farvande med lav vandudskiftning og lang opholdstid kan der være betydelig påvirkning af fytoplankton
Rodfæstede bundplanter	- Tab og forstyrrelse af havbunden afsnit 4.3.4 - Sedimentspild afsnit 4.3.5	- Rodfæstede bundplanter vil formentlig kun i begrænset omfang kunne blive påvirket af udbygningen af PtX på havet. Det vil sandsynligvis kun være i forbindelse med iland-

	- Algeopblomstring som følge af udledning af næringsstoffer og organisk materiale afsnit 4.3.12.2	føringer af rørledninger, at der kan ske påvirkning af f.eks. ålegræs. I denne forbindelse forventes ingen forringelse af dybdegrænsen for rodfæstede bundplanter. - Udskygning af rodfæstede bundplanter som følge af øget koncentration af sediment i vandfasen vil sandsynligvis kun ske potentielt kortvarigt ved anlægsarbejde kystnært. I denne forbindelse forventes ingen forringelse af dybdegrænsen for rodfæstede bundplanter. - Udskygning af rodfæstede bundplanter som følge af øget opblomstring af alger fra udledninger af næringsstoffer vil sandsynligvis ikke finde sted, da udledningen af næringsstoffer vil være yderst begrænset og ikke give ophav til lokale opblomstringer i mere åbne farvande. Som beskrevet for fytoplankton, kan der dog være betydelige påvirkninger i farvande med lav vandudskiftning og lang opholdstid. Der forventes begrænset eller ingen påvirkning af rodfæstede bundplanter i mere åbne farvande. I farvande med lav vandudskiftning og lang opholdstid kan der være betydelig påvirkning af rodfæstede bundplanter som følge af algeopblomstringer og følge <u>udskygning og andre afledte effekter, såsom iltsvind.</u>
Bunddyr	- Tab og forstyrrelse af havbunden afsnit 4.3.4 - Sedimentspild afsnit 4.3.5 - Udledning af opvarmet kølevand afsnit 4.3.8 - Utilsigtede hændelser afsnit 4.3.11	- Ved tab af havbunden kan der ske en permanent påvirkning af bunddyr. Dog vil denne påvirkning sandsynligvis være meget lokalt begrænset. Ved forstyrrelse forventes bunddyr kun at blive midlertidigt påvirket da genindvandring og kolonisering vil tillade for genskabelse af de påvirkede bundsamfund. - Sedimentspild vil sandsynligvis kun forekomme i meget begrænset og kortvarigt omfang med forventet lille påvirkning af bunddyr. - Udledning af opvarmet kølevand vil kun sporadisk og kortvarigt komme i med bundsamfund. Endvidere vil temperaturændringen sandsynligvis kun være på ganske få grader. - Ved utilsigtet udslip af ammoniak og metanol kan der ske kortvarig påvirkning af bunddyr. Der forventes dog ingen langvarige effekter på bundsamfundet ved anlæg i åbent farvand med stor vandstrømning. - Ændringer i bunddyrssamfund som følge af tilførsel af næringsstoffer vil sandsynligvis ikke finde sted, da udledningen af næringsstoffer vil være yderst begrænset og forrynnet over et relativt stort område. Der forventes begrænset eller ingen påvirkning af bunddyr
Termisk påvirkning	- Udledning af opvarmet vand afsnit 4.3.8	- Udledning af opvarmet vand kan lokalt omkring udledningspunktet påvirke vandmiljøet med temperaturstigninger, der har lokal indvirkning på miljøtilstanden. Som vist i kapitel 4 og beskrevet i afsnit 5.3.8 kan der ved udledning af opvarmet vand ske en opvarmning af det omliggende havvand ved drift af PtX-anlæg. Varighed, hyppighed og omfanget af opvarmning afhænger i modelscenarierne betydeligt med havdybde og strømforhold. Det er dog udelukkende i modelscenarie 4 med lav vanddybde og relativt svag

		strøm, at der observeres en konstant, dog lav, temperaturstigning i vandsøjlen i et meget lokalt område omkring udledningspunktet. Der er derfor sandsynligvis kun lille termisk påvirkning af vandmiljøet ved anlæg af PtX på det danske havareal. Sandsynligheden bliver dog større ved hydrografiske forhold med lavere strøm, såsom fjorde og beskyttede kystnære vandområder. Der forventes begrænset eller ingen påvirkning af de termiske i mere åbne farvande. I farvande med lav vandudskiftning og lang opholdstid kan der være større påvirkning af de termiske forhold.
Iltindhold	- Udledning af opvarmet kølevand afsnit 4.3.8 - Næringsstoffer og organisk materiale afsnit 4.3.12.2	- Modelresultater for udledt opvarmet kølevand viser, at ændringer i temperatur er små og ubetydelige. Som følge heraf forventes det også, at temperaturdrejede ændringer i iltindhold vil være ubetydelige og begrænsede. - Eutrofiering kan medføre øget iltforbrug ved bunden, når en forøget produktion synker ned og omsættes. Eutrofiering fra udledning af organisk materiale og utilsigtet udslip af ammoniak vil dog være begrænset, hvorfor det også forventes at iltindholdet i vand og ved bunden ikke vil blive betydeligt påvirket i mere åbne farvande. Som beskrevet for fytoplankton, kan der i farvande med lav vandudskiftning og lang opholdstid være forhøjet biomasse, som ved nedbrydning kan medføre reduktion i iltindhold ved bunden. Der forventes begrænset eller ingen påvirkning af iltindholdet i mere åbne farvande. I farvande med lav vandudskiftning og lang opholdstid kan der være betydelig påvirkning af iltindholdet på grund af øget nedbrydning af organisk materiale.
Vandets klarhed	- Sedimentspild afsnit 4.3.5 - Algeopblomstring som følge af udledning af næringsstoffer og organisk materiale afsnit 4.3.12.2	- Sedimentspild vil sandsynligvis kun forekomme i meget begrænset og kortvarigt omfang i forbindelse med anlægsarbejde. - Algeopblomstring som følge af udledning af næringsstoffer vil formentlig kun forekomme i ubetydeligt og kortvarigt omfang. Der forventes begrænset eller ingen påvirkning af vandets klarhed i mere åbne farvande. I farvande med lav vandudskiftning og lang opholdstid kan der være betydelig påvirkning af vandets klarhed som følge af opblomstring af fytoplankton efter øget eutrofiering.

4.3.13 International naturbeskyttelse; habitatdirektivet og fuglebeskyttelsesdirektivet

Habitatdirektivets formål er at beskytte arter og naturtyper, der er karakteristiske, truede, sårbare eller sjældne i EU. Habitatdirektivet er sammen med fuglebeskyttelsesdirektivet EU's vigtigste bidrag til målrettet beskyttelse af den biologiske mangfoldighed i medlemslandene. Beskyttelsen i direktivet består i hovedtræk af en beskyttelse af naturtyper og levesteder for bestemte arter i udpegede områder og af en artsbeskyttelse, der gælder for bestemte arter overalt på medlemslandenes territorier. Målet er først og fremmest at opretholde eller genoprette gunstig bevaringsstatus for arterne og naturtyperne. De arter og naturtyper, der er relevante for Danmark, fremgår af habitatbekendtgørelsens bilag. Habitatdirektivets artikel 6 rummer bestemmelser, der gælder for både habitatområderne og for fuglebeskyttelsesområderne, herunder en beskyttelse mod forringelse af naturtyper og levesteder og et krav om vurdering af planer og projekter, der kan påvirke et Natura 2000-områdes integritet væsentligt. At artikel 6 også gælder for fuglebeskyttelsesområderne, fremgår af habitatdirektivets artikel 7.

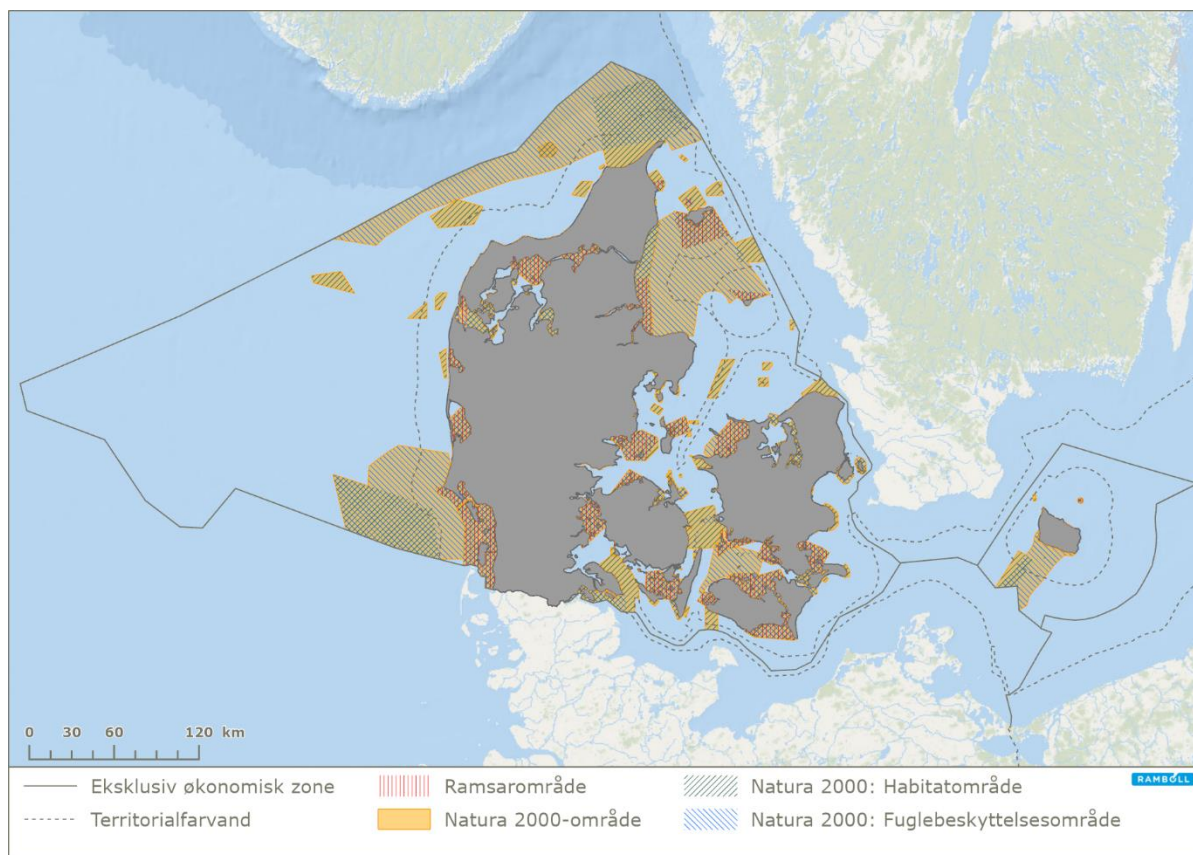
Habitatdirektivets artikel 12 medtager bestemmelser for strengt beskyttede arter. Disse arter er opført på habitatdirektivets Bilag IV og omfatter i Danmark alle arter af hvaler og flagermus. Derudover er snæbel (en laksefisk som findes i Vadehavet) på Bilag IV. Der gælder direkte forbud mod forsætligt drab og forstyrrelse af Bilag IV arter ligesom beskadigelse af yngle- og rasteområder er forbudt. Se vurderinger ift. Bilag IV arter i afsnit 5.5

Fuglebeskyttelsesdirektivet forpligter EU's medlemslande til at træffe alle nødvendige foranstaltninger til at opretholde eller tilpasse bestanden af samtlige fuglearter, som i vild tilstand naturligt opholder sig i medlemsstaterne, jf. fuglebeskyttelsesdirektivets art.1 og 2. Fuglebeskyttelsesdirektivet forpligter til beskyttelse af de udpegede fuglebeskyttelsesområder. Der gælder endvidere en generel beskyttelse af alle fuglearter, herunder regler om jagt, efterstræbelse, forstyrrelser m.v.

4.3.13.1 Internationale naturbeskyttelsesområder

Natura 2000 er et netværk af internationale naturbeskyttelsesområder i EU med særligt værdifuld natur. Natura 2000-områder består af fuglebeskyttelsesområder, habitatområder og Ramsar-områder, se Figur 4-4. Nogle af områderne er både fuglebeskyttelses-, habitat- og Ramsar-område på én gang.

Herunder gennemgås kort fordelingen af forskellige typer af områder, formålet med områder og omfanget af beskyttelse for området og eller udpegede naturtyper og arter.



Figur 4-4 Oversigt over de danske marine Natura 2000-områder og fordelingen af fuglebeskyttelsesområder, habitatområder og Ramsar-områder inden for de marine Natura 2000-områder.

Der er udpeget 250 Natura 2000-områder i Danmark, hvor 77 er marine eller delvist marine. Marine områder udgør cirka 29.230 km², svarende til 28 % af Danmarks havareal. Tabel 4-26 viser fordelingen af forskellige typer af områder og deres omtrentlige areal.

Tabel 4-26 Oversigt over marine Natura 2000-områder og deres forskellige delområder, samt områdernes areal i kvadratkilometer og procentvis af det totale danske havareal.

Type af område	Areal (marint) km ²	Procentdel af det danske havareal (%)
Natura 2000-områder	Cirka 29.300	28
Habitatområder	Cirka 16.440	16
Fuglebeskyttelsesområder	Cirka 25.200	24
Ramsar-områder	Cirka 6.000	6

Natura 2000-områderne udgøres delvist af habitatområder og fuglebeskyttelsesområder. Danmark har 269 habitatområder. Hvert område er udpeget dels for at beskytte dels for at genoprette en gunstig bevaringsstatus for bestemte naturtyper og arter af dyr og planter. Habitatområderne skal bl.a. beskytte naturtyper, der er i fare for at forsvinde i deres naturlige udbredelsesområde og dyre- og plantearter, der er truede, sårbare eller sjældne.

Habitatområderne er udpeget på grundlag af EU's Habitatdirektiv. I habitatområderne skal det sikres, at de arter og naturtyper, som det enkelte område er udpeget for, ikke påvirkes negativt,

at arter og naturtypers bevaringsstatus fastholdes eller forbedres, og at der ikke skabes hindringer for at opnå habitatdirektivets målsætning om gunstig bevaringsstatus (Miljøstyrelsen, 2020a).

Danmark har 125 fuglebeskyttelsesområder. Formålet med fuglebeskyttelsesområderne er at opretholde og sikre levesteder, der er blevet forringet eller er direkte truede. Hvert område er udpeget for at beskytte bestemte fuglearter, der enten er sjældne, truede eller følsomme over for ændringer af levesteder - eller som regelmæssigt gæster Danmark for at fælde fjer, raste under træk eller overvintre. Fuglebeskyttelsesområderne er udpeget på grundlag af EU's fuglebeskyttelsesdirektiv.

Fuglebeskyttelsesdirektivet fastlægger en generel beskyttelse af alle vilde fugle og deres levesteder i og udenfor Natura 2000-områder. Hvad angår beskyttelsen af fugle generelt, fremgår det af fuglebeskyttelsesdirektivet, at medlemslandene er forpligtede til at træffe alle de nødvendige foranstaltninger for at beskytte, opretholde eller genskabe tilstrækkeligt forskelligartede og vidtstrakte levesteder for alle fugle, jf. fuglebeskyttelsesdirektivets artikel 3. Medlemslandene skal endvidere bestræbe sig på at undgå forurening eller forringelse af levesteder også uden for de udpegede områder, jf. fuglebeskyttelsesdirektivets artikel 4, stk. 4, 2. punktum. Forpligtelserne i fuglebeskyttelsesdirektivet er i den danske gennemførelse af direktivet især forudsat varetaget af myndighederne i forbindelse med administrationen af den almindelige natur-, plan- og miljølovgivning, som efter formålsbestemmelserne skal varetage hensynet til den vilde flora og fauna. I sager, hvor der er miljøvurderingspligt, skal en vurdering af evt. påvirkning af fugle efter plan- og miljølovgivningen indarbejdes i miljøvurderingen. I andre sager vil vurdering af en evt. påvirkning af fugle kunne indgå i begrundelsen for afgørelsen. Vurderingen skal angive, om der kan ske påvirkning af fuglebestandene i og uden for det pågældende Natura 2000-område, herunder påvirkning af levesteder. Ifølge EU-Domstolen er medlemslandene især forpligtede til at bevare levesteder og populationer for truede fuglearter eller arter i tilbagegang. Det skal fremhæves, at der gælder generelle forbud mod forsætligt at forstyrre og dræbe vilde fugle samt at ødelægge deres æg og reder, jf. jagt og vildtforvaltningsloven og artsfredningsbekendtgørelsen. Disse forbud er gennemført i dansk lovgivning som generelle forbud, men hensynet til at undgå forstyrrelse af fuglene skal inddrages i administrationen af natur-, plan- og miljølovgivningen, og kan indgå i vurderingen på linje med de generelle hensyn til arternes levesteder, jf. ovenfor. I tvivlsspørgsmål kan der rettes henvendelse til Miljøstyrelsen (Miljøstyrelsen, 2020a).

Danmark har 28 Ramsar-områder, der er vådområder med særlig betydning for fugle. Formålet med Ramsar-områderne er at beskytte vådområder, der har international betydning som levested for vandfugle. Samtidig nyder en lang række andre planter og dyr godt af beskyttelsen. Alle danske Ramsar-områder indgår i netværket af fuglebeskyttelsesområder, og indgår derfor også i Natura 2000-netværket. Ramsar-områder er udpeget på grundlag af Ramsar-konventionen om beskyttelse af vigtige vådområder. Ramsar-konventionen forpligter myndighederne til at administrere sådan, at beskyttelsen af områderne fremmes, og at områdets karakter ikke ændres (Miljøstyrelsen, 2020a).

4.3.13.2 Påvirkning af internationale naturbeskyttelsesområder

Det er ikke muligt at opstille udtømmende lister over hvilke planer og projekter, der vedrører forhold uden for et Natura 2000-område, som kan skade Natura 2000-områdets integritet. Det er heller ikke muligt at give en klar anvisning på i hvilken afstand fra et Natura 2000-område, kravet om habitatvurdering efter habitatbekendtgørelsens § 6, gælder. Det afhænger altid af en konkret vurdering af den ansøgte plan eller projekt og de mulige skadevirkninger på det berørte Natura 2000-områdes integritet (Miljøstyrelsen, 2020b).

De mulige potentielle påvirkninger fra PtX-anlæg på havet som kan have effekt på habitatnatur-områder og fuglebeskyttelsesområder omfatter alle de presfaktorer som er nævnt i Tabel 4-1. For presfaktorer som kun påvirker vandkvalitet er der kun tale om indirekte påvirkninger af habitat-natur og arter.

Der vil som hovedregel være overensstemmelse mellem kravene til beskyttelse af de målsatte vandforekomsters tilstand og den beskyttelse, der skal sikre naturtyper og arter i Natura 2000-områderne.

Hvis påvirkningerne sker i kystvandområder som er omfattet af EU's vandrammedirektiv og som samtidig overlapper med Natura 2000-områder kan en mulig forringelse af vandkvaliteten anses som en væsentlig påvirkning af Natura 2000-området.

For de målsatte overfladevandområder gælder, at hvis påvirkningen ikke indebærer en forringelse af de målsatte overfladevandområders tilstand, så er der en god formodning om, at påvirkningen heller ikke indebærer en væsentlig påvirkning af det eller de relevante Natura 2000-områder. Der skal dog under alle omstændigheder foretages en selvstændig, konkret væsentligheds- og eventuelt også en konsekvensvurdering efter habitatbekendtgørelsen (Miljøstyrelsen, 2020b).

I de danske marine Natura 2000-områder er der en række habitater og arter som er følsomme overfor de mulige presfaktorer. I Tabel 4-27 og i teksten på de følgende sider er de sandsynlige konsekvenser af de beskrevne presfaktorer påvirkning af de mulige receptorer beskrevet for danske marine Natura 2000-områder.

Tabel 4-27 Presfaktorer og mulige receptorer i marine Natura 2000-områder.

Presfaktor	Kilde til presfaktor/Be-skrivelse	Mulige receptor(er) *	Anlæg	Drift
<i>Undervandsstøj</i>	Etablering og nedtagning af faste strukturer og skibsaktivitet kan medføre undervandsstøj i det marine miljø	Marsvin, gråsæl, spættet sæl, stav-sild kan påvirkes af undervandsstøj. Støjpåvirkningen er helt afhængig af anlægsmetoder, varighed og lokali-sering af projektet. Der findes støj-dæmpende foranstaltninger som kan afværge væsentlige påvirkninger, se afsnit 4.3.2.1	X	X
<i>Fysiske forstyrrelser fra bl.a. visuelle forstyrrelser, lysforurening og luftbåren støj</i>	Fra anlægsmaskiner og aktiviteter herunder skibssejls og tilstedeværelse af konstruktioner	Marsvin, gråsæl, spættet sæl, fugle (rastende gæs, ænder, dykænder, lommer, alkefugle mm. og andre arter på fuglebeskyttelsesdirektivets bi-lag I som benytter havområderne i dele af deres livscyklus). Påvirkning-nen vil være afhængig af anlægsmetoder, omfang og lokalisering, se også afsnit 4.3.3	X	X
<i>Tab og forstyrrelse af havbunden</i>	Etablering af faste fysiske strukturer på havbunden vil medføre introduktion af fast substrat for mulig fasthæftelse, herunder bl.a. platform, erosionsbeskyttelse. Udgravning og nedlægning af rørledning vil resultere i en	Habitatnaturtyperne; Sandbanke, Bugt, Rev, Boblerev, Lagune, Vade-flade, Flodmunding kan påvirkes direkte. Fugle (dykænder, lommer, alkefugle) som lever af fødeemner der er til-knyttet habitaterne kan påvirkes in-direkte, se afsnit 4.3.4	X (midlertidig fysisk forstyrrelse af havbunden)	X (perman-ent tab af havbunds-areal)

	midlertidig forstyrrelse af havbunden. Etablering af faste fysiske strukturer på havbunden vil medføre introduktion af fast substrat for mulig fasthæftelse, herunder bl.a. platform, erosionsbeskyttelse.			
<i>Suspension af sediment (forøget sediment koncentration (SSC))</i>	Gravearbejde og nedramning af fundamenter øger midlertidigt koncentrationen af suspenderede sediment i vandsøjlen.	Karakteristiske arter for stenrev, biogene rev (muslinger) og for habitatnaturtyperne bugt og sandbanke (havgræsser, f.eks. ålegræs), se afsnit 4.3.5	X	
<i>Sedimentation</i>	Fra grave og sandsugningsaktiviteter samt nedlægning af rør og kabler i havbunden.	Karakteristiske arter for stenrev, biogene rev (muslinger) og for habitatnaturtyperne bugt og sandbanke (havgræsser, f.eks. ålegræs) kan påvirkes negativt af sedimentation. Forventet omfang vil dog være meget begrænset og effekten helt lokal omkring kabelanlæg og faste strukturer, se afsnit 4.3.5	X	
<i>Luftemissioner (emission af forurenende stoffer)</i>	Forbrændingen af fossile brændstoffer fra fartøjer vil medføre udledning af luftemissioner: NOX (nitrogenoxider), SOX (svovloxider) og PM (partikler), flaring/venting	Eutrofiering fra tilførsel af nitrogen kan påvirke vandkvalitet i marine Natura 2000-områder. Hvis vandkvaliteten forringes pga. eutrofiering er det sandsynligt at der samtidig er væsentlige påvirkninger af karakteristiske arter for habitatnaturtypen bugt og sandbanke, se afsnit 4.3.6	X	X
<i>Udledning af opvarmet kølevand</i>	Ved PtX-anlæg er behov for store mængder vand til køling af processer og derfor udledes der store mængder opvarmet vand.	Vil ikke påvirke artssammensætningen da forventet temperaturstigning er meget lille og effekten er helt lokal, se afsnit 4.3.8		X
<i>Udledning af højsalint produktionsvand</i>	Indtagstvandt til elektrolyseprocessen skal afsaltes, hvorved der opstår en opkoncentrering af salte i udledningsvandet.	Vil ikke påvirke marine habitater eller naturtyper, se 4.3.9 for beskrivelse og vurdering		X
<i>Udledning af miljøfarlige kemiske stoffer til havet</i>	Kan ske som følge af brug af MFS i processer, men også opkoncentration af MFS fra indtagstvandt.	Kan påvirke vandkvalitet som indirekte kan påvirke karakteristiske arter i marine habitatnaturtypen. Omfanget og karakteren af påvirkningen er helt afhængig af anlægstypen og de involverede processer, se afsnit 4.3.7		X
<i>Udledning/ anvendelse af klimagasser</i>		Vil ikke påvirke marine habitater eller naturtyper, se afsnit 4.3.6	X	X

Utsigtede hændelser				
Presfaktor	Beskrivelse	Mulige receptor(er)	Anlæg	Drift
Udslip af brint	Ved brud på rørlinjen kan der ske udslip af brint	Kan påvirke hvaler og sæler hvis de er i nærheden af udslippet		X
Udslip af ammoniak	Ved udslip som følge af uheld	Kan påvirke marine mobile arter hvis de er i nærheden af udslippet. Ved kystnært udslip kan det også påvirke arter og naturtyper på land, herunder fugle, planter og pattedyr.		X
Udslip af metanol	Ved udslip som følge af uheld	Kan påvirke marine mobile arter hvis de er i nærheden af udslippet		X

* Mulige receptor(er) i danske Natura 2000-områder (Miljøstyrelsen, 2022b, 2022a):

Undervandsstøj

Aktiviteter som medfører undervandsstøj som udsendes i eller breder sig ind i et Natura 2000-område, der har følsomme arter på udpegningsgrundlaget kan betyde at væsentlig påvirkning ikke kan afvises. De følsomme arter er alle mobile arter som også bevæger sig udenfor Natura 2000-områderne. Marsvin er udpeget i en række danske Natura 2000-områder, som har en særlig funktion for marsvin, men marsvin er også beskyttet udenfor områderne og påvirkningen på marsvin skal derfor behandles som en påvirkning på populationsniveau. Derudover er marsvin en strengt beskyttet art (Bilag IV), men det forhold behandles i næste afsnit 4.3.13.4. Marsvin i danske farvande er fordelt på tre delpopulationer og vurderingerne skal forholde sig til dem. Spættet sæl holder sig i nærheden af deres hvilepladser og undervandsstøj kan muligvis påvirke spættet sæls fødesøgning. Gråsæler er meget mere mobile og kan derfor påvirkes også påvirkes af støj i områder som ligger langt udenfor de Natura 2000-områder hvor de er udpeget. Støjforholdene under drift og uden betydning for marine pattedyr og vil derfor ikke have nogen væsentlig påvirkning af Natura 2000-områderne. Støjforholdene under anlæg vil helt afhænge af anlægstype, intensitet og omfang af påvirkningen og hvor denne foregår.

Fysisk forstyrrelse

Fysiske forstyrrelser i form af skibstrafik og andre aktiviteter knyttet til etablering af anlæg på havet kan medføre fortrængning af fugle og marine pattedyr fra Natura 2000-områder. Forstyrrelsen kan medføre væsentlige påvirkninger hvis den har negativ betydning for bestanden. Omfanget af forstyrrelser vil være helt afhængigt af anlægsmetoder, varighed og lokalisering.

Tab og forstyrrelse af havbunden

Tab og forstyrrelse af havbunden vil forekomme hvis selve anlæggene etableres indenfor Natura 2000-områder og hvis tilhørende kabel- og røranlæg krydser Natura 2000-områder. De forventede arealtab ved platformanlæg eller møllebaserede anlæg forventes at være minimale og da samtidig forventes at Natura 2000-områder stort set kan undgås, så vil der kun være mulige potentielle påvirkninger fra arealindgreb i kabelkorridorer. Flere marine Natura 2000-områder omfatter habitatområder med habitatnaturtyper som kan være følsomme overfor arealindgreb ved installation og afinstallation af kabler. Påvirkningen er afgrænset til anlægsfasen og afviklingsfasen, men indgrebet kan involvere både fjernelse af sten og revstrukturer, opgravning af havbund, nedspuling af kabler og etablering af kabelbeskyttelse.

Selvom det samlede areal er begrænset ved kabel- og rørinstallation, vil destruktive indgreb i havbunden som regel medføre betydelige påvirkninger som kan resultere i skade på habitatnaturtyperne, rev, sandbanke og bugt. Det må derfor forventes, at der skal foretages en konsekvensvurdering af kabel- og røranlæg, hvis det passerer igennem et Natura 2000-område.

Øget koncentration af sediment i vandfasen

Øget koncentration af sediment i vandfasen i marine habitatnaturtyper kan risikere at skade karakteristiske arter og derfor er der risiko for at væsentlig påvirkning ikke kan afvises. Ålegræs er en følsom art, men vil kun kunne påvirkes kortvarigt ved nedlægning af kabler eller rør gennem de forholdsvis lavvandede områder hvor ålegræs forekommer. Påvirkningen er reversibel og kan afbødes ved valg af alternative anlægsmetoder som ikke involverer resuspension af sediment. Andre karakteristiske arter er muslinger som f.eks. hestemusling eller blåmusling. Begge arter er følsomme overfor forhøjet sediment i vandet, men kan klare i længere tid uden at filtrere vand. Ligesom for ålegræs findes der alternative metoder som ikke involverer fysiske indgreb i havbunden med tilhørende resuspension af sediment og sedimentation, f.eks. flydende fundamenter og kabeludlægning ovenpå havbunden.

Sedimentation

Samme vurdering som ovenfor for øget koncentration af sediment i vandfasen

Eutrofiering

Eutrofiering er en trussel mod alle danske havområder. Deposition fra luft bidrager kun lidt til eutrofieringen og det er usikkert om bidraget fra luft overhovedet vil kunne måles i de indre danske farvande, hvor tilførslen af næringsstoffer fra land er af et langt større omfang. Påvirkninger på miljøet fra kvælstof deposition er ikke vurderet yderligere da aktiviteterne generelt vurderes at være relativt begrænsede, men dette bør vurderes ved konkrete projekter, som er placeret i følsomme vandområder.

Udledning af opvarmet kølevand

Marine habitatnaturtyper kan påvirkes af udledning af opvarmet kølevand som muligvis kan påvirke artssammensætningen i umiddelbar nærhed af udledningen, idet en konstant udledning af opvarmet kølevand kan medvirke at arter som er bedre tilpasset varmere forhold for en konkurrencefordel i ft arter som ikke er godt tilpasset et varmere hav. Modelleringer i kapitel 3 viser, at påvirkningen på vandtemperaturen er begrænset til en temperaturforøgelse under 1 °C helt tæt på udledningen (<100 m) i meget korte og begrænsede perioder. Temperaturændringen er mindre jo længere væk fra udledningen og længere væk end 5 km ses der ikke målbare påvirkninger. Den gennemsnitlige stigning i temperatur hen over en periode er betydeligt mindre og ligger på omkring 0,05-0,1 grade celsius. Det er vigtigt at pointere, at der ikke vil være et område med permanent opvarmet vand ved udledningspunkt, idet det udledte vand momentant føres væk af strøm, hvormed der ikke ophobes en stående vandmasse med varmere udledningssvand i nærhed af udledningspunktet. Det antages at udledningen af opvarmet kølevand som er havvand med næsten samme salinitet, foregår i overfladen hvor der i forvejen forekommer temperaturudsving. Det må samtidig antages at anlæggene placeres på relativt set store vanddybder (> 20 m) bl.a. for at tillade at installationsfartøjer kan fragte og montere udstyr på platforme eller vindmøletårne. Der vil således ikke være nogen direkte påvirkning af havvandet ved havbunden og derfor vil der heller ikke være nogen direkte påvirkning af de marine habitatnaturtyper som følge af udledning af opvarmet kølevand.

Udledning af kølevand med forhøjet salinitet

Produktion af brint skal bruge ultrarent vand og det fremstilles ved ultrafiltrering og omvendt osmose behandling af havvand. Det afsaltede havvand ledes til elektrolyse og det resterende (rejektvandet) ledes tilbage i havet sammen med kølevandet. Kølevandsmængderne er meget større end rejecktandsmængderne så der sker en fortynding af det højsaline vand fra vandbehandlingsprocessen allerede inden det udledes i havet. Af den grund resulterer udledning af højsalint vand da heller ikke i større koncentrationsstigninger i det omgivende havvand. Ifølge modelberegninger forventes der en øgning på under 1 PSU i umiddelbar nærhed af anlægget.

For de fleste marine organismer som er på udpegningsgrundlaget for Natura 2000 områder i dansk farvand betyder en lille ændring af saltholdighed lokalt ikke noget. Hvaler og sæler er ikke afhængige af bestemte saltholdigheder og de flytter sig ofte mellem områder med meget større forskelle i saltholdighed.

Spredning eller udledning af MFS

Udledning af miljøfarlige forurenende stoffer kan risikere at medføre skader på arter som er karakteristiske for habitatnaturtyper som er på udpegningsgrundlaget i danske marine Natura 2000-områder. Afhængigt af PtX-teknologien vil der kunne forekomme andre udledninger som metanol, kulbrinter og andre organiske biprodukter, dertil også tab af små mængder aktivstoffer fra biocid og PFAS fra slid på elektrolysemembraner. Forurenende stoffer der ophobes i fødekæden, kan påvirke sårbare økosystemer og for arter som er langt oppe i fødekæden som f.eks. marsvin og sæler gælder at de er meget følsomme overfor yderligere tilførsel af særligt tungmetaller og hormonforstyrrende stoffer. De forventede udledninger fra drift af PtX-anlæg på havet er meget begrænsede og omfatter ikke hverken tungmetaller eller hormonforstyrrende stoffer. Det forventes derfor ikke at drift af PtX-anlæg på havet vil give anledning til væsentlig påvirkning på Natura 2000-områder.

Luftemissioner

Udledninger til atmosfæren fra PtX-anlæg på havet vurderes ikke at have nogen effekt på habitatnaturtyper eller -arter.

Utsigtet udslip af brint

På det foreliggende vidensgrundlag er det ikke muligt at vurdere risiko for væsentlige påvirkninger. Vurderes derfor ikke yderligere.

Utsigtet udslip af ammoniak

På det foreliggende vidensgrundlag er det ikke muligt at vurdere risiko for væsentlige påvirkninger. Vurderes derfor ikke yderligere.

Utsigtet udslip af metanol

På det foreliggende vidensgrundlag er det ikke muligt at vurdere risiko for væsentlige påvirkninger. Vurderes derfor ikke yderligere.

4.3.13.3 Påvirkning af fugle

EU's fuglebeskyttelsesdirektiv forpligter medlemslandene til at træffe passende foranstaltninger for at beskytte, opretholde eller genskabe tilstrækkelig forskelligartede og vidtstrakte levesteder for vilde fuglearter. Fuglebeskyttelsesområderne indgår som en del af Natura 2000 netværket og den mulige påvirkning af disse områder behandles i foregående afsnit. Imidlertid indeholder direktivet også et direkte forbud mod:

- a) forsætligt at dræbe eller indfange fugle, uanset hvilken metode der anvendes

- b) forsætligt at ødelægge eller beskadige deres reder og æg samt fjerne deres reder
- c) at indsamle deres æg i naturen og opbevare disse, også selv om de er tomme
- d) forsætligt at forstyrre fuglene navnlig i yngletiden, i det omfang, en sådan forstyrrelse har væsentlig betydning for formålet med dette direktiv
- e) at være i besiddelse af fugle af arter, som det ikke er tilladt at jage og indfange.

Direktivets bestemmelser er implementeret i dansk ret i lov om vildtforvaltning og lov om naturbeskyttelse.

Placering af store tekniske anlæg på havet kan som tidligere nævnt medføre en påvirkning af mobile arter der kan opfatte platforme og installationer som landområder eller øer. Fugle som trækker over havet, kan forveksle faste installationer med land (særligt i dårligt vejr med ringe sigt) og dermed tiltrækkes af disse.

Forbud mod forsætligt drab

Udvikling af PtX involverer etablering af fysiske anlæg på havet og skibstrafik forbundet med anlæg og drift. De gængse anlægsmetoder til etablering af anlæg på havet medfører ikke nogen risiko for direkte drab på fugle. Det forventes heller ikke at øget skibstrafik kan resultere i drab af fugle. Der er identificeret en mulig tiltrækningseffekt (Ø-effekt) ved offshore anlæg som kan medføre at trækfugle og de fugle der fouragerer langt ude til havs midlertidigt raster på platforme, møller eller skibe. Der vil i udgangspunktet ikke være føde tilgængelig for trækfuglene i tilstrækkelige mængder til at de kan overleve i længere tid på havet. Undtagelsen er de fugle som kan søge deres føde på eller i havet. Hvorvidt tiltrækning til offshore anlæg og skibe kan medføre at fugle mister energi i et omfang som medfører døden for individer som raster på disse anlæg må bero på en nærmere vurdering, da det vil afhænge af en række forhold som ikke er kendt, bl.a. afstand til land.

Forbud mod forsætlig forstyrrelse

Udvikling af PtX kan muligvis medføre forstyrrelser af trækfugle på grund af den ovennævnte Ø-effekt. Forstyrrelse af fugle på havet kan medføre at deres trækrute påvirkes eller at de forhindres i at søge føde. Det er forbudt at forstyrre vildtlevende fugle hvis forstyrrelsen har væsentlig betydning for formålet med dette direktiv. Formålet er beskrevet i artikel 2:

Medlemsstaterne træffer alle nødvendige foranstaltninger til at opretholde eller tilpasse bestanden af samtlige de i artikel 1 omhandlede arter på et niveau, som især imødekommer økologiske, videnskabelige og kulturelle krav og samtidig tilgodeser økonomiske og rekreative hensyn.

Forsætlig forstyrrelse kan altså accepteres i et vist omfang med mindre at forstyrrelsen har en sådan karakter at der er risiko for at bestanden væsentligt reduceres. For rødlistede arter hvor bestanden er under bestandsmålet eller i nedgang kan forstyrrelse af trækruter eller fødesøgningsområder medføre et øget energiforbrug som igen kan medføre ringere fitness og forringet reproduktionsevne.

4.3.13.4 Påvirkning af strengt beskyttede arter (Bilag IV arter)

Habitatdirektivets bilag IV indeholder en liste over udvalgte arter, som medlemslandene i EU er forpligtet til at beskytte, både inden for og uden for Natura 2000-områderne. Disse arter betegnes bilag IV-arter. Arterne er omfattet af en streng beskyttelse. I Danmark er habitatdirektivet blandt andet implementeret i dansk lovgivning gennem habitatbekendtgørelsen.

Beskyttelsesordningen for bilag IV-arter er defineret i artikel 12. Den fulde ordlyd af artikel 12 er gengivet herunder:

Artikel 12

1. Medlemsstaterne træffer de nødvendige foranstaltninger til at indføre en streng beskyttelsesordning i det naturlige udbredelsesområde for de dyrearter, der er nævnt i bilag IV, litra a), med forbud mod:
 - a. alle former for forsætlig indfangning eller drab af enheder af disse arter i naturen
 - b. forsætlig forstyrrelse af disse arter, i særdeleshed i perioder, hvor dyrene yngler, udviser yngelpleje, overvintrer eller vandrer
 - c. forsætlig ødelæggelse eller indsamling af æg i naturen
 - d. beskadigelse eller ødelæggelse af yngle- eller rasteområder.
2. For disse dyrearter forbyder medlemsstaterne opbevaring, transport eller salg af eller bytte med og udbud til salg eller bytte af enheder, der er indsamlet i naturen, med undtagelse af dem, der lovligt er indsamlet inden iværksættelsen af dette direktiv.
3. Forbuddene i stk. 1, litra a) og b), samt stk. 2 gælder for alle livsstadier hos de dyr, der er omfattet af denne artikel.
4. Medlemsstaterne indfører en ordning med tilsyn med uforsætlig indfangning eller drab af de dyrearter, der er nævnt i bilag IV, litra a). På grundlag af de indhentede oplysninger gennemfører medlemsstaterne de yderligere undersøgelser eller træffer de bevaringsforanstaltninger, der er nødvendige for at sikre, at uforsætlig indfangning eller drab ikke får en væsentlig negativ virkning for de pågældende dyrearter.

I forhold til udvikling af PtX på havet er det relevant at undersøge om der er risiko for konflikt med de direkte forbud i artikel 12, stk. 1. Det er klart, at konkrete vurderinger først kan foretages når projekter kendes i flere detaljer, så dette afsnit tjener kun som oplysning.

Hvaler

Som beskrevet i afsnit 4.3.2 kan undervandsstøj fra anlægsarbejde eller skibstrafik medføre adfærdsforstyrrelser som kan resultere i fortrængning af marsvin og andre hvaler fra områder hvor de søger føde eller yngler. Veldefinerede yngleområder er ikke beskrevet for danske hvaler og det antages derfor at hele det danske havareal er egnet som yngleområde for hvaler. I det følgende vurderes der om udvikling af PtX på det danske havareal kan være i risiko for at være i konflikt med de direkte forbud i habitatdirektivets artikel 12.

Forbud mod forsætligt drab

Udvikling af PtX involverer etablering af fysiske anlæg på havet og skibstrafik forbundet med anlæg og drift. De gængse anlægsmetoder til etablering af anlæg på havet medfører ikke nogen risiko for drab på hvaler. Det forventes heller ikke at øget skibstrafik kan resultere i drab på hvaler. Det kan derfor indtil videre afvises at der i forbindelse med udvikling af PtX på det danske havareal skulle være risiko for drab af marsvin eller andre hvaler.

Forbud mod forsætlig forstyrrelse

Udvikling af PtX vil medføre forstyrrelser af hvaler bl.a. som følge af undervandsstøj udsendt fra udstyr der bruges til forundersøgelser og til installation af kabler/platforme/anlæg på havet. Forbudet mod forstyrrelser er uddybet i EU's vejledning til vurdering af strengt beskyttede arter (EU kommissionen, 2021) og deri præciseres det at forbuddet kun gælder de forstyrrelser der kan resultere i negative påvirkninger af bestandens bevaringsstatus. Enhver forsætlig forstyrrelse, der forringer en beskyttet arts overlevelseschancer, formering eller reproduktionsevne, eller som medfører beskadigelse af udbredelsesområdet eller fortrængning af arten, bør anses for en "forstyrrelse" som omhandlet i artikel 12. Det er klart, at en aktivitet, der forsætligt forstyrrer en art i

et sådant omfang, at det kan påvirke dens overlevelseschancer, formering eller reproduktions-evne, eller som medfører beskadigelse af udbredelsesområdet eller fortrængning af arten, bør an- ses for en "forstyrrelse" som omhandlet i artikel 12 (EU kommissionen, 2021).

Det er umuligt at vurdere om der er konflikt med forbuddet mod forsætlig forstyrrelse når place- ring af anlægget og omfanget af forundersøgelser og anlægsaktiviteter ikke kendes i detaljer. I de kommende vurderinger af PtX-anlæg på havet skal det derfor undersøges hvorvidt de forstyr- relser der forventes i forbindelse med forundersøgelser, anlæg, drift eller afvikling kan påvirke be- standen af de på stedet forekommende hvalarter.

Forbud mod beskadigelse eller ødelæggelse af yngle- og rasteområder.

Yngle- og rasteområder skal beskyttes strengt, fordi de er afgørende for dyrenes livscyklus og er afgørende for en arts samlede levested. Artikel 12, stk. 1, litra d), bør derfor forstås som en målsætning om at sikre sådanne områders økologiske funktion og sikre, at de fortsat leverer alle de elementer, som dyrene skal bruge for at raste eller yngle. Beskyttelsen gælder hele året, hvis disse områder anvendes regelmæssigt.

Det giver ikke mening at definere udvalgte rasteområder for hvaler, da hvaler ikke er kendt for at raste. Mht. yngleområder så er det kendt at nogle arter har mere eller mindre klart definerede yngleområder selvom disse områder kan være meget store (f.eks. havområderne omkring Azo- rerne som benyttes af kaskelotter fra Nordatlanten). Der er ikke belæg for at udskille mindre om- råder indenfor det danske havområde som definerede yngleområder. Af den grund anses hele det danske havareal i udgangspunktet for at være egnet som yngleområde for marsvin. Desuden ses der tegn på at hvidnæse også yngler i indre danske farvande og i den danske del af Nordsøen fo- rekommer tillige andre hvalarter jævnlige, men det er usikkert om andre hvalarter yngler i den danske del af Nordsøen.

Vurderinger af fremtidige PtX-anlæg og tilknyttede aktiviteter skal derfor forudsætte at marsvin benytter hele det danske havområde som yngleområde og at hvidnæse også yngler i de indre danske farvande.

Yngleperioden for marsvin er heller ikke klart afgrænset til dele af året. Det er kendt at marsvin føder unger i april-maj og derefter dier ungerne i op til 11 måneder derefter. Af den grund må hele året anses for at være yngleperiode for marsvin.

Påvirkningen på havmiljøet og på marine pattedyr er vurderet ovenfor i afsnittene 4.3.2.1, 4.3.4.5, 4.3.5.6, 4.3.8.6, 4.3.11 og 4.3.13.2 . Der er ikke grund til at forvente at udvikling af PtX vil føre til beskadigelser eller ødelæggelser af yngleområder, hvis de rette afværgetiltag og pro- jekteringer gennemføres.

Flagermus

Forbud mod forsætligt drab

Udvikling af PtX involverer etablering af fysiske anlæg på havet og skibstrafik forbundet med an- læg og drift. De gængse anlægsmetoder til etablering af anlæg på havet medfører ikke nogen ri- siko for direkte drab på flagermus. Det forventes heller ikke at øget skibstrafik kan resultere i drab af flagermus. Der er identificeret en mulig tiltrækningseffekt (Ø-effekt) ved offshore anlæg som kan medføre at trækkende flagermus og de flagermus, der fouragerer langt ude til havs mid- lertidigt raster på platforme, møller eller skibe. Der vil i udgangspunktet ikke være føde tilgænge- lig for flagermus i tilstrækkelige mængder til at de kan overleve i længere tid på havet. Hvorvidt tiltrækning til offshore anlæg og skibe kan medføre at flagermus mister energi i et omfang som

føre til døde individer ved at raste på disse anlæg må bero på en nærmere vurdering, da det vil afhænge af en række forhold som ikke er kendt, bl.a. afstand til land.

Forbud mod forsætlig forstyrrelse

Udvikling af PtX kan muligvis medføre forstyrrelser af flagermus på træk på grund af den ovennævnte Ø-effekt. Forbuddet mod forstyrrelser er uddybet i EU's vejledning til vurdering af strengt beskyttede arter (EU kommissionen, 2021) og deri præciseres det at forbuddet kun gælder de forstyrrelser der kan resultere i negative påvirkninger af bestandens bevaringsstatus. Enhver forsætlig forstyrrelse, der forringer en beskyttet arts overlevelseschancer, formering eller reproduktionssevne, eller som medfører beskadigelse af udbredelsesområdet eller fortrængning af arten, bør anses for en "forstyrrelse" som omhandlet i artikel 12. Det er klart, at en aktivitet, der forsætligt forstyrrer en art i et sådant omfang, at det kan påvirke dens overlevelseschancer, formering eller reproduktionsevne, eller som medfører beskadigelse af udbredelsesområdet eller fortrængning af arten, bør anses for en "forstyrrelse" som omhandlet i artikel 12. Forstyrrelsen (tiltrækning til platforme, skibe eller møller) skal altså have en negativ påvirkning på artens overlevelseschancer før der er risiko for konflikt med forbuddet artikel 12.

Det er umuligt at vurdere om der er konflikt med forbuddet mod forsætlig forstyrrelse når placering af anlægget og omfanget af forundersøgelser og anlægsaktiviteter ikke kendes i detaljer. I de kommende vurderinger af PtX-anlæg på havet skal det derfor undersøges hvorvidt de forstyrrelser der forventes i forbindelse med forundersøgelser, anlæg, drift eller afvikling kan påvirke bestanden af de på stedet forekommende flagermusarter.

Yngle- og rastesteder

Der er ikke egnede yngle- og rastesteder for flagermus på havet. Derfor kan risiko for at udvikling af PtX-anlæg på havet kan være i konflikt med forbud mod beskadigelse af yngle- og rastesteder afvises.

4.3.14 Danmarks Havstrategidirektiv

EU's havstrategidirektiv er implementeret i dansk lov ved havstrategiloven (LBK nr 123 af 01/02/2024). Loven har til formål at fastlægge rammerne for de foranstaltninger, der skal gennemføres for at opnå eller opretholde god miljøtilstand (GES, Good Environmental Status) i havets økosystemer og ligeledes muliggøre en bæredygtig udnyttelse af havets ressourcer. Nærværende afsnit redegør overordnet for den potentielle påvirkning af havstrategidirektivets deskriptorer i forbindelse med projektet.

Som del af Danmarks Havstrategi udarbejdes en basisanalyse, et overvågningsprogram og et indsatsprogram som revideres hvert 6. år og som målrettes hele det danske marine økosystem; fra kysten og ud til dansk EEZ-grænse. Strategien baseres på en helhedsorienteret vurdering af havmiljøets tilstand og inddeles i 11 emner, såkaldte deskriptorer. Hver deskriptor beskriver en række tilstandselementer og påvirkninger i havmiljøet.

Ved realisering af projektet kan de potentielle miljøpåvirkninger medføre effekter på følgende af havstrategidirektivets 11 deskriptorer og derfor potentielt modvirke opnåelse eller opretholdelse af god miljøtilstand i havets økosystemer, se Tabel 4-28. Kun de effekter som ud fra lignende anlægsprojekter har vist sig at medføre en potentiel effekt på havstrategiens miljømålsætning er redegjort for i tabellen. De potentielle påvirkninger, som ikke er listet i tabellen, er ud fra en ekspertvurdering vurderet til ikke at være relevant for projektet og vil derfor ligeledes undtages i den følgende analyse af de enkelte deskriptoreres miljømål ved realisering af projektet. Overordnet vil det udelukkende være deskriptor D1 Biodiversitet, D2 Ikke hjemmehørende arter, D4 Fødenet, D6 Havbundens integritet, D7 Hydrografiske ændringer, D8 Forurenende stoffer, D9 Forurenende

stoffer i fisk og skaldyr samt D11 Undervandsstøj som potentielt vil kunne påvirkes fra realisering af PtX-projekter.

Tabel 4-28 Potentielle påvirkninger af havstrategidirektivets 11 deskriptorer fra projektets anlægs- og driftsaktiviteter.

Deskriptor	Påvirkning fra etablering af faste fysiske på havbunden	Påvirkning fra nedlægnings af kabler og rør i havbunden	Påvirkning fra øget skibstrafik i forbindelse med anlæg og drift	Påvirkning fra bl.a. visuelle forstyrrelser, lysforurening og luftbåren støj	Påvirkning fra emission af forurenende stoffer fra bl.a. forbrændings-	Påvirkning fra udledning af opvarmet og salint kølevand	Påvirkning fra udslip af brint, ammoniak og metanol til havvandet	Påvirkning fra udledning og udslip af næringsstoffer
D1 Biodiversitet	X	X	X	X	X	X	X	X
D2 Ikke hjemmehørende arter	X	X	X					
D3 Kommercielle fisk og skaldyr								
D4 Fødenet	X	X		X		X	X	X
D5 Eutrofiering								X
D6 Havbundens integritet	X	X						
D7 Hydrografiske ændringer	X							
D8 Forurenende stoffer	X	X			X		X	
D9 Forurenende stoffer i fisk og skaldyr					X		X	
D10 Marint affald								
D11 Energi, undervandsstøj	X	X	X					

Nedenfor i Tabel 4-29 er der for Danmarks Havstrategi redegjort for hvordan de potentielle miljømål for hver deskriptor vil påvirkes, hvis anlæg og drift af PtX på havet realiseres. Beskrivelsen af påvirkningen og dens effekt på de enkelte receptorer baseres på en overordnet betragtning ud fra lignende erfaringsgrundlag.

Tabel 4-29 havstrategidirektivets miljømål og beskrivelse af potentiel påvirkning ved anlæg og drift af PtX på havet

Deskriptor	Miljømål	Beskrivelse af potentiel påvirkning
D1 Biodiversitet	Den biologiske diversitet bevares. Levestedernes kvalitet og forekomst samt arternes udbredelse og hyppighed er i overensstemmelse med de fremherskende fysiografiske, geografiske og klimatiske forhold. Miljømål: 1.1 Utsigtet bifangst af fugle ligger på et niveau, som ikke truer arten på lang sigt. 1.2 For fugle sikres bestande og levesteder opretholdt og beskyttet i henhold til målsætninger under fuglebeskyttelsesdirektivet. 1.3 Miljø- og Fødevareministeriet bidrager til det regionale arbejde vedrørende fastsættelse af tærskelværdier og god miljøtilstand og arbejder for, at tilstanden for biodiversitet er i overensstemmelse hermed. 1.4 Øget viden om bifangst af havfugle indsamles i medfør af de relevante overvågningsprogrammer. 1.5 Behov for beskyttelsestiltag for HELCOM og OSPAR rødlistede arter vurderes. Findes der rødlistede arter, som er truede eller ikke tilstrækkeligt beskyttede, vil Miljø- og Fødevareministeriet konkret vurdere behov for og evt. gennemføre yderligere tiltag i samarbejde med relevante ministerier. 1.6 Utsigtet bifangst af marsvin reduceres mest muligt og som minimum til et niveau under 1,7 % af den samlede bestands størrelse. 1.7 Utsigtet bifangst af sæler ligger på et tilstrækkeligt lavt niveau, som ikke truer bestande af sæler på lang sigt. 1.8 Marsvin, spættet sæl og gråsæl opnår gunstig bevaringsstatus i overensstemmelse med den tidshorisont, der er fastsat under habitatdirektivet.	Fugle: Fugle kan potentielt blive påvirket af lysforstyrrelser og luftbåren støj, men påvirkningerne vurderes generelt at være ubetydelige. Ved større utilsigtede hændelser ved eksempelvis spild af ammoniak og/eller jetfuel og andre olieholdige produkter kan fugle potentielt påvirkes. Påvirkningens betydning vil være afhængig af geografi og den konkrete hændelse. Havpattedyr: Havpattedyr kan potentielt blive påvirket af undervandsstøj og visuelle forstyrrelser. Afhængig af de pågældende anlægsaktiviteter for nedramningsarbejder kan projektet forårsage fysiske høreskader inden for en afgrænset afstand til projektområdet. Ligeledes vil pattedyrene uundgåeligt udvise en undvigende adfærd i den periode nedramningsarbejderne foregår. Projektet vil skulle tilpasses ved brug af støjmitigerende tiltag så effekterne vil være midlertidige og derfor ikke vil påvirke bestandene af havpattedyr. Brugen af støjmitigerende tiltag for reduktion af den fysiske påvirkning fra undervandsstøj er yderligere beskrevet for D11 – Undervandsstøj. Undervandsstøj fra stigning i skibstrafikken vil ligeledes kunne medføre en fysisk påvirkning af havpattedyr. Påvirkningen vil dog generelt ikke medføre en betydelig effekt på tilstedeværelsen, da støjen vil være midlertidig og af frekvensstyrker som ikke medfører hverken midlertidig eller permanent fysisk hørnedsættelse. Ved større utilsigtede hændelser ved eksempelvis spild af ammoniak og/eller jetfuel og andre olieholdige produkter kan havpattedyr potentielt påvirkes. Påvirkningens betydning vil være afhængig af geografi og den konkrete hændelse. Fisk: Nogle fiskearter kan blive forstyrret af støj fra forbipasserende fartøjer og forventes, at være i stand til at kunne flygte. Påvirkningen af fisk fra forbipasserende fartøjer vil være afhængig af afstand, anatomi og den støj som fartøjernes generer (udtrykt som frekvensstyrker). Generelt vurderes fisk med svømmeblære direkte koblet til deres indre høreorgan (som sildefisk), at være de mest følsomme. Fisks følsomhed overfor undervandsstøj er dog fortsat under stor

Deskriptor	Miljømål	Beskrivelse af potentiel påvirkning
	1.9 Miljø- og Fødevareministeriet bidrager til at fastsætte bestandsspecifikke tærskelværdier for bifangst af marsvin i regionalt regi med henblik på efterfølgende fastsættelse af miljømål for sårbare bestande af marsvin. 1.10 Øget viden om bifangst af havpattedyr indsamles i medfør af de relevante overvågningsprogrammer. 1.11 Miljø- og Fødevareministeriet gennemfører en analyse af bifangsten af hajer og rokker i danske havområder, og muligheden for en DNA-baseret tilgang til artsbestemmelse undersøges. 1.12 Miljø- og Fødevareministeriet udvikler en national indikator til bedømmelse af tilstanden for danske kystfisk, der ikke udnyttes erhvervsmæssigt, og mulighederne for at videreudvikle regionale indikatorer undersøges. 1.13 Forekomsten af plankton følger langtidsgennemsnittet. 1.14 Miljø- og Fødevareministeriet følger udviklingen og forbedrer vidensgrundlaget om plankton gennem overvågning.	usikkerhed, og er på artsniveau endnu ikke grundlagt. De potentielle påvirkninger vil opfattes som midlertidige og forventes ikke at påvirke fiskebestandene. Ved større utilsigtede hændelser ved eksempelvis spild af ammoniak og/eller jetfuel og andre olieholdige produkter kan fisk potentielt påvirkes. Påvirkningens betydning vil være afhængig af geografi og den konkrete hændelse. Pelagiske habitater: Anlæg og drift af PtX vil ikke påvirke planktonmængden da det vurderes, at et projekt ikke vil medføre udledning af bl.a. næringssalte i mængder og koncentrationer som vil kunne udgøre en længerevarende eller betydelig økologisk effekt. Ved det utilsigtede uheldsscenarie med spild af ammoniak kan der dog ske en potentiel påvirkning af karakter. Dette er dog et usandsynligt og utilsigtet scenarie. Ved utilsigtede hændelser (som redegjort i teksten ovenfor) kan der potentielt være risiko for betydelige påvirkninger af miljømål for D1. Ved normal drift forventes den marine biodiversitet dog ikke at påvirkes betydeligt. Det forventes generelt, at det vil være muligt at realisere anlæg og drift af PtX på havet uden at medføre påvirkninger af miljømålene for D1.
D2 Ikke hjemmehørende arter	Ikke-hjemmehørende arter, der er indført af menneskelige aktiviteter, er på et niveau, der ikke ændrer økosystemerne negativt. Miljømål: 2.1 Antallet af nye ikke-hjemmehørende arter, der indføres via ballastvand, begroning og andre relevante menneskelige aktiviteter, er faldende. 2.2 Udbredelsen af visse invasive arter er så vidt muligt på et niveau, således at væsentlige negative effekter er stabile eller faldende. 2.3 Miljø- og Fødevareministeriet bidrager til det regionale arbejde vedrørende fastsættelse af tærskelværdier og fastlæggelse af god miljøtilstand og arbejder for at sikre, at antallet af nye ikke-hjemmehørende arter og påvirkninger fra invasive arter er i overensstemmelse hermed.	Der vurderes at være risiko for indførsel og spredning af ikke-hjemmehørende arter i forbindelse med anvendelsen af skibsfartøjer og ved potentielle stepping-stone effekter, hvor bl.a. fundamentstrukturer og erosionsbeskyttelse kan udgøre habitat og spredningskorridorer for ikke-hjemmehørende arter. En potentiel stepping-stone effekt er vurderet til at være meget lille, da en række meget specifikke forhold skal gøre sig gældende for at facilitere en succesfuld kolonisering og videre spredning af ikke-hjemmehørende arter. Disse specifikke forhold kendes først ved et konkret projekt. Afsnit 4.3.8.2 beskriver hvordan udledning af opvarmet kølevand formentlig ikke vil medføre væsentlig kolonisering eller spredning af ikke-hjemmehørende arter, da potentielle temperaturstigninger vil være relativt små og kortvarige og dermed ikke medføre permanente ændringer i temperaturforhold, der måtte muliggøre kolonisering fra ikke-hjemmehørende arter. Dog forpligtes de anvendte fartøjer at overholde kravene i

Deskriptor	Miljømål	Beskrivelse af potentiel påvirkning
		Ballastvandskonventionen (International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM), 2004). Fartøjerne vil desuden følge IMO's retningslinjer for kontrol og forvaltning af skibes begroning for at minimere overførslen af invasive akvatiske arter fra 2011. Disse retningslinjer er i øjeblikket under revision i IMO. I Danmark bliver IMO's havmiljøregler især udmøntet gennem "Lov om beskyttelse af havmiljøet" (LBK Nr 147 Af 19/02/2024 - Bekendtgørelse Af Lov Om Beskyttelse Af Havmiljøet, n.d.). Det forventes generelt, at det vil være muligt at realisere anlæg og drift af PtX på havet uden at medføre påvirkninger af miljømålene for D2.
D3 Erhvervsmæssigt udnyttede fiskebestande	Populationerne af alle fiske- og skaldyrarter, der udnyttes erhvervsmæssigt, ligger inden for sikre biologiske grænser og udviser en alders- og størrelsesfordeling, der er betegnende for en sund bestand. Miljømål: 3.1: Antallet af kommercielt fiskede bestande, der reguleres efter MSY-principperne (maksimalt bæredygtigt udbytte) i den fælles fiskeripolitik, stiger. 3.2: Inden for rammerne af den fælles fiskeripolitik er fiskeridødeligheden (F) på niveauer, der kan sikre maksimalt bæredygtigt udbytte (Fmsy). 3.3: Inden for rammerne af den fælles fiskeripolitik er gydebiomassen (B) over det niveau, der kan sikre maksimalt bæredygtigt udbytte (MSY Btrigger).	Projektet vil ved realisering ikke medføre påvirkning af miljømål for D3 Erhvervsmæssigt udnyttede fiskebestande. Det forventes generelt, at det vil være muligt at realisere anlæg og drift af PtX på havet uden at medføre påvirkninger af miljømålene for D3.
D4 Fødenet	Alle elementer i de marine fødekæder, i det omfang de er kendt, forekommer i normal mængde og diversitet og på niveauer, der kan sikre arternes langsigtede forekomst og bevarelse af deres fulde reproduktionskapacitet. Miljømål: 4.1 Miljø- og Fødevareministeriet bidrager til regionalt arbejde vedrørende fastsættelse af tærskelværdier og bestemmelse af god miljømæssig tilstand og arbejder for at sikre, at de antropogene påvirkninger af fødekæden er i overensstemmelse hermed. 4.2 Miljø- og Fødevareministeriet bidrager til regional viden og metodologiudvikling omkring marine fødekæder.	Som redegjort i beskrivelsen af påvirkningen for Deskriptor 1, vil Deskriptor 4 ligeledes potentielt kunne påvirkes fra realisering af projektet. Ved udledning af kølevand kan der lokalt ske en mindre opkoncentrering af dødt organisk materiale i vandsøjlen og havbunden omkring udledningspunktet. Udledning af dødt organisk materiale kan give anledning til et meriltforbrug, der kan påvirke de fysiske og kemiske forhold for den bundlevende flora og fauna. Da mængden af udledt organisk materiale vil være tilsvarende mængden i indtagsvandet, og grundet omrøring og spredning før eventuel bundfældning vil en stigning i koncentration af organisk materiale i sedimentet sandsynligvis være relativt lille. Risikoen for påvirkningen af fødekæden, gennem påvirkning af den bundlevende flora og fauna vil

Deskriptor	Miljømål	Beskrivelse af potentiel påvirkning
	4.3 Miljø- og Fødevareministeriet følger udviklingen i fødenettet igennem overvågning af fødenettets enkelte delelementer.	formentlig være større i områder med lavt vand og lille vandudskiftning, hvor dødt organisk materiale hurtigere vil sedimenteres. Påvirkning fra udledning af næringsstof fra kølevandsudledning vil grundet det begrænsede indhold af næringsstof og den forventede efterfølgende høje fortynding ikke medføre en sandsynlig påvirkning af fødekæden jf. miljømål 4.3. Den endelige vurdering vil dog afhænge af det konkrete projekt med hensyn til mængden af kølevand og anlæggets placering. Udslip af atmosfærisk næringsstof i form af kvælstofoxider (NOx) vil ikke medføre risiko for påvirkning af det marine fødekædenetværk. Den begrænsede deposition af NOx vil grundet den forventede høje fortynding i de marine miljøer ikke medføre eutrofiering (se desuden D5 Eutrofiering), og derved påvirkning af de bundlevende dyre- og algesamfund. Ved større utilsigtede hændelser ved eksempelvis spild af ammoniak og/eller jetfuel og andre olieholdige produkter kan fødekædenetværket potentielt påvirkes. Påvirkningens betydning vil være afhængig af geografi og den konkrete hændelse. Ved normal drift forventes den marine biodiversitet og herigennem fødekædenetværk dog ikke at påvirkes betydeligt. Effekterne vurderes dog ikke af betydning, hvorfor det forventes at være muligt at realisere anlæg og drift af PtX på havet uden at medføre påvirkninger af miljømålene for D4.
D5 Eutrofiering	Menneskeskabt eutrofiering (forhøjet koncentration af næringsstoffer) minimeres, især de negative påvirkninger heraf, såsom tab af biodiversitet, nedbrydning af økosystemer, skadelige algeopblomstringer og iltmangel i bundvandet. Miljømål: 5.1 Miljø- og Fødevareministeriet bidrager til det regionale arbejde vedrørende fastsættelse af tærskelværdier og god miljøtilstand for Nordsøen, inkl. Skagerrak og arbejder for, at menneskeskabt eutrofiering og effekterne heraf er i overensstemmelse hermed. 5.2 Dansk andel af tilførsler af kvælstof og fosfor (TN, TP) følger de maksimalt acceptable tilførsler fastsat i HELCOM. 5.3 Kystvande: Målbekæmpelser og indsatsbehov for fjorde og kystvande fastsat i henhold til vandrammedirektivet overholdes. Mål og behov fremgår af de danske vandområdeplaner.	Anlæg og drift af PtX vil ikke påvirke eutrofieringen da det vurderes, at et projekt ikke vil medføre udledning af bl.a. næringssalte i mængder og koncentrationer som vil kunne udgøre en længerevarende eller betydelig eutrofieringseffekt. Ved det utilsigtede uheldsscenario med spild af ammoniak kan der dog ske en potentiel påvirkning af karakter. Dette er dog et usandsynligt og utilsigtet scenario. Ved normal drift forventes udledningen af næringssalte (beskrevet for D4 Fødenet) dog ikke at påvirkes betydeligt. Det forventes generelt, at det vil være muligt at realisere anlæg og drift af PtX på havet uden at medføre påvirkninger af miljømålene for D5.

Deskriptor	Miljømål	Beskrivelse af potentiel påvirkning
D6 Havbundens integritet	Havbundens integritet er på et niveau, der sikrer, at økosystemernes struktur og funktioner er sikret, og at især benthiske økosystemer ikke påvirkes negativt. Miljømål - tab og fysiske påvirkninger: 6.1 Miljø- og Fødevareministeriet bidrager til arbejdet regionalt og i EU vedrørende fastsættelse af tærskelværdier og god miljøtilstand og arbejder for, at tab, fysisk forstyrrelse og negative effekter på havbunden er i overensstemmelse hermed. 6.2 Vidensgrundlaget om den danske havbund, udbredelsen og beliggenheden af havbundens naturtyper og deres tilstand forbedres i forbindelse med overvågningsprogrammet (NOVANA). 6.3 Gennem arbejdet regionalt og i EU skabes bedre forståelse af påvirkninger på havbunden i forhold til tab, forstyrrelse og negativ påvirkning. 6.4 I forbindelse med tilladelse til aktiviteter på havet, der kræver en miljøkonsekvensvurdering, fremmer godkendelsesmyndigheden, at udstrækningen af fysisk tab og fysisk forstyrrelse af havbundens overordnede habitattyper vurderes og indrapporteres til Miljøstyrelsen (overvågningsprogram). Habitattyper på havbunden: 6.5 Habitatdirektivets marine naturtyper opnår gunstig bevaringsstatus i overensstemmelse med den tidshorisont, der er fastsat af habitatdirektivet. 6.6 Det nordlige Øresund udpeges som beskyttet område under havstrategidirektivet, og der gennemføres et stop for tilladelser til indvinding af råstoffer. Dette medfører ikke ændringer i forhold til den eksisterende fiskeriregulering. 6.7 Væsentlige habitater indeholder de for danske havområder almindeligt forekommende arter og samfund. 6.8 Når tærskelværdier for tab, forstyrrelse og negative påvirkninger er fastsat i EU og de regionale havkonventioner, vil Miljø- og Fødevareministeriet igangsætte et projekt, som	På steder hvor de fysiske strukturer optager et permanent areal af havbunden og den efterfølgende ikke ses blotlagt, vil havbunden ifølge Danmarks Havstrategi II, deskriptor 6, miljømål D6C1 kategoriseres som "tabt havbund". I områder hvor havbunden efter installation fysisk ændres, f.eks. ved etablering af fastsubstrat på blød bund, vil havbunden ifølge miljømål D6C2 kategoriseres som fysisk forstyrret havbund og habitat. Flere af havstrategidirektivets deskriptorer kan risikere at blive påvirket som følge af arealinddragelse og fysisk forstyrrelse af havbunden. Det gælder bl.a. D1 biodiversitet, D2 Ikke hjemmehørende arter og D4 havets fødenet. Det forventes generelt, at det vil være muligt at realisere anlæg og drift af PtX på havet uden at medføre påvirkninger af miljømålene for D6.

Deskriptor	Miljømål	Beskrivelse af potentiel påvirkning
	kan danne grundlag for at fastsætte miljømål i overensstemmelse med tærskelværdierne og god miljøtilstand. 6.9 Behov for beskyttelsestiltag for HELCOM og OSPAR rødlistede naturtyper vurderes. Findes der rødlistede naturtyper, som er truede eller ikke tilstrækkeligt beskyttede, vil Miljø- og Fødevareministeriet konkret vurdere behov for og evt. gennemføre yderligere tiltag i samarbejde med relevante ministerier. 6.10 Behovet for supplerende beskyttede områder eller andre tiltag i Østersøen og Nordsøen vurderes, og tilsvarende vurdering foretages for Bælthavet efterfølgende.	
D7 Hydrografiske ændringer	En permanent ændring af de hydrografiske forhold har ingen negativ påvirkning på de marine økosystemer. Miljømål: 7.1 Menneskeskabte aktiviteter, som især er forbundet med fysisk tab af havbunden, og som forårsager permanente hydrografiske ændringer og har alene lokale påvirkninger på havbunden og i vandsøjlen og udformes under hensyn til miljøet samt, hvad der er teknisk muligt og økonomisk rimeligt for at forebygge skadelige påvirkninger på havbunden og i vandsøjlen. 7.2 i forbindelse med tilladelse til aktiviteter på havet, der kræver en miljøkonsekvensvurdering, fremmer godkendelsesmyndigheden, at opgørelse over hydrografiske ændringer og de negative påvirkninger heraf indrapporteres til Miljøstyrelsen (overvågningsprogram).	Ved etablering af faste fysiske strukturer på havbunden vil der potentielt kunne opstå ændringer i hydrografien og vil den vertikale opblanding eventuelt kunne ændres. Ændringen vil dog forventes at være af ubetydelig størrelse og udelukkende ske inden for et meget begrænset område. Det vurderes generelt, at det vil være muligt at realisere anlæg og drift af PtX på havet uden at medføre påvirkninger af miljømålene for D7.
D8 Forurenende stoffer	I Nordsøen inkl. Skagerrak er omfanget af væsentlige akutte forureningshændelser fra olie og en række andre kemikalier er minimeret, mens niveauerne af olie i Østersøen inkl. Kattegat er inden for HELCOM's tærskelværdier for ulovligt oliespild fra skibe. Desuden at væsentlige akutte forureningshændelsers negative effekter på arters sundhed og habitaters tilstand er minimeret og så vidt muligt elimineret. Miljømål: 8.1 Udledninger af forurenende stoffer i vand, sediment og levende organismer leder ikke til overskridelser af vedtagne miljøkvalitetsstandarder, der anvendes i den gældende lovgivning (D8C1 og D8C2).	Ved spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer til havmiljøet vil der potentielt være risiko for at påvirke miljømålene for D8, særligt med hensyn til D8C1 og D8C2 under miljømål 8.1. Med hensyn til risikoen for utilsigtede hændelser vurderes der ligeledes at være risiko for at miljømålene under D8 påvirkes. For at afvise en potentiel påvirkning af miljømålene for D8, vil der for det konkrete PtX-projekt være behov for at tilvejebringe spredningsmodeller for relevante stofkoncentrationer. Det vurderes dog generelt, at det vil være muligt at realisere anlæg og drift af PtX på havet uden at medføre påvirkninger af miljømålene for D8, da særligt spredningsvejene og den efterfølgende opblanding langt fra land vil være stor.

Deskriptor	Miljømål	Beskrivelse af potentiel påvirkning
	8.2 Emissioner, udledninger og tab af PBDE og kviksølv standses eller udfases. 8.3 Miljø- og Fødevareministeriet bidrager til arbejdet regionalt og i EU vedrørende fastsættelse af tærskelværdier og god miljøtilstand og arbejder for, at mængderne af forurenende stoffer er i overensstemmelse hermed. 8.4 Der sker et gradvist fald i niveauer af imposex/intersex hos havsnegle. 8.5 Inden 2021 er der foretaget en kildeopsporing af de forurenende stoffer, som hindrer opfyldelse af de fastlagte miljømål i overfladevandområder i henhold til vandrammedirektivet. Om nødvendigt skal gældende godkendelser og tilladelser revideres i muligt omfang. 8.6 Miljø og Fødevareministeriet arbejder for, at der fastsættes flere indikatorer for forurenende stoffer. 8.7 Fødevareministeriet sikrer, at der sker en øget koordinering mellem politikområder/direktiver, når der fastsættes nye nationale miljøkvalitetskrav for udvalgte stoffer i matrixer, hvor der foreligger overvågningsdata. 8.8 Miljø- og Fødevareministeriet arbejder for at udvikle yderligere fælles tests for biologiske effekter i regionalt regi. 8.9 Forekomst og omfang af akutte forureningsbegivenheder nedbringes løbende i muligt omfang gennem forebyggelse, overvågning og risikobaseret dimensionering af beredskabet (D8C3). 8.10 De negative effekter på havpattedyr og fugle, når der opstår væsentlige akutte forureningsbegivenheder, forebygges og minimeres i muligt omfang. Dette kan f.eks. sikres ved brug af flydespærrer samt gennem beredskabsplaner for olieramte havpattedyr og fugle (D8C4) 8.11 Frem mod næste overvågningsprogram	

Deskriptor	Miljømål	Beskrivelse af potentiel påvirkning
	(2020) undersøger Miljøstyrelsen, hvordan negative effekter af væsentlige forureningsbegivenheder kan overvåges og registreres i de konkrete tilfælde (D8C4).	
D9 Forurenende stoffer i fisk og skaldyr	Forurenende stoffer i fisk eller skaldyr til konsum overstiger ikke de niveauer, der er fastsat i fællesskabslovgivningen eller andre relevante standarder. Miljømål: 9.1 Udledning af forurenende stoffer må generelt ikke lede til overskridelser af de til enhver tid gældende maksimale grænseværdier i fødevarelovgivningen for fisk og skaldyr til konsum. 9.2 Trenden i de samlede danske dioxinudledninger til luften stiger ikke. 9.3 Miljøstyrelsen følger udviklingen i relation til udledninger af POP-stoffer (herunder dioxin) fra brændeovne og vurderer behov for yderligere tiltag. 9.4 Miljøstyrelsen forbedrer løbende emissionsopgørelserne for POP-stoffer til luften. 9.5 Fødevarestyrelsen fører løbende kontrol med koncentrationer af forurenende stoffer, særligt dioxiner og PCB, for at følge udviklingen i organismer, der er i risiko for at indeholde forhøjede koncentrationer.	Ved spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer til havmiljøet vil der potentielt være risiko for at påvirke miljømålene for D9 under miljømål 9.1. Med hensyn til risikoen for utilsigtede hændelser vurderes der ligeledes at være risiko for at miljømålene under D9 påvirkes. For at afvise en potentiel påvirkning af miljømålene for D8, vil der for det konkrete PtX-projekt være behov for at tilvejebringe spredningsmodelleringer for relevante stofkoncentrationer. Det vurderes dog generelt, at det vil være muligt at realisere anlæg og drift af PtX på havet uden at medføre påvirkninger af miljømålene for D9, da særligt spredningsvejene og den efterfølgende opblanding langt fra land vil være stor.
D10 Marint affald	Egenskaberne ved og mængderne af affald i havet skader ikke kyst- og havmiljøet. Miljømål: 10.1 Mængden af marint affald reduceres væsentligt med henblik på at nå FN målet om, at inden 2025 skal marint affald forebygges og væsentligt reduceres. 10.2 Miljø- og Fødevareministeriet bidrager til arbejdet regionalt og i EU vedrørende fastsættelse af tærskelværdier og god miljøtilstand og arbejder for, at mængderne af marint affald er i overensstemmelse hermed. 10.3 Tab af fiskeredskaber i de danske farvande forebygges med henblik på at nå FN målet om, at inden 2025 skal marint affald forebygges og væsentligt reduceres.	Projektet vil i sin anlæggelse og drift ikke medføre risiko for påvirkning af D11 Marint Affald, da affald til søs generelt forventes at blive håndteret efter gældende lovgivning (BEK nr 537 af 22/05/2017). Det forventes generelt, at det vil være muligt at realisere anlæg og drift af PtX på havet uden at medføre påvirkninger af miljømålene for D10.

Deskriptor	Miljømål	Beskrivelse af potentiel påvirkning
	10.4 Miljø- og Fødevarerministeriet implementerer den nationale plastikhandlingsplan og den dertil hørende politiske enighed om et samarbejde af 30. januar 2019 med henblik på at forbedre genanvendelse af plast, samt reducere plastaffald og forurening med plastaffald. 10.5 Miljø- og Fødevarerministeriet arbejder for udvikling af indikatorer og målemetoder for mikroplast i havbundssediment og vandsøjle. 10.6 Fiskeristyrelsen udarbejder et estimat for omfanget af tabte fiskeredskeer i de danske havområder frem mod 2020. 10.7 Miljø- og Fødevarerministeriet udarbejder et katalog over mulige og målrettede virkemidler med henblik på at forebygge marint affald.	
D11 Energi, undervandsstøj	Undervandsstøj, befinder sig på et niveau, der ikke påvirker arter i negativ retning. Miljømål: 11.1 Havdyr under habitatdirektivet udsættes så vidt muligt ikke for impulslyde, der medfører permanente høreskader (PTS). Grænseværdien for PTS vurderes i øjeblikket at være 200 og 190 dB re.1 uPa2s SEL for hhv. sæler og marsvin, der er de arter, hvor der foreligger mest viden. Det må dog forventes, at disse grænser skal revideres, efterhånden som ny viden på området bliver tilgængelig. Værdierne er lydeksponeringsniveauet akkumuleret over 2 timer. 11.2 Menneskelige aktiviteter, som giver anledning til impulslyd, planlægges på en sådan måde, at direkte skadelige virkninger på sårbare populationer af havdyr i videst muligt omfang undgås både i rum, tid og niveau, og at påvirkningerne ikke vurderes at have langsigtede negative effekter på populationsniveau. 11.3 Aktiviteter fra Forsvarsministeriets underliggende myndigheder, som medfører impulsstøj i havmiljøet, bliver så vidt muligt vurderet og tilpasset for at reducere en mulig negativ effekt på havdyr under habitatdirektivet, så længe dette ikke strider mod forsvarsformål eller den nationale sikkerhed. Forsvaret anvender gældende NATO-standarder, når der foretages miljøvurderinger.	I forbindelse med bl.a. forundersøgelser til havs, etablering af faste fysiske strukturer på havbunden, nedlægning af kabler og rør og øget tilstedeværelse af skibstrafik vil projektet for realisering af PtX på havet kunne medføre en påvirkning af havmiljøet som følge af D11 Undervandsstøj. Særligt i forbindelse med akustisk kortlægning af havbunden og brug af USBL, samt nedramningsarbejder af eksempelvis monopælsfundamentsstrukturer kan havdyr under habitatdirektivet udsættes for skadelige impulslyde, der medfører støjniveauer over de anbefalede grænseværdier. I forbindelse med menneskelige aktiviteter, som giver anledning til impulslyd vil der for det konkrete projekt stilles krav om tilvejebringelse af undervandsstøjmodelleringer for at sikre, at påvirkningerne ikke medfører skadelige virkninger på sårbare populationer af havdyr og ligeledes ikke resulterer i langsigtede negative effekter på populationsniveauer. Det vurderes generelt, at det ikke vil være muligt at realisere PtX-anlæg på havet uden at det medfører negative effekter på havdyr pga. D11 Undervandsstøj. Det vurderes dog som muligt at overholde de generelle bestemmelser med hensyn til habitatdirektivet ved brug af bl.a. støjmitigerende tiltag som afværgeforanstaltning. Herunder brugen af bl.a. hydro sound damper (HSD) og dobbelte boblegardiner (Double Big Bubble Curtain, DBBC). Vilkår om undervandsstøj tilpasses altid de konkrete projekter. Hvis det vurderes, at påvirkningen er væsentlig, selvom

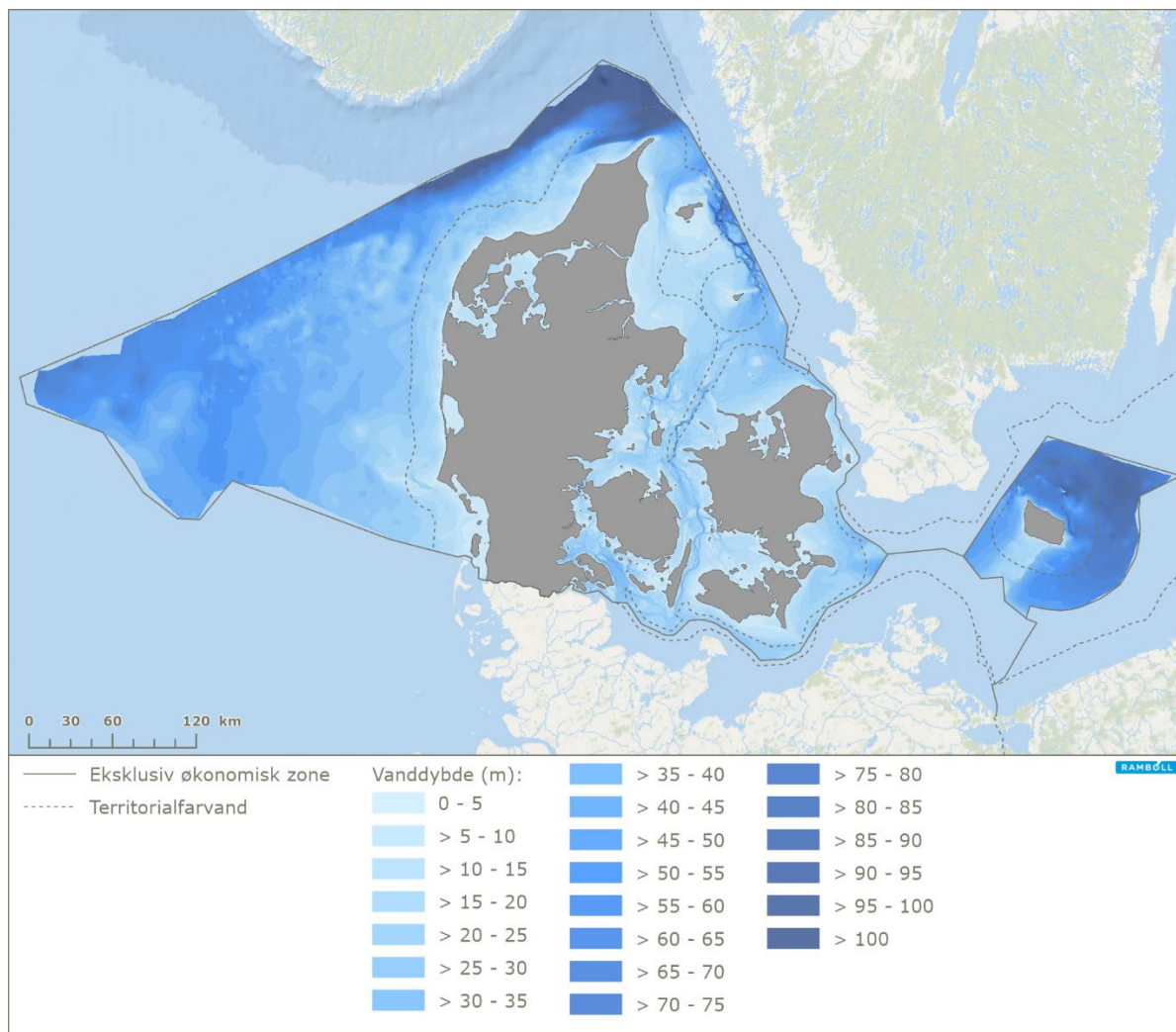
Deskriptor	Miljømål	Beskrivelse af potentiel påvirkning
	11.4 I forbindelse med udførelsen af seismiske forundersøgelser gennemføres tilstrækkelige afværgeforanstaltninger i overensstemmelse med Energistyrelsens vejledning om standardvilkår for forundersøgelser til havs. 11.5 Miljø- og Fødevareministeriet bidrager til arbejdet regionalt og i EU vedrørende fastsættelse af tærskelværdier og god miljøtilstand og arbejder for, at omfanget af undervandsstøj er i overensstemmelse hermed. 11.6 I forbindelse med tilladelse til aktiviteter på havet, der kræver en miljøkonsekvensvurdering, fremmer godkendelsesmyndigheden, at indregistreringer om impulsstøj indrapporteres til Miljøstyrelsen (overvågningsprogram). 11.7 Miljø- og Fødevareministeriet vil gennem øget overvågning forbedre vidensniveauet om omfanget og niveauer af lavfrekvent støj i Østersøen og Nordsøen.	standardvilkår overholdes vil der være behov for supplerende vilkår om yderligere reduktion af støjpåvirkningen.

5. Fysiske begrænsninger på det danske havareal

På baggrund af tekniske beskrivelser af mulige PtX-anlæg og afledte aktiviteter på havet i kapitel 2, modellering af opblanding af udledninger af opvarmet kølevand i kapitel 3, de potentielle miljøpåvirkninger fra anlæg og drift af offshore PtX beskrevet og vurderet i kapitel 4, og generelle betragtninger om abiotiske og biotiske forhold i danske farvande, beskrives herunder en geografisk afgrænsning af det danske havareal. Den geografiske afgrænsning er ikke en vurdering af, hvor på det danske havareal, at anlæg og drift af PtX ikke kan finde sted. Afgrænsningen udtrykker udelukkende en vurdering af hvor på det danske havareal, der kan være eksisterende eller planlagte arealanvendelser eller fysiske og biologiske forhold, der potentielt kan sætte en begrænsning for udbygning af PtX på det danske havareal.

5.1 Tekniske krav til anlæg og drift

De forventede anlægstekniske løsninger og selve de fysiske strukturer, både platform-, mølle- og skibsbaserede løsninger, stiller visse krav til vanddybden og dermed hvor grundt vand anlæg og drift af PtX på havet kan foregå. Vanddybden på det danske søterritorie varierer generelt fra 0 til 65 meters dybde med enkelte områder, hvor dybden er flere hundrede meter, se Figur 5-1. Der kan derfor potentielt være områder på det danske havareal, hvor udbygning af PtX ikke vil kunne lade sig gøre grundet for grundt vand.



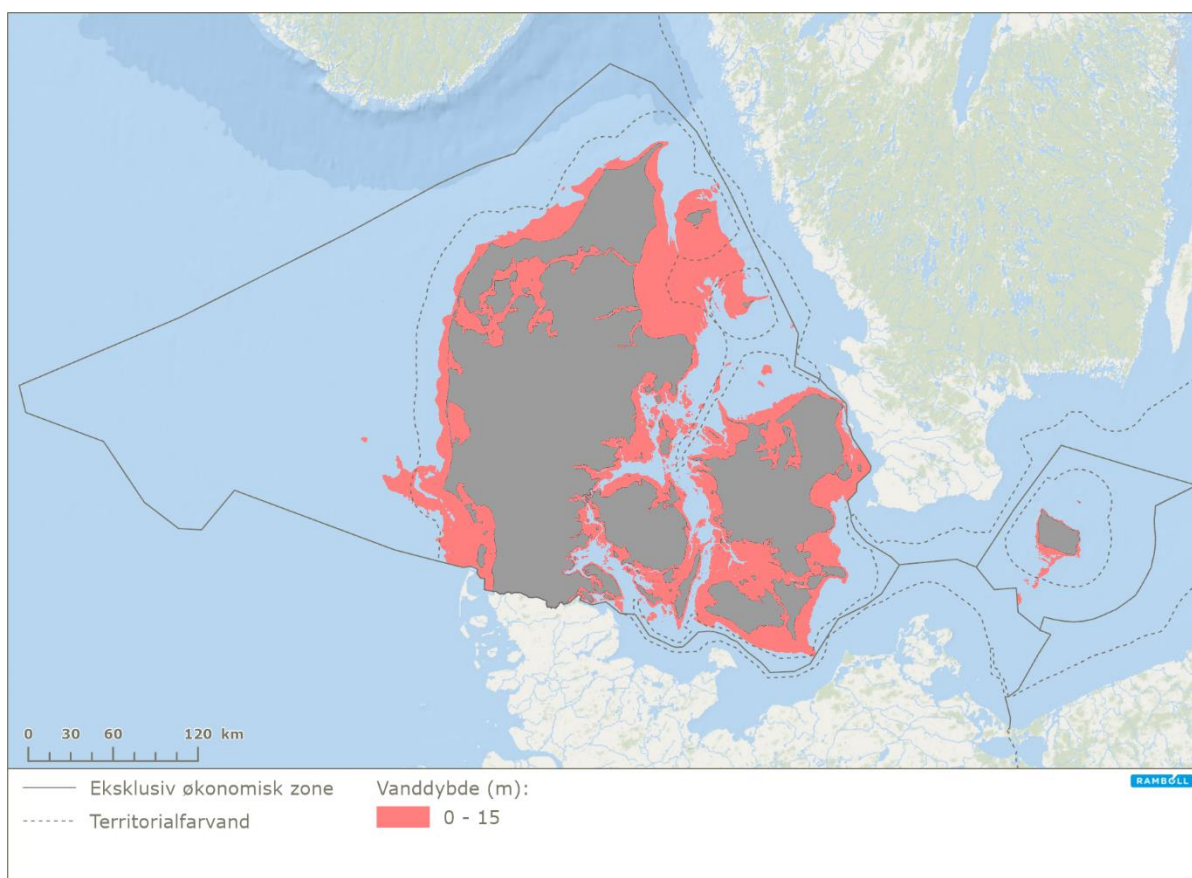
Figur 5-1 Vanddybder i danske farvande inddelt i fem meter intervaller.

De beskrevne udbygningskoncepter i kapitel 2 omfatter platform-, mølle- og skibsbaserede anlæg. De krævede vanddybder afhænger i høj grad af typen af platform, hvor simple jack-up løsninger kan anlægges på mere grundt vand end platformløsninger, der er forankret til havbunden. Minimumsdybderne for jack-up løsninger ligger på omkring 10 meter, mens større platformløsninger som minimum kræver vanddybder på over 15-20 meter og i visse tilfælde helt op til 30 meter. For platformbaserede udbygningskoncepter vil størrelsen af platformen hovedsageligt være dikteret af effekten på anlægget. I analysen anvendes en 500 MW platformløsning, der forventes at blive installeret på en platform med et fodaftryk på cirka 30x60 meter og en frihøjde på 25 meter over havoverfladen. Platforme af denne størrelse kræver som regel vanddybder på minimum 15-20 meter.

Ved møllebaserede anlæg vil vanddybden for anlægget afhænge af møllens placering på det danske havareal. Mens havvindmøller kan installeres på meget forskellige vanddybder, vil store havvindmølleparker ofte ligge i en vis afstand til kysten grundet visuelle forhold. På danske havareal er der dog en generel sammenhæng mellem afstand til kyst og vanddybde, og store og nyere vindmøller står ofte på vanddybder over 10 meter.

Ved både anlæg og drift af PtX på havet kræves en række relativt store fartøjer, som beskrevet i afsnit 2.3. Dette er både ved mølle- og platformbaserede løsninger og skibsbaseret produktion. De nødvendige fartøjer har i de fleste tilfælde en dybgang på omkring 10-15 meter og kræver en vis frigang under kølen. Det betyder, at vanddybder på +15 meter i de fleste tilfælde vil være nødvendige for at muliggøre anlæg og drift af PtX, også i kystnære egne.

På baggrund af de ovenstående beskrevne krav til vanddybder for anlæg og drift af PtX på havet kan der beskrives en overordnet begrænsning af det danske havareal ud fra krav til vanddybder. Ved krav om minimum 15 meter vanddybde vil dele af, hovedsageligt kystnære, farvande i Danmark være mindre egnet til anlæg og drift af PtX. Afgrænsningen af havarealet ud fra en 15 meter dybdekurve ses på Figur 5-2. Havareal med vanddybder under 15 meter udgør cirka 22 % af det danske havareal. Det er vigtigt at bemærke, at begrænsningen ikke dækker begrænsninger for rørledninger og kabler, der vil kunne installeres og opereres på stort set alle havdybder på dansk havareal. Afgrænsningen dækker således udelukkende strukturer og aktiviteter, der sætter krav til minimumsvanddybder. Det kan ikke udelukkes, at teknologiske udviklinger vil kunne reducere kravet til vanddybde ved nye anlægs- og driftsmetoder, hvormed en større del af det danske havareal kan blive tilgængeligt for udbygning af PtX.



Figur 5-2 Kort over vanddybder ≤ 15 meter dybde på det danske havareal.

5.2 Potentielle miljøpåvirkninger

I kapitel 4 er der identificeret en række potentielle miljøpåvirkninger. For visse af disse kan der være forhold, der medfører, at dele af det danske havareal i mindre grad kan være egnet til udbygning af PtX og hvor en relativ konkret afgrænsning kan beskrives.

5.2.1 Udledning af opvarmet vand

I kapitel 3 er der modelleret en række scenarier for udledning af opvarmet kølevand. Generelt viser modelresultaterne, at øjeblikkelig omrøring og spredning af det opvarmede vand vil medføre, at de gennemsnitlige temperaturstigninger vil være yderst begrænsede under de forudsætninger, der er gældende for modellen, som beskrevet i kapitel 3 og appendix 9.1.

Det ses dog, at der ved lavere strømhastigheder og specifikke strømforhold kan observeres perioder, hvor der kan ske en længerevarende opvarmning af nærmiljøet omkring udledningsspunktet (modellen køres over en 14 dages periode, hvorfor længerevarende i dette tilfælde maksimalt kan være 14 dage, men potentielt kan være længere ved en længere simuleringsperiode). Temperaturstigningerne i dette område vil ligge omkring 1 °C. Sandsynligheden for at fænomenet opstår, sker formentlig i takt med at strømhastigheden falder og/eller omrøring reduceres. I havområder med lavere strømhastigheder og mindre omrøring kan der altså potentielt være længere perioder, hvor der opstår en mere længerevarende eller udbredt opvarmning af en stående vandmasse. Dette vil oftest ses mere kystnært og i de indre danske farvande, se Figur 3-3 og Figur 3-4) og i lukkede farvande, såsom fjorde og bugte.

De fire udledningsscenarier viser ikke en opløsning, hvor temperaturændringerne kan ses i forskellige dybder. I stedet viser resultaterne temperaturændringerne som et middel over dybdeprofilen som beskrevet i kapitel 3. Det medfører, at der kan være en dybdevariation af temperaturen, så der i områder i vandsøjlen er højere temperatur end middeltemperaturen. Mens det varme vand vil stige mod overfladen, kan det ikke udelukkes, at der kortvarigt vil være perioder med bundkontakt under bestemte strømforhold. Mens påvirkningen fra kortvarige og lokale indslag af varmere vand ved bunden formentlig har lille konsekvens grundet de relativt små og kortvarige temperaturændringer, vil den potentielle hyppighed og miljøpåvirkning sandsynligvis stige ved lavere vanddybder.

Både risiko for opvarmning af en stående vandmasse og bundkontakt kan minimeres ved yderligere afkøling af udledt kølevand eller opdeling af udledningsspunkter. Dog kan påvirkninger udgøre en begrænsning på det danske havareal, hvor miljøpåvirkninger af receptorer i vandsøjlen og ved havbund kan blive yderligere påvirket grundet øget hyppighed og omfang af opvarmede vandmasser og bundkontakt. Der er derfor gennemført en analyse af det danske havareal med henblik på at identificere områder, hvor dybde- og strømforhold er tilsvarende eller større og kraftigere end ved de modellerede udledningsspunkter.

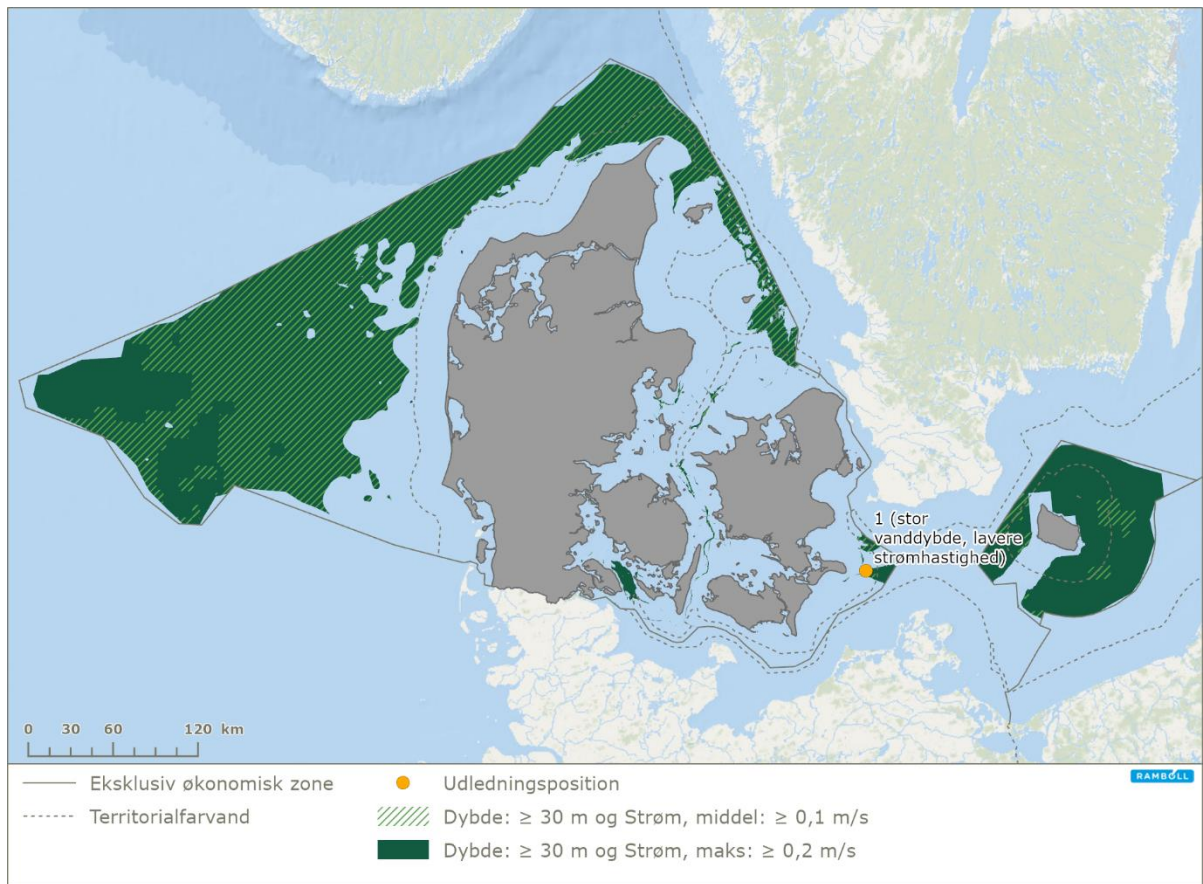
Modellering af udledning af opvarmet vand er foretaget på fire specifikke lokationer på det danske havareal. Modelresultaterne er dermed meget stedsspecifikke for de givne dybde- og strømforhold og modelforudsætninger, der er beskrevet i kapitel 3. Der er gennemført en analyse af hvor på det danske havareal lignende dybde- og strømforhold gør sig gældende. Dermed kan der gives et overordnet indtryk af områder, hvor udledninger under drift af PtX på havet kan medføre lokale ændringer af havtemperaturen svarende til modelresultaterne for de fire udledningsscenarier. Det skal bemærkes, at lokale strømforhold kan have stor betydning for spredning af udledt opvarmet vand. Modelleringen er gennemført på et meget overordnet og groft grundlag, og udtrykker eksempler på ændringer i temperatur, som ikke er udtømmende for potentielle ændringer. Mere detaljeret og specifik modellering af udledning af opvarmet vand skal derfor gennemføres i forbindelse med konkrete projekter.

På Figur 5-3, Figur 5-4, Figur 5-5 og Figur 5-6 ses afgrænsninger af det danske havareal, hvor dybde- og strømforhold (middel og maksimal strømhastighed) er lig med eller større/kraftigere end ved henholdsvis udledningspunkt 1, 2, 3 og 4. I Tabel 5-1 er der vist en opgørelse af arealet. I de markerede områder i figurene antages det, at udledningen af opvarmet vand vil lede til temperaturstigninger, der er lig med eller mindre end det modellerede under forudsætning af samme lokale strømforhold. I de ikke-markerede områder i figurene antages det, at der potentielt kan være større og/eller længerevarende temperaturstigninger end det modellerede. Tabel 5-1 Opgørelse af arealet af det danske havareal, hvor dybde- og strømforhold er lig med eller større/kraftigere end ved udledningsposition 1, 2, 3 og 4.

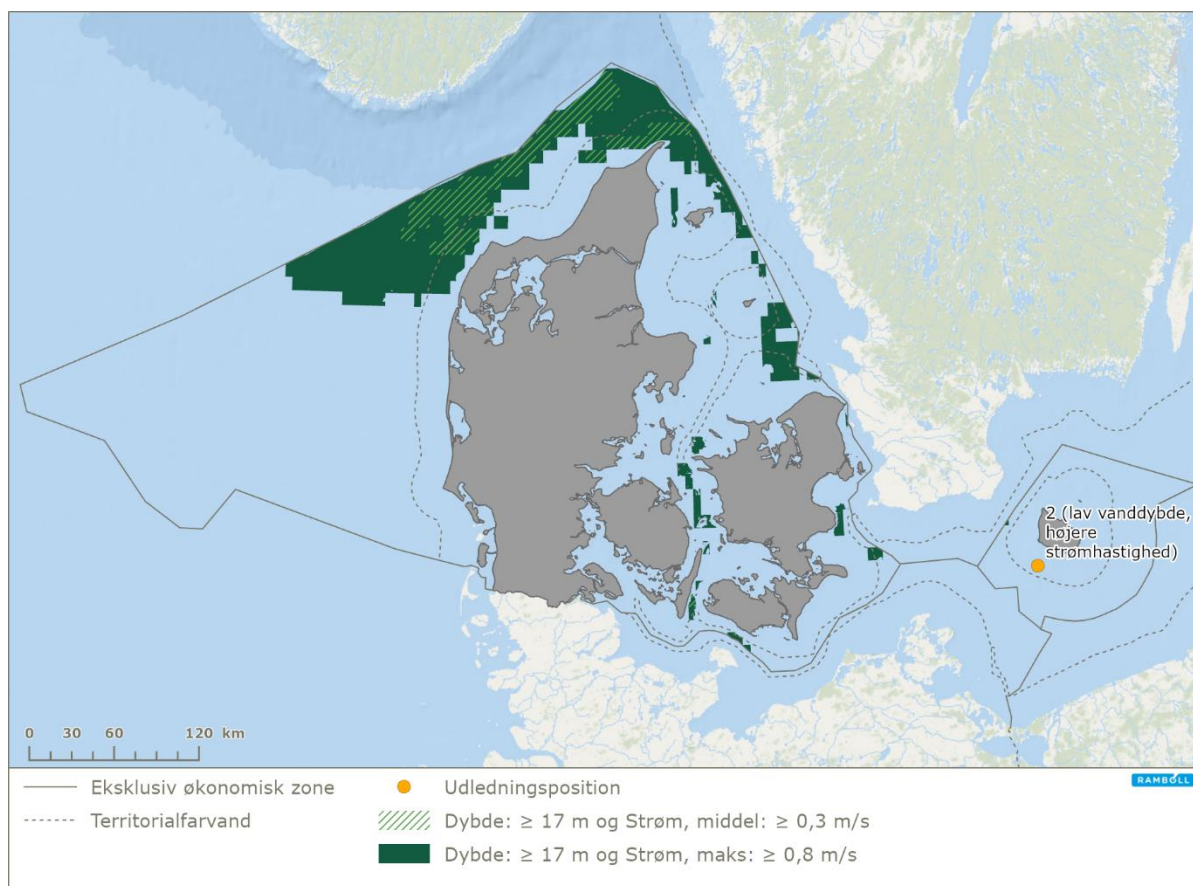
Udledningsposition	Dansk havareal, hvor dybde- og strømforhold er $\geq$ end det modellerede (km ² / % af det totale EEZ)		
	$\geq$ middel strømhastighed	$\geq$ maks strømhastighed	$\geq$ middel og maks strømhastighed
1 (stor vanddybde, lav strømhastighed)	34.401 km ² /33 %	48.320 km ² /46 %	34.401 km ² /33 %
2 (lav vanddybde, høj hastighed)	4.208 km ² /4 %	15.287 km ² /15 %	4.208 km ² /4 %
3 (stor vanddybde, høj strømhastighed)	4.931 km ² /5 %	5.415 km ² /5 %	4.177 km ² /4 %
4 (lav vanddybde, lav strømhastighed)	53.133 km ² /51 %	69.225 km ² /66 %	53.133 km ² /51 %

På figurene ses det, at det inden for dybdeintervallet på 17-30 meter hovedsageligt er strømforhold, der bliver den begrænsende faktor, når det kommer til havareal med tilsvarende dybdeforhold som ved udledningspunkterne 1, 2 og 4, hvor der er henholdsvis 17 og 30 meter dybt. Arealet for de to udledningspunkter med lave strømhastigheder, hvor både middel og maksimale strømhastigheder er lig med eller større end det modellerede, dækker da også henholdsvis 35 og 24 % af det danske havareal. Hvorimod, hvis dækningsarealet sammenlignes ved samme dybdeforhold, ses det tydelig på forskellen mellem arealerne på Figur 5-4 (udledningspunkt 2) og Figur 5-6 (udledningspunkt 4), hvor forskellen udelukkende er i strømforhold. Den procentvise andel af areal med ens dybdeforhold går fra 4 til 24 % i takt med at strømforholdene går fra relativt kraftige forhold (middel > 0,3 m/s, maksimal > 0,8 m/s) til roligere forhold (middel > 0,1 m/s, maksimal > 0,3 m/s). Samme ændring gør sig gældende for forholdene mellem Figur 5-3, hvor der dog antages 30 meter havdybde, til Figur 5-4.

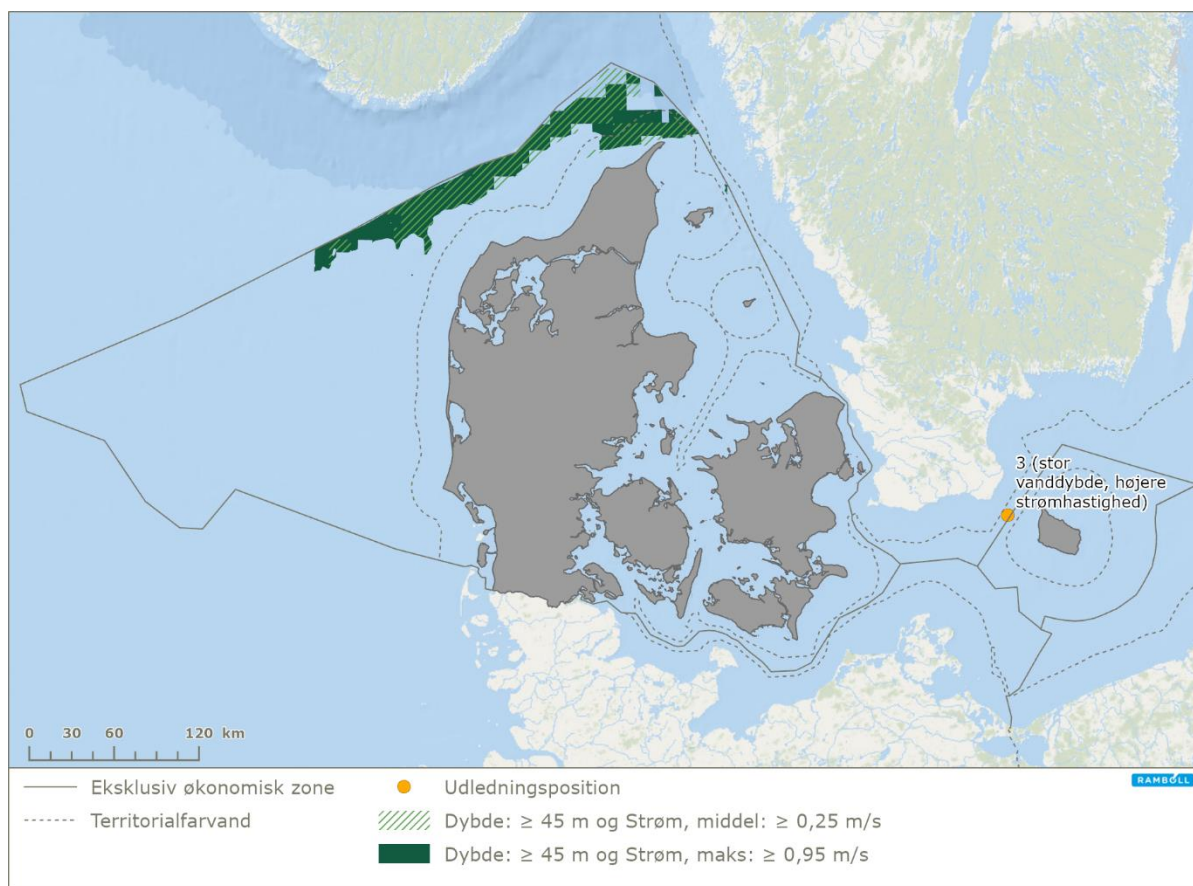
Hvis udbygningen af PtX på havet placeres i områder, hvor strøm- og/eller dybdeforhold er lavere end ved de nævnte scenarier, kan der være øget sandsynlighed for perioder med opvarmning af en stående vandmasse, der både af varighed og omfang kan være større end den modellerede eller øget sandsynlighed for bundkontakt og påvirkning af bundflora og fauna til følge. Ved anlæg og drift af PtX på det danske havareal i mere kystnære havområder eller områder med lav omrøring vil vigtigheden af modellering af udledninger øges.



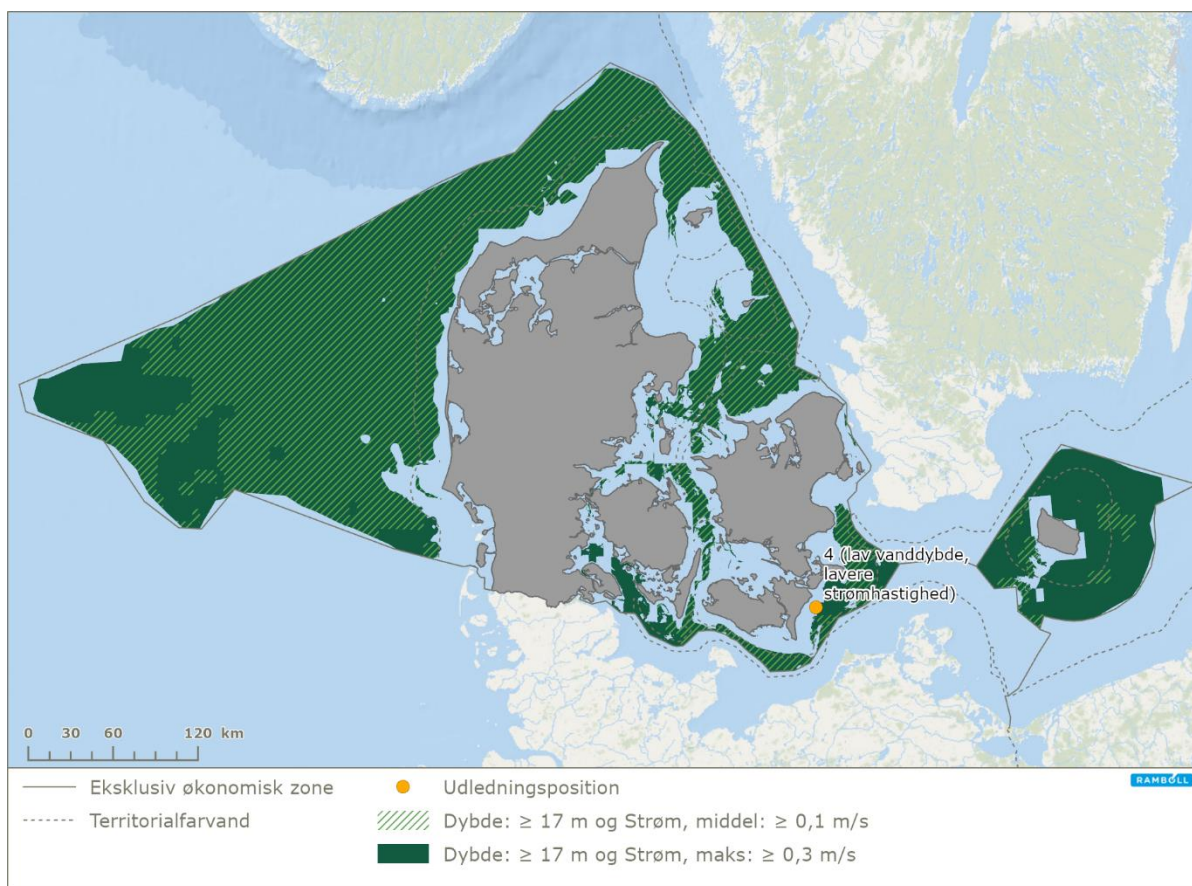
Figur 5-3 Kort over områder på det danske havareal, hvor vanddybden og strømforholdene er større end de angivne i afsnit 3.3.2 for udledningsposition 1.



Figur 5-4 Kort over områder på det danske havareal, hvor vanddybden og strømforholdene er større end de angivne i afsnit 3.3.2 for udledningsposition 2.



Figur 5-5 Kort over områder på det danske havareal, hvor vanddybden og strømforholdene er større end de angivne i afsnit 3.3.2 for udledningsposition 3.



Figur 5-6 Kort over områder på det danske havareal, hvor vanddybden og strømforholdene er større end de angivne i afsnit 3.3.2 for udledningsposition 4.

5.2.2 Udledninger af MFS

I afsnit 4.3.7 og afsnit 4.3.12 er der identificeret en række MFS, der kan blive udledt til vandområder. De identificerede udledninger og stoffer kan potentielt lede til ændringer eller forringelse af den kemiske tilstand som defineret under vandrammedirektivet og medføre, at udbygningen af PtX på havet i Danmark kan være geografisk begrænset. På baggrund af den såkaldte Horsensafgørelse³ og vejledninger fra Miljøstyrelsen⁴ må der ikke udledes eller tilføres en koncentration eller mængde af miljøfarlige forurenende stoffer, der kan medføre forringelse af tilstanden af et målsat vandområde eller tilføres/udledes til et område med ikke-god kemisk tilstand. Generelt er der stor usikkerhed om håndtering af miljøfarlige forurenende stoffer i Danmark. En forringelse i forhold til et miljøkvalitetskrav (MKK) for et MFS forekommer, hvis der sker en stigning i koncentrationen af stoffet i vandområdet, der medfører en overskridelse af MKK. Er et vandområde i god kemisk tilstand må den gennemsnitlige årlige beregnede koncentrationsstigning i sedimentet ikke overstige 5% af MKK eller PNEC. Giver et specifikt stof anledning til, at et vandområde er i ikke-god kemisk tilstand, må den gennemsnitlige årlige beregnede koncentrationsstigning i sedimentet for det specifikke stof ikke overstige 1% af MKK eller PNEC.

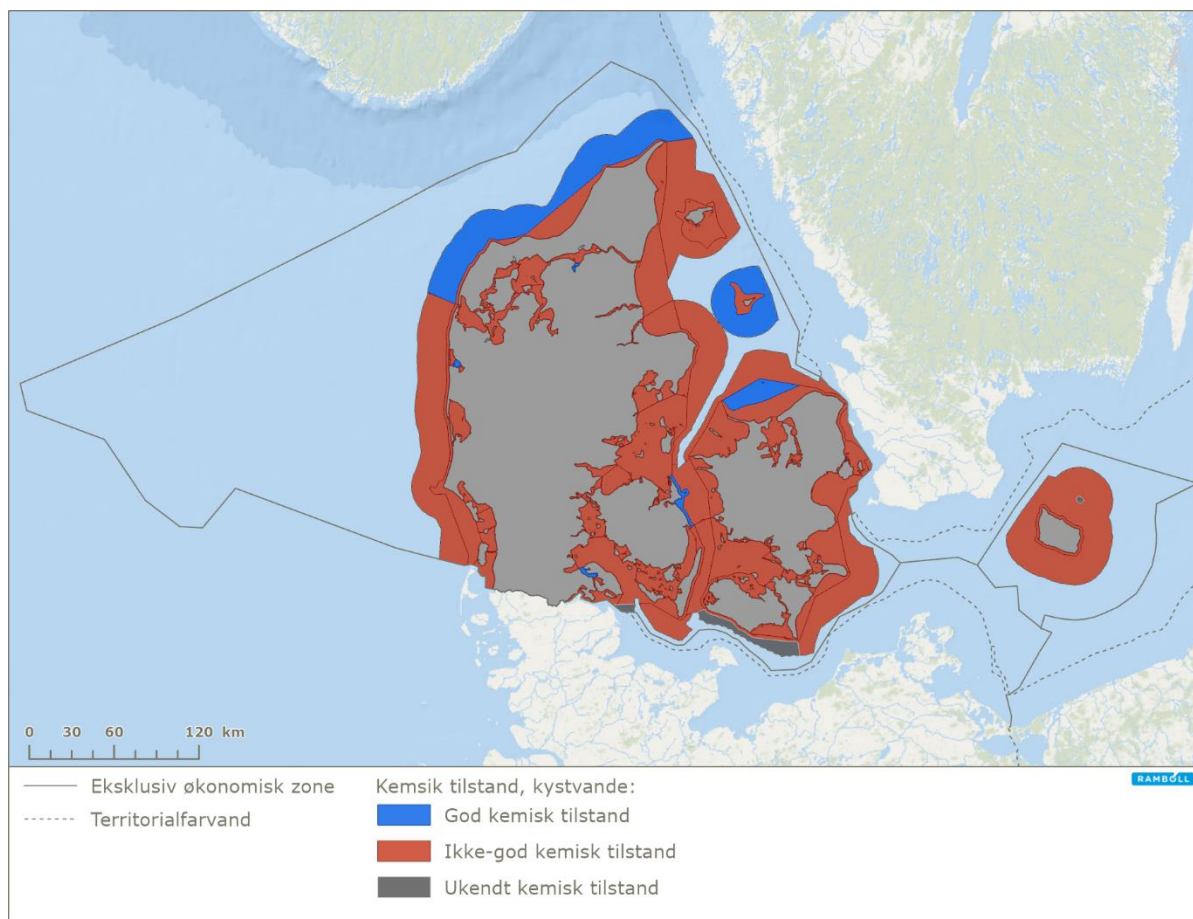
Vandområdeplanerne omfatter alle danske kystvande og territorialfarvande. Kystvande er vandområder inden for 1 sømil fra basislinjen, mens territorialfarvandene rækker fra kystvanden

³ Miljø- og Fødevareklagenævnets afgørelse 22/02461 vedr. Horsens Kommune, fra d. 23. februar 2023

⁴ Vejledning til bekendtgørelse om krav til udledning af visse forurenende stoffer til overfladevand og havområder med ofte stillede spørgsmål og svar, offentliggjort 11. marts 2024

ydre afgrænsning ud til 12 sømil fra basislinjen. Der er udpeget 109 afgrænsede kystvande samt 14 territorialfarvande. For de i alt 123 kystvande og territorialfarvande vurderes målet om god kemisk tilstand kun at være opfyldt i 14, se Figur 5-7. De resterende områder er enten i god kemisk tilstand eller ukendt kemisk tilstand.

Drift af PtX med udledning af kemiske stoffer kan være begrænset af disse områders geografiske afgrænsning, hvis udledning af stoffer kan medføre forringelse af tilstand eller overskrider MKK for det pågældende stof. De eksakte koncentrationer og mængder af MFS i udledninger fra PtX-anlæg vil først være kendt i forbindelse med et konkret projekt, og det kan derfor ikke konkluderes om udbygning af PtX inden for de marine vandområder vil udgøre et problem. Ud fra et forsigtighedsprincip og på baggrund af de eksisterende usikkerheder omkring både målopfyldelse i 2027 og håndtering af udledninger af MFS i dansk kontekst, vurderes det, at de kystnære vandområder ud til 12 sømil potentielt kan udgøre en begrænsning af udbygningen af PtX på det danske havareal.



Figur 5-7 Kemisk tilstand i de danske kystvande

5.2.3 Udslip af ammoniak

Ved et utilsigtet udslip af ammoniak kan der potentielt ske påvirkning af det marine miljø ved øget eutrofiering og afledte effekter samt ved toksiske effekter på tværs af flere forskellige organismegrupper som vist i afsnit 4.3.11.2.

Generelt viser analysen, at de potentielle miljøpåvirkninger ved eutrofiering formentlig vil forværres i varighed og omfang under bestemte hydrografiske forhold, som i en vis grad vil være korreleret med afstand til kysten og havdybden. I mere kystnære og beskyttede farvande med lavere vandudskiftning og opblanding på generelt lavere vand vil de potentielle eutrofieringseffekter formentlig ses mere lokalt og med større intensitet. Dette skyldes, at næringsstofniveauerne i en længere periode vil være højere lokalt omkring udledningspunktet, og muligvis længe nok til at der ses et signal i de biologiske systemer med højere produktion af klorofyl-a og medførte effekter såsom øget iltforbrug og uklart vand til følge over en periode. Modsat må man forvente, at et udslip af ammoniak i mere åbent farvand med større og hurtigere opblanding vil medføre relativt færre og mindre miljøpåvirkninger som følge af den større fortynding og kortere opholdstid i et givent område.

Ammoniak i form af NH_3 kan forårsage akut-toksiske effekter i både marine og terrestriske miljøer. Alt afhængig af hvor i vandsøjlen et udslip sker vil forskellige organismegrupper blive påvirket forskelligt. Ved udslip nær bunden må der forventes lokale påvirkninger af bundflora og fauna, der kan have karakter af øget mortalitet og andre direkte akut-toksiske effekter. Ved udslip højere oppe i vandsøjlen eller ved havoverfladen må det forventes, at de potentielle toksiske effekter vil påvirke pelagiske organismegrupper og fugle i højere grad. Netop et kystnært udslip er modelleret i forbindelse med mulig PtX-anlæg i Grønland (Fritt-Rasmussen et al., 2022), og der viser resultaterne, at påvirkningerne af fugle, pattedyr, fisk, plankton og krebsdyr kan ske i op til mellem 1-12 km afstand. Som ved eutrofiering beskrevet ovenfor, vil de potentielle toksiske effekter ved udslip af ammoniak formentlig forværres i mere kystnære og beskyttede farvande, hvor der både kan ske påvirkning af natur og miljø på land, men også over en længere periode grundet lavere vandudskiftning og dermed længere opholdstid før fortynding til niveauer, der ligger under grænseværdier for økotoksikologiske effekter.

Omfanget, varigheden og intensiteten af en potentiel påvirkning af natur og miljø fra toksiske effekter ved udslip af ammoniak vil dermed afhænge af de lokationsspecifikke forhold. Dog kan det med rimelighed konkluderes, at konsekvensen af påvirkningerne forværres i mere kystnære områder. Risikoen ved et utilsigtet udslip af ammoniak i den forventede størrelsesorden medfører derfor en geografisk begrænsning af det danske havareals egnethed for udbygningen af PtX på havet. Der kan ikke fastlægges en entydig afgrænsning, men blot konkluderes at kystnære havområder formentlig vil være mindre egnede.

5.3 Natura 2000-områder (habitat- og fuglebeskyttelsesområder)

Som beskrevet i afsnit 5.3 udgør Natura 2000-områder en betydelig del af det danske havareal (cirka 29.230 km², 28 % af det danske havareal). Ved anlæg og drift af PtX kan der, alt afhængig af det konkrete projekts placering og presfaktorer, være væsentlige påvirkninger og skader på beskyttede og udpegede arter og naturtyper, hvilket er i strid med habitatdirektivets formål. Natura 2000-områderne udgør derfor en potentiel geografisk begrænsning for udbygningen af PtX på det danske havareal. Som vist i afsnit 4.3.13.2 kan en entydig afgrænsning af det danske havareal ikke foretages udelukkende på baggrund af afgrænsningerne af Natura 2000-områderne. Dette skyldes, at presfaktorer og potentielle påvirkninger kan ske uden for Natura 2000-områderne og påvirke ind i områderne, men også fordi udpegede mobile arter også er beskyttede uden for deres habitatområder. For at muliggøre en inddragelse af Natura 2000-områder og deres mulige begrænsende forhold anvendes områdernes arealer, som vist i afsnit 4.3.13.1. Herunder gennemgås en kvalificering af de potentielt begrænsende forhold ved Natura 2000-områder ud fra en graduering af afstand til områderne.

Indenfor Natura 2000-områder

Ved placering inde i et Natura 2000-område kan væsentlig negativ påvirkning ikke afvises, da selve etableringen af platforme på bunden til havvindmøller eller ved permanent opankring af skibe eller flydende moduler, potentielt kan ødelægge eller forringe habitater og forstyrre eller fortrænge arter. Da væsentlig påvirkning ikke kan afvises, er der behov for en egentlig habitat-konsekvensvurdering. I forbindelse med en konsekvensvurdering kan myndigheden kræve at der udføres omfattende feltundersøgelser for at dokumentere evt. forekomst af arter og habitatnaturtyper.

Nær ved Natura 2000-område

Ved placering umiddelbart udenfor et Natura 2000-område kan væsentlig påvirkning ikke afvises, da påvirkninger fra etablering og drift af anlæg kan brede sig ind i Natura 2000-området og påvirke arter og naturtyper. Mobile arter på udpegningsgrundlaget kan også påvirkes.

I tryk afstand fra Natura 2000-område

Ved placering i tryk afstand, forstås en placering længere væk end rækkevidden af de potentielle miljøeffekter. Ved placering i tryk afstand er det kun mobile arter fra Natura 2000-områder samt Bilag IV arter og fugle som påvirkes.

I sikker afstand fra Natura 2000-område

Ved placering i sikker afstand, forstås placering længere væk end rækkevidden af de potentielle miljøeffekter og udenfor kendte yngleområder/højkoncentrationsområder for marsvin og andre hvaler og udenfor trækkorridorer for fugle og flagermus samt udenfor fældningsområder og fødesøgningssområder for havfugle.

5.4 Fugle

Anlæg og drift af store tekniske anlæg på havet kan, som tidligere nævnt, medføre en påvirkning af mobile arter, der enten forstyrres under aktiviteter, såsom anlæg eller skibstrafik, eller opfatter platforme og installationer som landområder eller øer. Fugle som trækker over havet, kan forveksle faste installationer med land (særligt i dårligt vejr med ringe sigt) og dermed tiltrækkes af disse. PtX-anlæg på havet kan derfor både forstyrre fødesøgende, rastende og trækkende fuglearter. Det er umuligt at vurdere om der er konflikt med forbuddet mod forsætlig forstyrrelse under fuglebeskyttelsesdirektivet, når placering af anlægget og omfanget af forundersøgelser og anlægsaktiviteter ikke kendes i detaljer. I de kommende vurderinger af PtX-anlæg på havet skal det derfor undersøges hvorvidt de forstyrrelser der forventes i forbindelse med forundersøgelser, anlæg, drift eller afvikling kan påvirke bestanden af de på stedet forekommende fuglearter.

5.5 Bilag IV

Bilag IV-arterne er strengt beskyttede mod forsætlig forstyrrelse og drab i hele deres leveområde, og den økologiske funktionalitet af deres yngle- og rasteområder må ikke forringes. Der er ikke belæg for at udskille mindre områder indenfor det danske havområde som definerede yngleområder. Af den grund anses hele det danske havareal i udgangspunktet for at være egnet som yngleområde for marsvin. Desuden ses der tegn på at hvidnæse også yngler i indre danske farvande og i den danske del af Nordsøen forekommer tillige andre hvalarter jævnlige, men det er usikkert om andre hvalarter yngler i den danske del af Nordsøen.

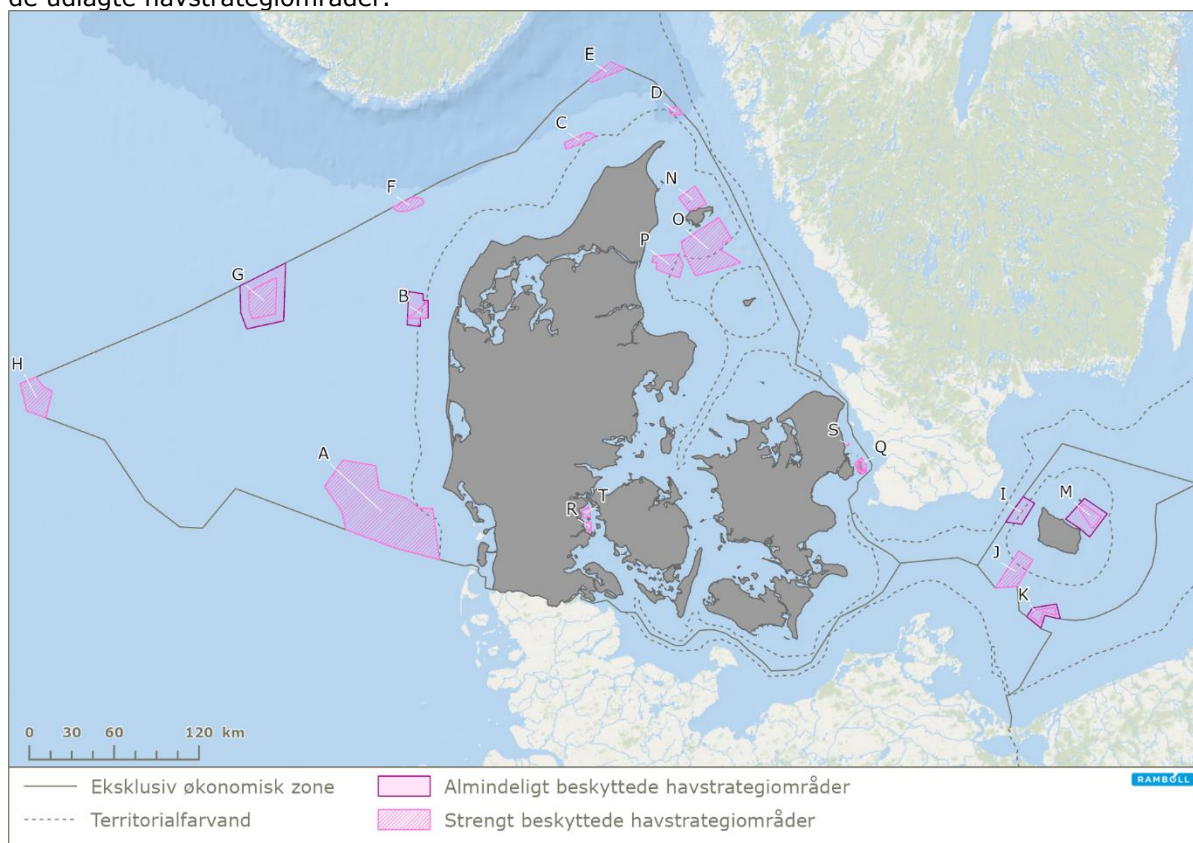
Vurderinger af fremtidige PtX-anlæg og tilknyttede aktiviteter skal derfor forudsætte at marsvin benytter hele det danske havområde som yngleområde og at hvidnæse også yngler i de indre danske farvande.

Flagermus har ikke yngle- og rasteområder på havet, dog er danske arter af flagermus stadig strengt beskyttede i hele deres leveområde, herunder det danske havareal.

En egentlig afgrænsning af det danske havareal er på baggrund af dette ikke muligt, dog skal en potentiel udbygning af PtX på havet tage hensyn til arternes strenge beskyttelse, hvilket potentielt kan medføre klare afgrænsninger af det tilgængelige areal.

5.6 Alment og strengt beskyttede havstrategiområder

Ifølge seneste indsatsprogram er der i samspil med Danmarks Havplan truffet afgørelse om udlægning af i alt 13 beskyttede områder, hvoraf 12 af dem indeholder en streng beskyttelse mod aktiviteter hvis tilstedeværelse kan påvirke arter og naturtyper negativt. Områderne betegnes som havstrategiområder, som hvis beskyttelsestiltag fokuserer på hele økosystemet, men dog med et særligt fokus på havbunden. Her er der tale om en vurdering af mulige risici for sikring af havmiljøets tilstand som helhed, men også hvorvidt aktiviteterne arealmæssigt vil kunne påvirke de udlagte havstrategiområder.



Figur 5-8 Almindeligt og strengt beskyttede havstrategiområder i Nordsøen, Kattegat, Bælthavet og Østersøen.

De almindeligt beskyttede havstrategiområder udgør et samlet areal på 1.480 km² af det danske havareal, mens de strengt beskyttede havstrategiområder udgør et areal på 6.301 km².

Forvaltningen af de almindeligt beskyttede havstrategiområder udgør tilladelse af en række aktiviteter, såfremt det efter en konkret vurdering kan ske uden at skade områdets integritet. Der skal således foretages en sameksistensvurdering af aktiviteter, der ønskes placeret inden for de almin-

deligt beskyttede områder. Restriktionerne gælder kun inden for de udpegede områder. Udpegningen medfører ikke begrænsninger i forhold til aktiviteter, der finder sted uden for områderne, uanset om de kan medføre en påvirkning ind i områderne.

Udpegningsgrundlaget for de almindelige beskyttede havstrategiområder er havbundens overordnede naturtyper (bentic broad habitat types) og de dertil knyttede arter.

Enkelte aktiviteter er undtaget fra kravet om sameksistensvurdering i de almindeligt beskyttede havstrategiområder. Disse er:

- 1) Sejlads og flydende sejladsafmærkninger, der har betydning for sejladssikkerheden. Herunder indgår også aktiviteter som er nødvendige for sejlads, f.eks. oprensings- og uddybning af sejlrender.
- 2) Naturgenopretning og undersøgelser ifm. videnskabelig forskning, eller som er relateret til naturbeskyttelsen. Seismiske undersøgelser ifm. dette vil være muligt.
- 3) Anlæg og vedligehold af kabler, rør, ledninger mv. Dog pålægges godkendelsesmyndigheden, at det sker under størst mulig hensyntagen til de beskyttede naturværdier/udpegningsgrundlaget. Der vil ved denne vurdering kunne tages økonomiske hensyn. Seismiske undersøgelser ifm. dette vil være muligt.
- 4) Marinarkæologiske undersøgelser og sikring af kulturarv.
- 5) Fiskeri med andet end bundsløbende redskaber.
- 6) Færdsel og badning.
- 7) Ankring.
- 8) Jagt og undervandsjagt.

For de strengt beskyttede havstrategiområder er det kun få menneskelige aktiviteter som er tilladt. Disse er:

- 1) Sejlads og flydende sejladsafmærkninger, der har betydning for sejladssikkerheden. Herunder indgår også aktiviteter som er nødvendige for sejlads, f.eks. oprensings- og uddybning af sejlrender.
- 2) Naturgenopretning og undersøgelser ifm. videnskabelig forskning, eller som er relateret til naturbeskyttelsen. Seismiske undersøgelser ifm. dette vil være muligt.
- 3) Anlæg og vedligehold af kabler, rør, ledninger mv. Dog pålægges godkendelsesmyndigheden, at det sker under størst mulig hensyntagen til de beskyttede naturværdier/udpegningsgrundlaget. Der vil ved denne vurdering kunne tages økonomiske hensyn. Seismiske undersøgelser ifm. dette vil være muligt.
- 4) Marinarkæologiske undersøgelser og sikring af kulturarv.
- 5) Lystfiskeri fra land og lystfiskeri fra båd med maksimalt to fiskestænger pr. mand dog maksimalt 4 fiskestænger pr. båd.
- 6) Færdsel og badning.
- 7) Ankring.
- 8) Jagt og undervandsjagt

Ligesom for de almindeligt beskyttede havstrategiområder gælder restriktionerne kun inden for de udpegede områder. Udpegningen medfører derfor ikke begrænsninger i forhold til aktiviteter, der finder sted uden for områderne, uanset om de kan medføre en påvirkning ind i områderne.

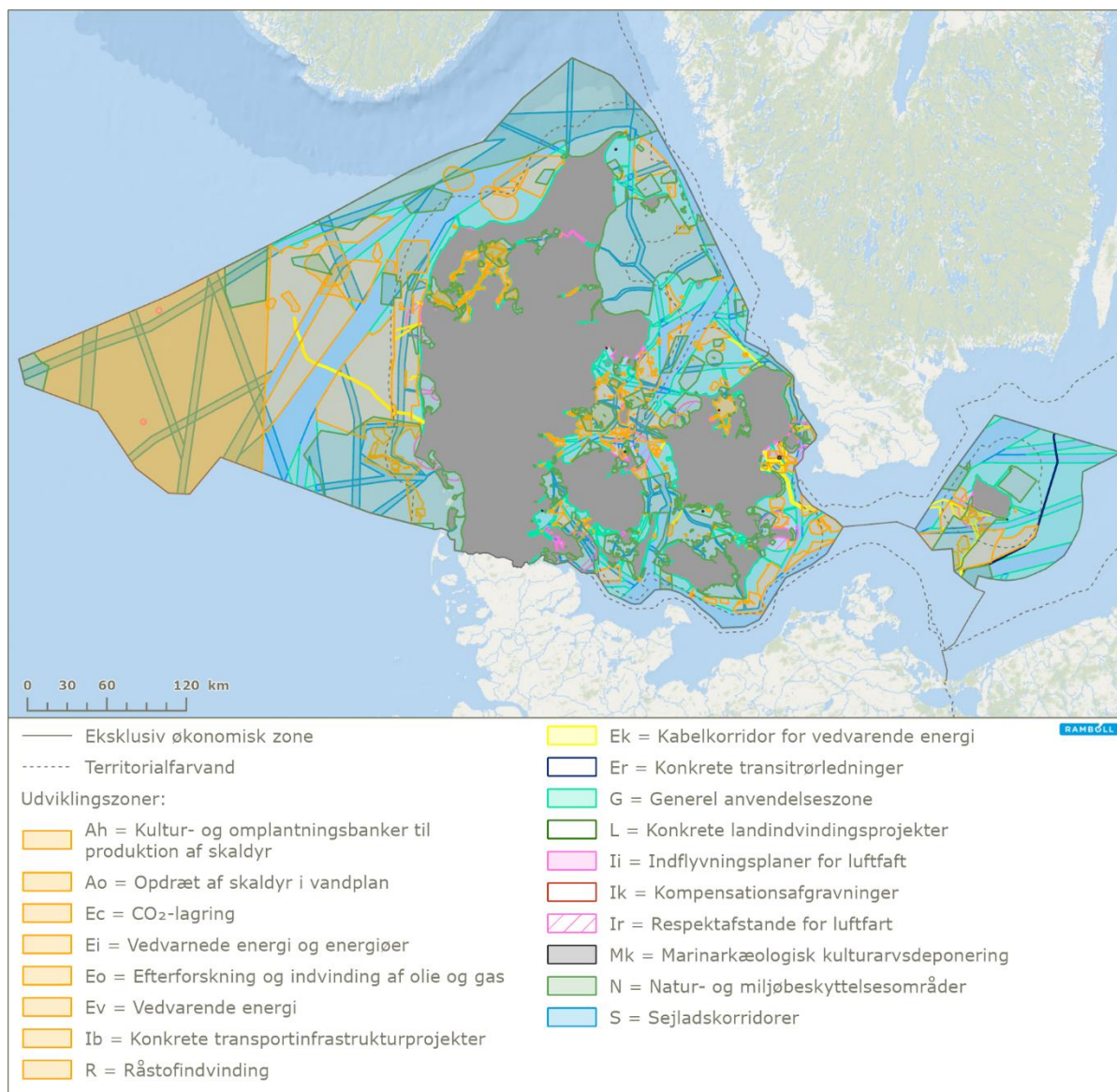
Grundet de gældende restriktioner inden for de udpegede områder, udgør havstrategiområderne en tydelig fysisk begrænsning af udbygningen af PtX på det danske havareal.

5.7 Danmarks Havplan

Danmarks Havplan (bekendtgørelse om ændring af Danmarks Havplan (BEK nr. 1761 af 01/12/2020 og LBK nr. 400 af 06/04/2020 samt LOV nr. 134 af 25/02/2020) udgør den overordnede planlægning af det danske søterritorie. Havplanen har til formål at fremme økonomisk vækst, at udvikle havarealer samt at udnytte havressourcer på et bæredygtigt grundlag. Som følge af udpegningen af specifikke Udviklingszoner, Natur- og miljøbeskyttelsesområder, Generelle anvendelseszoner og Særlige anvendelseszoner udlægges dele af Danmarks havareal til bestemte typer aktiviteter og anlæg. Herunder tages udgangspunkt i den gældende havplan per 11. oktober 2024. Havplanen er ikke en statisk størrelse og udlægningen af forskellige anvendelseszoner kan ændre sig i fremtidige revisioner af planen. Nuværende udlægnings af bestemte zoner kan derfor med en vis sandsynlighed forventes at ændre sig inden en potentiel udbygning af PtX på havet.

PtX-anlæg er på nuværende tidspunkt ikke inkluderet i bestemte udviklingszoner i den gældende havplan, og PtX-produktion er ikke inkluderet i VE-direktivet eller klassificeret som VE. Det må dog forventes, at havplanen på sigt kan justeres, så der udlægges anvendelseszoner, der dækker muligheden for planer og projekter med PtX. Det vides ikke på nuværende tidspunkt om disse zoner vil være tilsvarende de nuværende Ev- og Ei-zoner. Upåagtet hvilke(n) anvendelseszone kommende planer og projekter for PtX placeres under, gør det sig generelt gældende, at der kun kan meddeles tilladelse m.v. til eller vedtages planer for andre af de formål eller konkrete projekter, der er fastsat udviklingszoner for, såfremt området også er udlagt til zone for det pågældende formål eller projekt.

Idet planen dog må forventes at kunne justeres i forhold til kommende behov for bæredygtig udvikling på det danske havareal, er det vanskeligt at vurdere præcis hvilke områder, hvor udbygning af PtX vil være begrænset af havplanens vedtagne anvendelseszoner på havet i Danmark.



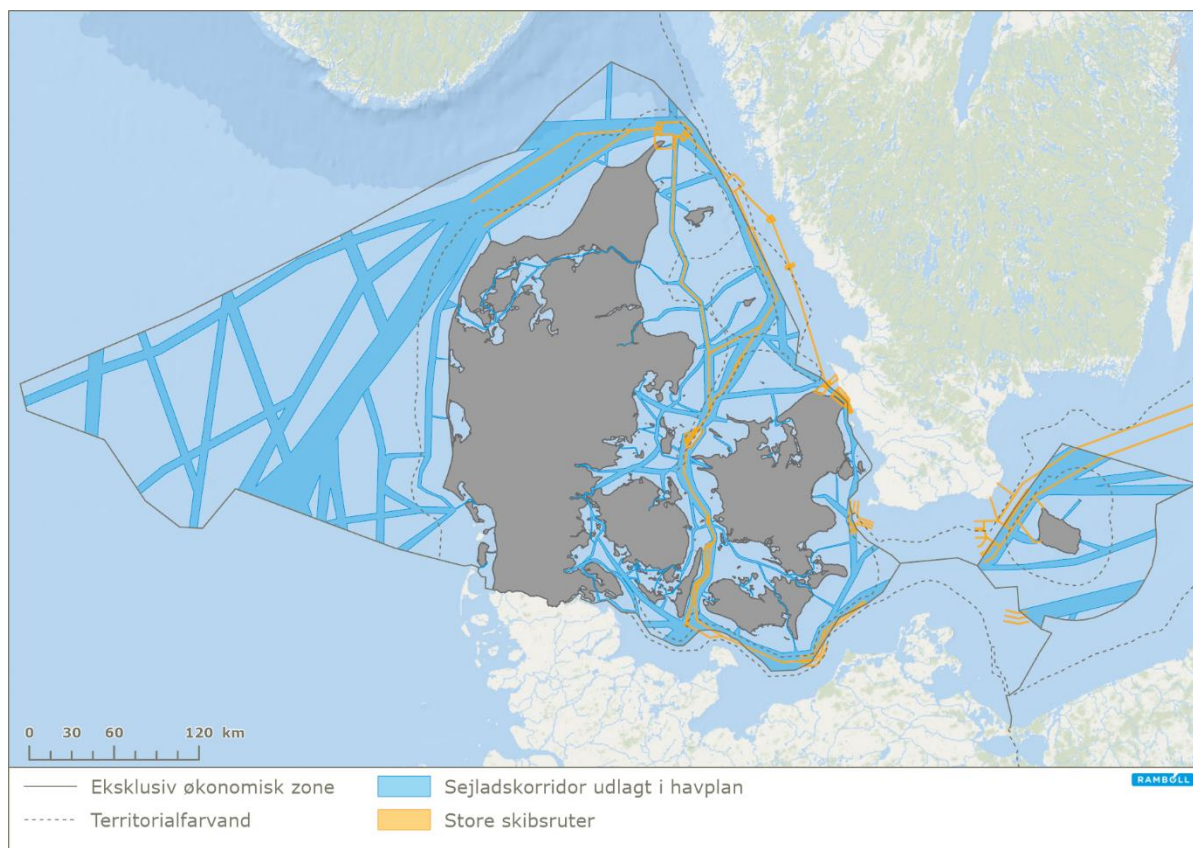
Figur 5-9 Oversigt over fordelingen af udviklingszoner i Danmarks Havplan (Søfartsstyrelsen, n.d.).

5.8 Skibstrafik

Det danske havareal er præget af tæt skibstrafik, og navnlig i de indre danske farvande er der høj tilstedeværelse af skibe, se Figur 5-10. En stor del af den kommercielle skibstrafik følger store udlagte skibsruter eller transitruter (T-ruten), der sikrer skibene betrygget sejladsgennem dansk farvand. Skibstrafikken er ikke begrænset til disse udlagte ruter og ruter til og fra vigtige havne og færgeterminaler er også præget af høje tætheder af skibe.

Ved anlæg og drift af PtX på havet vil der være kontinuerlig drift af skibe til brug for installation, transport af materialer og mandskab og muligvis ved FPSO-løsninger og transport af gasser. Ydermere vil der omkring platforme, kabler og rørledninger være sikkerheds- og forbudszoner, der alle kan påvirke den lokale og regionale skibstrafik. Grundet den høje tæthed af skibstrafik på det danske havareal er der en række områder, der vil være mindre egnede til udbygning af PtX på havet. Hovedskibsruter bør undgås for at reducere tredjepartsrisici og for at reducere en potentiel

påvirkning af den danske skibstrafik. Dette skyldes, at almindelige kommercielle fartøjer skal tilpasse deres kurs for at holde sig fri af sikkerhedszonen omkring de langsomt bevægende anlægs- og driftsfartøjer. Samtidig vil faste strukturer på havet, uanset om det er platforme eller rørledninger og kabler udgøre områder, hvor skibstrafik og opankring vil være begrænset. Der kan ikke laves en eksakt beskrivelse af områder, hvor udbygning af PtX vil være begrænset grundet skibstrafik, da tætheden af skibstrafik er en dynamisk og varierende størrelse, der først kan analyseres mere præcist ved et konkret projekt. Det konkluderes dog, at store skibsruter og hovedfærdselsårer til havne og færger udgør områder, der kan udgøre begrænsninger for udbygning af PtX på havet i Danmark.



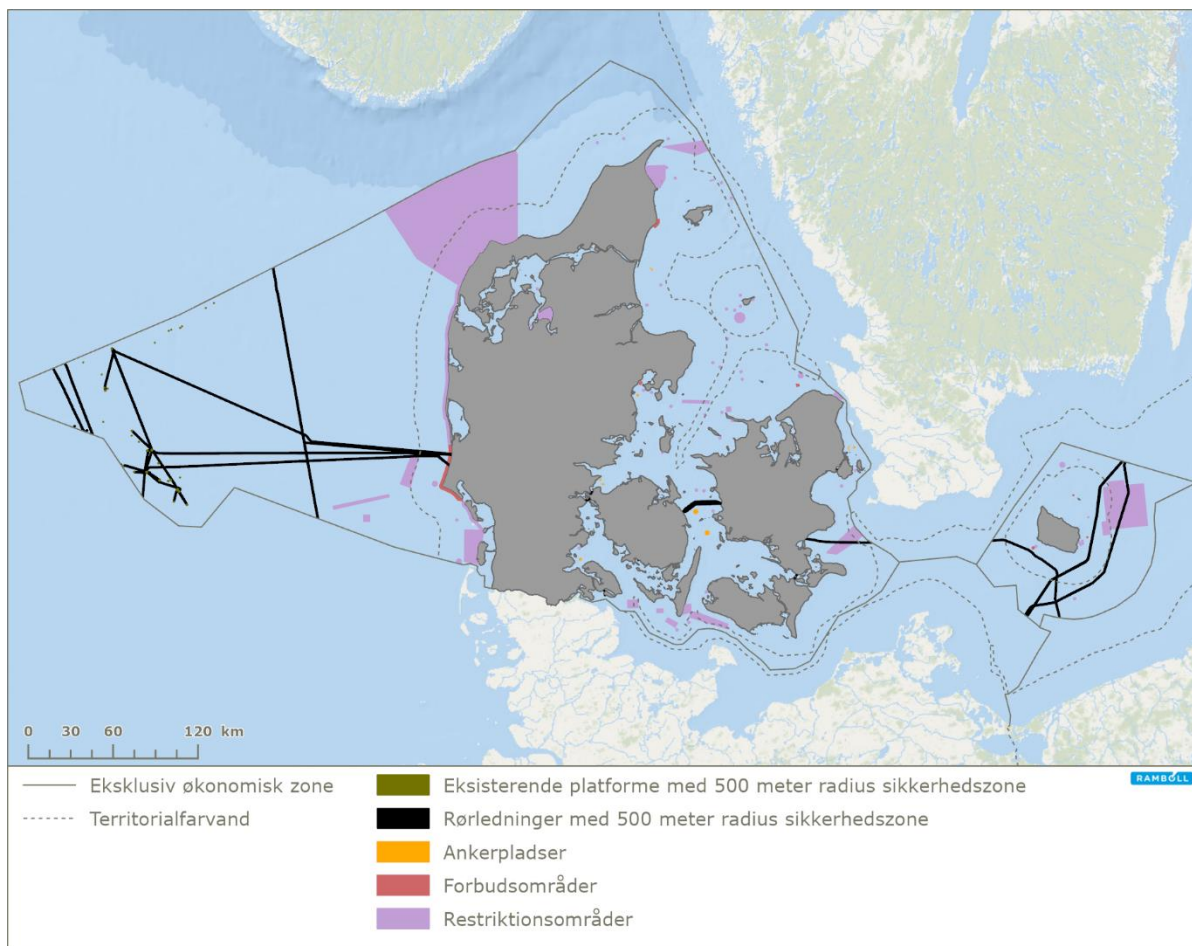
Figur 5-10 Store skibsruter på det danske havareal (European Commission, 2024; Søfartsstyrelsen, 2023).

5.9 Marin infrastruktur og restriktive områder

På det danske havareal er der en række eksisterende strukturer og arealanvendelser, der kan være med til at sætte begrænsninger for det tilgængelige og egnede havareal, se Figur 5-11.

Der er talrige rørledninger installeret på havbunden, over varierende afstande mellem flere lande. Rørledningerne udgør relativt små arealbegrænsninger i sig selv, men der er ofte klare restriktionszoner og krav til afstand omkring eksisterende rørledninger. Rørledninger kan derfor sætte begrænsninger i forhold til linjeføringer af for eksempel kabler og rørledninger ved udbygningen af PtX på havet. Det samme gælder eksisterende platforme og offshore installationer, der er koncentreret i den vestlige del af den danske EEZ.

Udover eksisterende strukturer er der en række udpegninger og restriktive områder, hvor anlæg og drift af PtX-anlæg kan være begrænset. Dette gælder både ankerpladser nær vigtige transportruter eller havne, samt forbuds- og restriktionsområder, hvor aktiviteter er forbudte eller frarådede grundet sikkerhedshensyn pga. f.eks. deponerede miner og andet ammunition. Samlet set udgør disse arealbegrænsninger 16,6 % af det danske havareal.



Figur 5-11 Arealanvendelser og forbuds-, sikkerheds- og restriktionszoner på det danske havareal.

6. Forventede vilkår

Dette kapitel beskriver potentielle og forventede vilkår til håndtering af miljøpåvirkninger i forbindelse med godkendelser og tilladelser ved konkrete offshore PtX-projekter. Vilkårene skal sikre, at miljøpåvirkninger fra konkrete PtX-anlæg er i overensstemmelse med lovkrav på miljøområdet. Beskrivelsen af vilkår til offshore PtX inddeles i to kategorier med forskellig detaljeringsgrad: Velkendte vilkår anvendt for miljøpåvirkninger på havet beskrives med lav detaljeringsgrad, mens potentielle vilkår ved PtX-projekter tæt på land vil beskrives med højere detaljeringsgrad.

6.1 Velkendte vilkår anvendt for miljøpåvirkninger på havet

En væsentlig del af miljøpåvirkningerne ved offshore PtX har samme karakter som miljøpåvirkninger ved øvrige aktiviteter på havet, som har været reguleret over en årrække. Det er blandt andet offshore olie- og gasaktiviteter, transport af gasser i rørledninger og via skibe, og anlægsarbejder offshore. Offshore PtX-projekter er underlagt en række generelle reguleringer af offshore aktiviteter, herunder bestemmelser i internationale konventioner, hvor platforme er under OSPAR konventionen, og skibe er under IMO's MARPOL konvention. Derudover er en lang række danske bekendtgørelser, der fastsætter rammer og regler for offshore aktiviteter, herunder Bekendtgørelse af lov om beskyttelse af havmiljøet (LBK nr 147 af 19/02/2024) og Bekendtgørelse om krav til udledning af visse forurenende stoffer til vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og havområder (BEK nr 1433 af 21/11/2017).

Tabel 6-1 giver et overblik over de potentielle presfaktorer ved anlæg og drift af PtX på havet, som er nævnt indledningsvist i kapitel 5, samt relevante velkendte vilkår anvendt til at regulere tilsvarende påvirkninger fra øvrige aktiviteter på havet. De viste velkendte vilkår og tilhørende lovhjemmel kan ikke nødvendigvis overføres direkte til PtX-aktiviteter, da der i flere tilfælde mangler tilsvarende lovhjemmel på PtX-aktiviteter.

Tabel 6-1 Overblik over potentielle presfaktorer ved anlæg og drift af PtX på havet og relevante velkendte vilkår anvendt til at regulere tilsvarende påvirkninger fra øvrige aktiviteter. Tegnet '-' markerer, at det ikke har været muligt at identificere tilladelser til relevante projekter, hvor vilkåret er anvendt. Lovhjemmelkolonnen angiver den lovhjemmel, som henvises til for vilkårene i de konkrete tilladelser.

Forventede presfaktor	Kilde til presfaktor	Velkendte vilkår	Lovhjemmel	Eksempler på anvendelse
Undervandsstøj	Etablering og nedtagning af faste strukturer og skibsaktivitet	Anvendelse af Energistyrelsens standardvilkår for installation af monopæle (Energistyrelsen, 2018). Vilkår om at overholde tærskelværdi for PTS til at beskytte havpattedyr (Energistyrelsen, 2018). Udbygning betinget af dokumenteret overholdelse af krav til undervandsstøj. Krav om at fastlægge retningslinjer for transport, herunder faste transportveje.	VE-loven	Vedligeholdelse på Syd Arne. Hejrefeltet. Thor havvindmøllepark
	Støj i forbindelse med vedligehold	Energistyrelsens standardvilkår for undersøgelser til havs	Undergrundsloven	Vedligeholdelse på Syd Arne. Hejrefeltet

<i>Fysiske forstyrrelser fra bl.a. visuelle forstyrrelser, lysforurening og luftbåren støj</i>	Tilstedeværelsen af anlægsfartøjer, anlægs- og driftsaktiviteter og stående strukturer	Krav om at fjerne anlæg efter brug. Krav om bortskræmning med pin-ger ved udlægning af sten. Indrapportering af støj.	Offshore-habitat-bekendtgørelsen	Nord Stream 2. Hejrefeltet
	Tilstedeværelse af anlæg	Krav om at fjerne anlæg efter brug.	Undergrundsloven	Hejrefeltet
<i>Tab og forstyrrelse af havbunden</i>	Etablering af faste fysiske strukturer.	Sikkerhedszoner/beskyttelseszo-ner ved kabler (positiv påvirkning)	VE-loven	Thor hav-vindmølle-park
	Anlægsarbejde for rørledning	Krav om, at materiale til stabilise-ring af rørledning ikke må skade flora og fauna.	Bekendtgørelse om visse rørled-ningsanlæg på søterritoriet og kontinentalsok-len	Nord Stream 2
	Risiko for invasive arter	Krav om oprindelse af sten til be-skyttelse af rørledning* ⁵	Undergrundsloven	Hejrefeltet
<i>Sedimentspild (forøget sedi-ment koncen-tration (SSC) og se-dimentation)</i>	Gravearbejde og nedramning af fun-damenter	Vilkår om begrænsning af sedi-mentspredning.	VE-loven	Thor hav-vindmølle-park
<i>Luftemissioner (emission af foru-renende stoffer), herunder Udled-ning/anvendelse af klimagasser</i>	Forbrændingen af fossile brændstoffer fra fartøjer og fla-ring/venting. Indi-rekte ud fra materia-leforbrug.	Krav om etablering af en nødtje-neste til imødegåelse af konse-kvenser fra spild af kulbrinter.	Bekendtgørelse om visse rørled-ningsanlæg på søterritoriet og kontinentalsok-len	Nord Stream 2
<i>Spredning eller udledning af miljøfarlige foru-rende stoffer til havet</i>	Antibegroningsmid-del, i processer og opkoncentrering af MFS fra indtags-vand.	Regulering af typer og omfang af kemikalier.	Udledningsbe-kendtgørelsen	Total
<i>Udledning af op-varmet kølevand</i>	Ved PtX-anlæg er behov for store mængder vand til køling af processer	-	-	-
<i>Udslip af brint, ammoniak, meta-nol og jetfuel</i>	Ved brud på rørfor-bindelser eller læ-kage fra tankanlæg kan der ske udslip	Vilkår om overvågning og afrap-portering, samt nødberedskab for rørledninger	Bekendtgørelse om visse rørled-ningsanlæg på søterritoriet og på kontinental-soklen	Baltic Pipe. Nord Stream 2

⁵ Ved kommende tærskelværdier vil der kunne sættes mere præcise vilkår.

6.2 Mulige vilkår fra indsatsprogrammet under Danmarks Havstrategi II

Ved anlæg og drift af PtX på havet kan der forekomme forhold og miljøpåvirkninger, der kan forringe eller forhindre opnåelsen af god miljøtilstand i havet. I forbindelse med implementering af havstrategidirektivet fra 2008 og den danske havstrategilov fra 2010 skal der gennemføres et indsatsprogram med nationale initiativer, der direkte eller indirekte har positiv effekt på havmiljøet. Herunder er der identificeret en række supplerende tiltag med fokus på vidensindsamling, forskning, overvågning, internationalt samarbejde m.m. Tiltagene kan potentielt medføre øget indrapporteringskrav eller vilkår ved anlæg og drift af PtX på havet. Herunder i Tabel 6-2 gennemgås relevante tiltag og deres potentielle vilkår for PtX-anlæg.

Tabel 6-2 Oversigt med potentielle vilkår udløst af indsatsprogrammet under Danmarks Havstrategi II.

Nummer	Relevante deskriptorer	Beskrivelse	Potentielt vilkår
Indsatser under Danmarks Havstrategi II			
DK-HSII-80	D1	Indsatser for undervandsstøj har afledte positive effekter på havpattedyr. Kraftige kortvarige lyde kan forårsage fysiske skader og påvirke havpattedyrs hørelse, imens den lavfrekvente og mere konstante lyd kan påvirke havpattedyrs mulighed for at kommunikere. Både kortvarige og vedvarende lyde kan påvirke havpattedyrs adfærd og lyst til at opholde sig i bestemte områder.	Vilkår om yderligere reduktion i undervandsstøj ved projektaktiviteter
DK-HSII-12	D6, D7	Udvikling af database og vejledning til indrapportering af hydrografiske ændringer samt tab og forstyrrelser af havbund ifm. anlægsprojekter	Vilkår om standardiseret indrapportering til national database
DK-HSII-15	D2	Oprettelse af et nationalt netværk af forvaltere og forskere som del af et Early Warning System (EWS). Formålet med netværket er at fremme indrapporteringen til databasen AquaNIS, hvorfra andre lande kan varsles om nye ikke-hjemmehørende/invasive arter i danske havne, som potentielt kan spredes til de omkringliggende lande. Et etableret EWS på tværs af OSPAR/HELCOM-området, vil kunne bidrage med, at der rettidigt foretages relevante foranstaltninger, der begrænser en yderligere spredning.	Vilkår om indrapportering til database
DK-HSII-14		Strategien har til formål at mindske spredning af ikke-hjemmehørende og invasive arter via skibsbegroning og skal eksempelvis se på opsamling/håndtering af afrenset materiale, forbudsområder og evt. oplysningskampagner.	Vilkår om tiltag med henblik på at mindske spredning af ikke-hjemmehørende arter
DK-HSII-103	D8	Fortsat udvikling af nye tiltag via offshore-handlingsplanerne. Fastholdelse af de tiltag, der blev aftalt med offshore operatørerne via offshore-handlingsplanerne og videre udvikling af nye tiltag via tilladelser til udledning af procesvand.	Vilkår om udledning af procesvand
DK-HSII-115	D8	I den opdaterede bekendtgørelse fra 2023 kodificeres allerede gældende OSPAR-krav og anbefalinger til udledning af stoffer og materialer fra offshore olie- og gasanlæg. Desuden er der fastsat krav om at der skal foretages miljørisikovurdering af udledninger, samt indgå oplysninger om miljøbeskyttelsesforanstaltninger i forbindelse med brøndtestning. De nye tiltag vil begrænse forurening af havet med miljøfarlige stoffer.	Vilkår om udledning af miljøfarlige stoffer
DK-HSII-96	D8	Grænseværdier for PFAS i overfladevand og spildevandsslam på vej. Tiltagene forventes at	Vilkår om udledning af PFAS

		mindske udledningen af PFAS.	
DK-HSII-21	D8	Grundlag for overvågning af negative effekter af marine akutte forureningshændelser. I 2021 er rapporten "Grundlag for overvågning af negative effekter af marine akutte forureningshændelser" blevet udarbejdet. Rapporten er grundlaget for at kunne iværksætte konkrete overvågningsaktiviteter i forbindelse med akutte forureninger med miljøfarlige stoffer på havet.	Vilkår om overvågning i forbindelse med akutte forureninger med miljøfarlige stoffer på havet
DK-HSII-114	D8	Beredskabsplaner for offshore olie- og gasaktiviteter. Løbende indsats for at forebygge større ulykker ifm. offshore olie- og gasaktiviteter samt begrænse konsekvenserne af dem, hvis de sker via beredskabsplaner.	Vilkår om indsatser for forebyggelse af større ulykker
Supplerende tiltag under Danmarks Havstrategi II			
DK-S27	D8	Oprettelse af en national database for indberetninger af olieramte havpattedyr og -fugle. Der vil blive udarbejdet en national database, hvor indberetningerne om antal individer og hvilke arter, der er berørte, vil blive listet. Dette implementeres i den reviderede udgave af beredskabsplan for olie-fugle, som er under udarbejdelse.	Vilkår om indberetningspligt olieudslip, der påvirker fugle
DK-S32	D11	Udbredelse af best practice i den tværministerielle undervandsstøjgruppe, særligt med fokus på opdaterede grænseværdier for permanente høreskader for marsvin og sæler, samt 'best practice' for brug af akustiske skræmmeanordninger (sælskræmmere) som afværgeforanstaltning.	Vilkår om brug af støjreducerende tiltag eller skræmmeanordninger
DK-S40	D1, D6	Der er afsat bevilling til et offentligt-privat partnerskab "Coex-lab", som har til formål at skabe ny evidensbase-rete viden om sameksistens mellem vedvarende energi og biodiversitet samt øget samarbejde mellem aktørerne på området. Coex-lab skal bidrage til at understøtte både udbygningen af vedvarende energi og hensynet til natur-, miljø- og biodiversitet.	Vilkår om indrapportering til database

6.3 Vilkår ved PtX-projekter tæt på land

Sammenlignet med en række andre offshore aktiviteter vil PtX potentielt foregå tættere på land, og det kan have betydning for anvendelsen af vilkår, fordi aktiviteterne vil komme tættere på miljølovgivning relateret til kystnære aktiviteter.

Miljøstyrelsen understreger blandt andet i deres publikation om udledninger fra PtX (Miljøstyren & NIRAS, 2024), at udledning af processpildevand til et målsat vandområde dels skal overholde fastsatte grænser for en række miljøfarlige forurenende stoffer (MFS), men også krav til nærings-salte, organisk stof og salte afhængigt af hvilken recipient, der udledes til. En udledning må desuden ikke forringe tilstanden og forhindre opfyldelsen af miljømål for det målsatte vandområde. Det gælder generelt, at udledninger til ikke-målsatte vandområder skal overholde de gældende miljøkvalitetskrav for de nationalt fastsatte og EU-prioriterede miljøfarlige forurenende stoffer. Der er desuden særlige hensyn, herunder blandt andet til skaldyrvand, hvor skaldyrvandebekendtgørelsen (BEK nr 794 af 13/06/2023) sætter krav til temperaturændringer som følge af udledninger, og derfor potentielt kan begrænse udledningen af kølevand fra PtX-anlæg.

Der er ikke på nuværende tidspunkt eksisterende kystnære PtX-anlæg, og derfor ikke en etableret praksis i forhold til at stille vilkår til den type aktiviteter. Derfor undersøges det, om det er relevant at overføre vilkårsanvendelse for PtX på land i forhold til udledninger til vandforekomster. Det skal her bemærkes, at en væsentlig forskel mellem PtX på land og offshore er, at, hvor der på

land sker en væsentlig opkoncentrering af indholdsstoffer i procesvandet udle, vil det kun forekomme i begrænset omfang på havet, fordi procesvandet blandes sammen med kølevand.

Tabel 6-3 **Overblik over potentielle presfaktorer ved anlæg og drift af PtX på havet og relevante velkendte vilkår anvendt til at regulere tilsvarende påvirkninger fra øvrige aktiviteter.**

Vilkår relateret til påvirkninger af vandforekomster	Relevans for kystnær PtX
Miljøstyrelsens §25 tilladelse til projekt Høst ved Esbjerg	
Ved miljøuheld i anlægsfasen, der enten direkte eller indirekte påvirker beskyttet natur og arter samt målsatte vandforekomster skal arbejdet straks stoppes, og tilsynsmyndigheden skal straks orienteres	Vilkåret er relevant for kystnær PtX i forhold til kystvande.
Miljøstyrelsens miljøgodkendelse af projekt Høst ved Esbjerg	
Virksomheden skal inden miljøgodkendelsen tages i brug indføre og vedligeholde et miljøledelsessystem, som opfylder punkt i-xii i BAT 1 i BAT konklusion nr. C (2016) 3127 for Spildevands- og luftrensning og styringssystemer i den kemiske sektor (CWW).	Vilkåret er relevant for kystnær PtX.
På udskibningsområdet skal al overfladevand opsamles og bortskaffes til godkendt modtager.	Relevansen afhænger af tilstanden for et specifikt kystvand og påvirkningens karakter.
Produktionsområdet og området for udskibning skal være indrettet således, at spild ved eventuelt uheld kan tilbageholdes uden mulighed for afløb til jord, grundvand, overfladevand, havnebassin eller kloak.	Relevansen afhænger af tilstanden for et specifikt kystvand og påvirkningens karakter.
Forurenede overfladevand/spild, ammoniakholdigt vand fra vandgardiner, brandslukningsvand evt. indeholdende skum samt ammoniakholdigt skum skal opsamles og bortskaffes forsvarligt til dertil godkendt modtager.	Relevansen afhænger af tilstanden for et specifikt kystvand og påvirkningens karakter.
Beredskabsplanen for virksomheden skal indeholde håndtering af miljøuheld og håndtering af brandslukningsvand / ammoniakholdigt vand fra vandgardiner / ammoniakholdigt skum, så der ikke sker en påvirkning af jord og grundvand	Ikke direkte relevant da vilkåret sigter mod beskyttelse af jord og grundvand. Generel relevans afhænger af tilstanden for et specifikt kystvand og påvirkningens karakter.
Vilkår i Miljøstyrelsens miljøgodkendelse og §25 tilladelse for PtX-anlæg ved Kassø	
Metanolproduktionsanlæg må ikke være i drift uden genindvindingsanlægget/vandskrubber og termisk oxidation også er i drift.	Relevansen afhænger af tilstanden for et specifikt kystvand og påvirkningens karakter.
Emissionen af stofferne (luftforurening fra termisk oxidation) må ikke overskride de anførte grænseværdier, målt som timemiddelværdier + krav til målinger/kontrol	Relevant i forhold til disposition af kvælstof samt i forhold til krav til luftkvalitet over land.
Virksomheden skal løbende arbejde på at reducere vandforbruget og spildevandsproduktionen jf. BAT 7 i BAT-konklusion nr. C (2016) 3127 for Spildevands- og luftrensning og styringssystemer i den kemiske sektor (CWW) så spildevandsstrømmenes mængde og/eller forureningsbelastning reduceres samt fremme genanvendelse af spildevand i fremstillingsprocesserne.	Relevant opmærksomhedspunkt, men ikke et strengt vilkår.

Ved ethvert spild eller udslip af olie og kemikalier (bl.a. metanol og ethylenglykol) skal det straks sikres, at spildet stoppes og ikke spredes.	Relevansen afhænger af tilstanden for et specifikt kystvand og påvirkningens karakter.
---	--

Det er på det foreliggende grundlag ikke muligt at vurdere, hvorvidt ovennævnte vilkår på land er tilstrækkelige og udtømmende til at sikre mod uacceptable påvirkninger af vandforekomster fra kystnære PtX-aktiviteter. Det skal derfor vurderes ved et senere punkt i en eventuel udbygning af PtX på havet og i forbindelse med det enkelte og konkrete projekt.

6.4 Potentielle problemstillinger

Ud fra ovenstående gennemgang af forventede vilkår, vil der være forhold, der kræver en egentlig juridisk afklaring. Det er især forholdet om, i hvor høj grad eksisterende lovgivning om olie- og gasaktiviteter og rørledninger også dækker variationer af eksisterende og fremtidige PtX-teknologier, og herunder om der er behov for enten at udvide genstandsfeltet for eksisterende bekendtgørelser eller udstede nye bekendtgørelser.

Det er især relevant i forhold til:

- BEK nr. 1421 af 25/06/2021, Bekendtgørelse om nedbringelse af emissioner af svovldioxid, nitrogenoxider, flygtige organiske forbindelser, fine partikler og ammoniak (f.eks. i forhold til udluftning fra ammoniaklager).
- BEK nr. 1472 af 12/12/2017, Bekendtgørelse om vurdering og styring af luftkvaliteten (f.eks. hvis der dannes ozon fra PtX).
- BEK nr. 1042 af 08/07/2023, Bekendtgørelse om styring af sikkerhed og sundhed m.v. i forbindelse med offshore olie- og gasaktiviteter m.v.
- BEK nr. 909 af 10/07/2015, Bekendtgørelse om beredskab ved forurening af havet fra olie- og gasanlæg, rørledninger og andre platforme (f.eks. beredskab ved ammoniak udlledning).
- BEK nr. 571 af 23/05/2023, Bekendtgørelse om udledning i havet af stoffer og materialer fra offshore olie- og gasanlæg og om monitoring i havet omkring anlæggene).

7. Konklusion

For at tilvejebringe et øget vidensniveau om PtX på havet er der gennemført en analyse, som bidrager med et opdateret overblik over mulige tekniske løsninger, potentielle miljøpåvirkninger ved anlæg og drift, og mulige fysiske begrænsninger ved PtX på havet i Danmark.

Analysen har været delt op i fem dele: (1) Der er gennemført en beskrivelse af de potentielle tekniske løsninger, der måtte finde anvendelse ved en fremtidig udbygning af PtX-anlæg på det danske havareal. (2) På baggrund af dette er der gennemført en række modelleringer af de forventede udledninger af opvarmet vand og biocid. (3) Dernæst er de potentielle miljøpåvirkninger udbygningen kan medføre beskrevet og analyseret med udgangspunkt i det marine og biologiske miljø og relevante EU-direktiver. (4) På baggrund af de tekniske løsninger, modelleringer og potentielle miljøpåvirkninger er der beskrevet en række fysiske begrænsninger af det danske havareal og (5) Forventede vilkår ud fra eksisterende lovgivning.

Selvom denne analyse ikke forholder sig til økonomiske forhold ved anlæg og drift af PtX-anlæg på havet eller med sikkerhed kan sige noget om den teknologiske udvikling, gør det sig alligevel gældende, at der vil være en række afvejninger mellem transport af elektricitet i kabler og produktion af brint og andre afledte produkter til transport via skibe eller rørledninger på havet. HVDC-kabler til transport af strøm fra havvindmølleparker udgør en betydelig del af de samlede anlægsudgifter, som kan reduceres ved i stedet at anvende PtX-teknologi og transportere gas via rørledninger. Dog er der betydelige ekstra udgifter forbundet med at anlægge og drive PtX-anlæg på åbent hav og langt fra kysten. Skæringspunktet mellem disse omkostninger kan være med til at afgøre en minimums- og maksimumsafstand til kysten. En vurdering af dette skæringspunkt er ikke en del af denne analyse.

7.1 Teknisk beskrivelse af PtX-anlæg

De potentielle tekniske løsninger for en udbygning af PtX på det danske havareal tager udgangspunkt i brintproduktion, hvor slutproduktet enten er selve brintgassen eller hvor brint anvendes sammen med f.eks. nitrogen eller CO₂ til at producere kemiske slutprodukter som metanol, ammoniak eller jetfuel og andre kulbrinteprodukter. På baggrund af behovet for produktion af brint eller et eller flere andre slutprodukter, er der opstillet en række udbygningsscenarier, der som udgangspunkt kan være centrale (platforme/FPSO) eller decentrale (brintmøller). Komplexiteten af udbygningsscenarierne stiger når brinten forældes til andre slutprodukter. De to mest simple løsninger vil være begrænset til elektrolyse (brintproduktion), som enten kan foregå på brintmøller (decentrale og med en effekt på 15-25 MW) eller på platforme (centrale og med en effekt på 500 MW), hvorefter brinten transporteres til land via rørledninger. Eksempler på mere komplekse løsninger er f.eks. produktion af jetfuel som kræver komplekse procesanlæg og med behov for lagring af forskellige produkter mv.

7.2 Modellering af udledning af vand og biocid

Der er gennemført modelberegninger af udledning og spredning af opvarmet kølevand og biocid i forbindelse med driften af et offshore PtX-anlæg ved fire hydrografiske scenarier, hvor der er inddraget forskellige kombinationer af havdybder og strømforhold under en række forudsætninger. Modelleringerne giver et grundlag for en overordnet analyse af potentielle miljøpåvirkninger ved etablering af et offshore PtX-anlæg i danske farvande. Således er der i nærværende rapport ikke tale om et modellerings- og eller vurderingsgrundlag, som kan forveksles med detailniveauet i miljøkonsekvensvurderinger, men alene indledende resultater baseret på en række grundlæggende overordnede forudsætninger. Der er altså tale om få udvalgte repræsentative eksempler, og således ikke en udtømmende vifte af mulige scenarier og påvirkninger. Det vurderes dog, at de opstillede modelscenarier og forudsætningerne for anvendelsen af resultaterne, til en vis grad

vil sikre, at de dækker en bred vifte af de temperatureffekter, der vil kunne forekomme ved forskellige lokaliteter i danske farvande. Desuden kan der forekomme ekstreme forhold som forventeligt vil være sjældnere og ikke inkluderet i de gennemførte scenarie-beregninger, men som kan medføre momentane mere kritiske temperaturstigninger og biocidkoncentrationer. Det er derfor også vigtigt at anvende resultaterne med en passende forsigtighed eksempelvis i forbindelse med yderligere undersøgelser og studier.

7.3 Presfaktorer, receptorer og potentielle miljøpåvirkninger

Der er gennemført en analyse af de forventede presfaktorer og relevante receptorer ved anlæg og drift af PtX på havet i Danmark ud fra de potentielle miljøpåvirkninger. Analysen tager udgangspunkt i det marine og biologiske miljø. Der er således ikke gennemført en analyse af blandt andet potentielle påvirkninger af materielle goder, erhvervsinteresser og menneskers sundhed. Det er vigtigt at bemærke, at analysens omfang og konklusioner er foretaget på et overordnet niveau, hvor konkrete projektoplysninger ikke er tilgængelige. Jf. miljøvurderingsloven må det forventes, at der i forbindelse med et muligt konkret projekt udarbejdes en afgrænsning og gennemføres en miljøvurdering for det konkrete projekt, hvor presfaktorer, receptorer og potentielle miljøpåvirkninger kan beskrives og vurderes nærmere.

7.3.1 Lavt vægtede presfaktorer

For størstedelen af de identificerede presfaktorer er deres omfang og karakter kendt fra gennemførte projekter inden for blandt andet olie- og gasindustrien eller havvindmølleprojekter. Dette gælder undervandsstøj, fysisk forstyrrelse over vand, tab og forstyrrelse af havbunden, sediment-spild og luftemissioner. Grundet analysens formål har disse kendte presfaktorer været lavere vægtet i analysen. Generelt er de lavt vægtede presfaktorer karakteriseret ved at være af relativt begrænset karakter, enten i geografisk omfang, intensitet eller varighed. Dog er der identificeret relevante receptorer, der, grundet høj følsomhed over for presfaktorens effekter, formentlig vil kræve yderligere granskning og vurdering i en kommende miljøvurderingsproces. Dette omfatter undervandsstøj og marine pattedyr, især hvalarter. Ved anlæg og drift af PtX kan der forekomme undervandsstøj, der kan påvirke marine pattedyr, hvoraf flere arter er strengt beskyttede under habitatdirektivets bilag IV, og hvor marsvin som bilag II-art er en beskyttet og udpeget art i en række Natura 2000-habitatområder.

7.3.2 Højt vægtede presfaktorer

En række af de identificerede presfaktorer er vurderet til at være mere eller mindre unikke for PtX-anlæg. Grundet analysens formål med at tilvejebringe et nyt vidensgrundlag for en mulig kommende udbygning af PtX på havet i Danmark, er de unikke presfaktorer vægtet højere i analysen.

De højt vægtede presfaktorer omfatter spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer (MFS), udledning af opvarmet vand, udledning af restvand med forhøjet salinitet, udledning af dødt organisk materiale i kølevand, samt en række utilsigtede hændelser.

Udledning af miljøfarlige forurenende stoffer

Der er identificeret to potentielle kilder til spredning eller udledning af såkaldte MFS'er ved anlæg og drift af PtX på havet: spredning ved mobilisering af MFS-belastet sediment hovedsageligt under anlægsarbejde og spredning via udledning af kølevand. For samtlige analyser og konklusioner for MFS er det vigtigt at bemærke, at en eventuel betydelig påvirkning eller overskridelse af gældende kriterier eller krav afhænger af en lang række projekt- og lokationsspecifikke forhold, der ligger uden for formålet og rammerne for denne analyse. Samtlige potentielle påvirkninger skal

derfor beskrives og vurderes nærmere i forbindelse med et konkret projekt og en miljøvurderingsproces.

De menneskeskabte MFS'er er sædvanligvis koncentreret i sedimentets øverste lag, ofte 10-30 cm, afsat efter industrialiseringen tog fart for cirka 150 år siden. De dybere lag afspejler i højere grad den geologiske baggrund på stedet og kan have naturligt høje koncentrationer af enkelte metaller eller metalloider. Ved mobilisering af sediment skal der ofte graves ned i 1-2 meters dybde, hvormed en stor del af det mobiliserede sediment vil være af relativt ubelastede karakter. Dette betyder, at selvom de øverste sedimentlag kan have niveauer af MFS'er, der overskrider myndighedernes krav og kriterier, vil opblandingen med de dybere lag medføre, at det spredte sediment enten ikke overskrider kriterierne, eller at det spredte sediment i det mindste vil have en væsentlig lavere koncentration end det omkringliggende overfladesediment det spredes på. På tilsvarende vis vil afgivelsen af MFS i opløst form fra det dybereliggende sediment være lavere end fra overfladesedimentet, der i forvejen er i nær kontakt og balance med vandfasen. Der vil dermed ved gravning i relativt ubelastede sedimenter langt fra kysten kun være lille risiko for overskridelse af gældende krav og kriterier.

Opkoncentrering af potentielt indeholdte MFS i indtagsvandet er vurderet til kun at have en marginal og ubetydelig effekt, da mængden af vand, der går til elektrolyse udgør omtrent 1 % af det samlede udledte vand og dermed vil havvandets indhold af salte og MFS'er blive opkoncentreret med 1 %.

På baggrund af informationer i kapitel 2 og en gennemgang af tilgængelig litteratur er der identificeret en række stoffer, der tilsættes under PtX-produktionen eller potentielt kan blive udledt til vandmiljøet som følge af for eksempel korrosion eller slid på komponenter. Generelt vurderes det, at koncentrationer og mængder af de identificerede stoffer vil være relativt små og ubetydelige grundet blandt andet fortynding. Desuden forudsættes, at der potentielt kan forekomme udledning af forskellige kemikalier, hvoraf det mest kritiske er vurderet at være biocid med en estimeret koncentration ved udløb til havet på ca. 1,5 ppm. Spredningsmodellen for biocid er beskrevet i kapitel 3. Den gennemsnitlige dybdemidlede biocidkoncentration i modelleringsperioden kan anvendes til at vurdere, om der er risiko for en eventuel toksikologisk påvirkning af marine organismer. De modellerede biocidkoncentrationer er holdt op imod Predicted No Effect Concentration (PNEC) dvs. den koncentration hvor der ikke forventes nogen effekt på en specifik organisme. Effektkoncentrationen er varierende og vil være afhængig den enkelte art, livsstadie, eksponeringstid, og de specifikke forhold som eksempelvis salinitet, pH, temperatur og mængden af organisk stof. Typisk vil larvestadier og andre planktonorganismer være mest sårbare. Baseret på modelleringen af de fire udledningsscenarier vurderes det, at der for flere marine organismer vil være en risiko for toksiske effekt i umiddelbar nærhed af udledningspunkter. Biocidkoncentrationerne forventes ikke at udgøre nogen risiko for selv de mest sårbare organismer i en afstand på 1-2 km fra udledningspunktet. Det bør understreges at den egentlige effekt af restbiocid i kølvandsudledning vil afhænge af de stedspecifikke hydrauliske- og kemiske parametre, samt det marine økosystem i recipientområdet. De estimerede mulige påvirkningsafstande i denne rapport bør således ses som indikative. Det kan dog udledes, at risikoen for en evt. påvirkning af marine organismer vil være forøget i områder med lavere dybde og strømforhold.

Det skal dog bemærkes, at PtX-teknologier er under stadig udvikling og brugen af kemikalier og mulige udslip af MFS'er dermed er usikre. Fremtidige undersøgelser af behovet for brug af tilsatte kemikalier kan medføre behov for beskrivelse og vurdering af flere stoffer, mens teknologisk udvikling potentielt kan muliggøre en reduktion i behovet for forskellige MFS eller forbedre rensning, hvormed de udledte koncentrationer vil blive tilsvarende reduceret.

Udledning af opvarmet vand

På baggrund af de gennemførte modeller i kapitel 3 for fire forskellige hydrografiske scenarier er de potentielle miljøpåvirkninger af relevante receptorer beskrevet for udledning af opvarmet kølevand. De hydrografiske scenarier dækker fire forskellige kombinationer af havdybder og varierende middel og maksimale strømhastigheder, men repræsenterer ikke projektspecifikke lokationer. De gennemførte modeller forholder sig til temperaturændring ved udledning af kølevandet, som typisk ved udledningsspunktet vil være 12 grader varmere end det omgivende havvand. I de modellerede udledningsscenarier er kølevandsmængden på 20.000 m³/t, som er den maksimale forventede udledning fra et PtX-anlæg. Modelresultaterne viser generelt, at temperaturstigningerne i recipienten er relativt små og begrænset til et lokalt område omkring udledningsspunktet upåagtet udledningsscenariet, og der ses kun korte og afgrænsede perioder med temperaturstigninger over cirka 1 °C. De største temperaturstigninger for de fire udledningsscenarier ligger på mellem 2,3 °C og 4,6 °C. De største stigninger i temperatur er alle af pulserende karakter, og forekommer kortvarigt (relativt få timer) og kun få gange (cirka 1-6 gange) i løbet af den 14-dages lange modelperiode. Disse afgrænsede og kortvarige faser af relativt varmt vand, ses kun inden for et meget lokalt område tæt på udledningsspunktet (ved 3 km afstand er den modellerede maksimale temperaturstigning på ≤ 1 °C). Da det opvarmede kølevand vil medføre en reduceret densitet (vandet bliver lettere end det omgivende hav), vil den største lokale påvirkning forekomme i den øvre del af vandsøjlen.

Selvom modellen ikke forholder sig til udstrømningshastighed- og retning ved udledningsspunktet, vurderes det usandsynligt, dog ikke umuligt, at, under bestemte strøm- og dybdeforhold, kan der forekomme perioder, hvor det udledte opvarmede vand vil have kontakt med havbunden, hvor det kan påvirke bundhabitat- og økosystemer.

Receptorer, der kunne blive påvirket direkte af udledninger af opvarmet vand, omfatter hydrografi og vandkvalitet, plankton, bundflora og fauna samt fisk, mens fugle og havpattedyr kunne indirekte potentielt blive påvirket gennem for eksempel ændringer i fødegrundlag. Grundet det relativt begrænsede omfang af temperaturstigninger, både i udbredelse, varighed og absolut temperaturændring, ved udledning af opvarmet kølevand til det marine miljø er det også vurderet, at de potentielle miljøpåvirkninger, der måtte opstå, er begrænsede og i tilfælde af flere receptorer ganske ubetydeligt. Det er dog samtidigt vigtigt at bemærke, at det ikke kan udelukkes, at der i mere aflukkede vandområder, som ved for eksempel fjorde, kan opstå hydrografiske forhold, der medvirker til, at der kan ske længerevarende og permanent opvarmning af en stående vandmasse og eller øget bundkontakt, hvormed de potentielle miljøpåvirkninger vil forværres i omfang og karakter. Det anbefales, at der i forbindelse med et konkret projekt gennemføres projektspecifikke modelleringer, der inkluderer alle relevante forhold, herunder også tilstrækkelig opløsning af modellen ned gennem vandsøjlen.

Udledning af restvand med forhøjet salinitet

Under brintproduktionen er det nødvendigt at rense en del af det indtagne havvand, hvormed der vil være en stigning i koncentration af salte i det udledte procesvand sammenlignet med indtagsvandet. Den forventede salinitetsstigning vil være 1 % (for eksempel 8 % til 8,08 %) og ved øjeblikkelig og betydelig opblanding med det omliggende havvand ved udledningsspunktet vil en potentiel påvirkning af det marine miljø være ubetydelig.

Udledning af dødt organisk materiale

Under drift af PtX-anlæg kan der ske en udledning af dødt organisk materiale som følge af indtag af fyto- og zooplankton, der forgår, under kølevandets passage i systemet og diverse renseprocesser. Koncentrationen af dødt organisk materiale, der udledes vil næsten være tilsvarende koncentrationen ved indtaget og vil hurtigt fortyndes i nærmiljøet ved udledningspunktet grundet strømme og omrøring. Det er således konkluderet, at der formentlig kun vil være begrænset eller ubetydelig påvirkning af havmiljøet.

Utilsigtede hændelser

Analysen har identificeret fire relevante utilsigtede hændelsesscenarier, hvor der potentielt kan ske skade på det marine miljø. Scenarierne omfatter udslip af brint, udslip af ammoniak, udslip af metanol og udslip af jetfuel og andre olieprodukter. Sandsynligheden for større utilsigtet udledning fra lignende faciliteter forventes generelt at være 10^{-4} til 10^{-6} per anlæg per år. Dvs. at i gennemsnit, vil der årligt være et enkelt anlæg ud af 10,000- 1,000,000 som vil være udsat for et større uheld. En mere nøjagtig risikovurdering vil være afhængig af flere anlægsspecifikke parametre, og ovennævnte sandsynlighed skal derfor ikke betragtes som endelig.

- 1) Brint:** Betydelige direkte påvirkninger af det marine miljø ved udslip af brint er vurderet til at være begrænsede grundet brints lave densitet, hvormed det forventes hurtigt at stige mod overfladen og til vejrs. Grundet gassens relativt store drivhuseffekt er det dog et uønsket scenarie, hvis sandsynlighed skal minimeres gennem relevante tiltag.
- 2) Ammoniak:** Udslip af store mængder ammoniak kan både medføre eutrofieringseffekter og direkte toksiske effekter på det marine miljø og organismer. Udslip af cirka 13.500 tons ammoniak vil medføre klar overskridelse af vedtagne grænser for udledning af kvælstof til kystvande. Der er ikke identificeret tilfælde, studier eller modelleringer, der i størrelsesordenen er direkte sammenlignelige med et udslip af 13.500 tons ammoniak. DHI konkluderer dog, at der ved udslip af cirka 2.750 tons kvælstof til Lillebælt ikke sås betydelige eutrofieringseffekter over længere tid i 2016, mens DCE rapporterer om behovet for at se på effekterne over en længere periode og henviser til indrapporteringer om usædvanlige miljømæssige forhold. Et udslip på 13.500 tons ammoniak er betydeligt større end de rapporterede 2.750 tons udledt til Lillebælt, og det kan ikke afvises, at der under de visse hydrografiske forhold kan være betydelige eutrofieringseffekter, der kan have længevarende konsekvenser for det marine miljø. En yderligere kvalificering af de potentielle miljøpåvirkninger skal ske gennem projektspecifik modellering og vurdering i forbindelse med et konkret projekt, hvor dimensioner og placering kendes.

De mulige toksiske effekter af et udslip af ammoniak vil afhænge af en lang række forhold, herunder lokationen for udslippet, mængden og de påvirkede dyregrupper. Modelberegningerne for udslip i Grønland blev lavet for spild på 10.000 og 40.000 tons ammoniak i forbindelse med uheld under transport og overførsel med skib, og er derfor sammenlignelige med mængderne ved et utilsigtet udslip på 13.500 tons ved PtX på havet. Beregningerne i studiet viste, at der kunne forekomme dødelige niveauer for fugle 4-10 km fra spildstedet i højder op til 50-100 meter. For landpattedyr lå dødelige niveauer 1-2 km fra spildstedet tæt på overfladen, og det forventes, at havpattedyr vil være tilsvarende påvirket. Hydrografiske modeller indikerede risiko for fisk i en radius på 5-12 km ved fuld opblanding i 30 meters dybde, mens påvirkningsafstande for planktoniske organismer var 1-3 km for alger og 3-7,5 km for krebsdyr. Bundlevende dyr kan desuden opleve toksiske effekter og øget dødelighed nær udslippet. Langvarige effekter som eutrofiering og toksicitet vil sandsynligvis være mest udtalte i områder med lav vandudskiftning, især i de in-

dre danske farvande. Et stort spild nær beskyttede marine områder kan derfor have betydelige og langvarige konsekvenser for sårbare arter og habitater. Som ved en potentiel eutrofieringseffekt, må det forventes at udslip af ammoniak og potentielle toksicitetseffekter skal modelleres og vurderes i forbindelse med et konkret projekt.

3) Metanol: Grundet metanols kemiske egenskaber med relativ lav densitet og høj opløselighed i vand forventes det, at metanol inden for få timer af et udslip vil falde til meget lave koncentrationer i vandfasen, hvormed det ikke vil udgøre en betydelig risiko for det marine miljø. I forbindelse med et større spild af metanol i åbne danske farvande må den akutte påvirkning af marine organismer forventes at være begrænset til et område i umiddelbar nærhed af spildpunktet. Der forventes ikke langvarige påvirkninger af det marine økosystem med mindre, at der lokalt forefindes sårbare arter og fauna, som kun langsomt vil kunne reetablere sig i området. I kystnære områder med lav vandudskiftning vil risiko for påvirkning dog være større.

4) Jetfuel og andre olieprodukter: Grundet jetfuels kemiske egenskaber og relativt høje toksicitet eller skadelige virkning for forskellige marine dyregrupper kan et udslip af jetfuel forårsage alvorlige miljømæssige påvirkninger af det marine miljø. Generelt kan et spild på 5.500 tons jetfuel forventes at skabe en højrisikozone for toksiske effekter på mellem 5 og 50 kvadratkilometer omkring udslippet, hvor akutte toksiske virkninger er sandsynlige. En bredere zone, hvor subletale effekter kan påvirke det marine liv, kunne strække sig over hundredvis af kvadratkilometer, afhængigt af vejret, strømforholdene og tidsforløbet efter udslippet.

Den akutte toksiske effekt fra et spild vil være mest intens inden for de første 1-3 dage efter udslippet, hvor koncentrationerne er høje tæt omkring udslipspunktet. Under gunstige forhold (varmt, blæsende og åbent farvand) vil risikoen for akut toksicitet aftage hurtigt herefter. I koldere eller stillestående farvande samt i sårbare kystnære områder, kan den akutte toksicitet vare længere, op til en uge eller mere, før koncentrationerne er fortyndet eller fordampet til et niveau, hvor der ikke længere er risiko for akut påvirkning. Sedimentering af oliekomponenter kan medføre længerevarende påvirkning af bundfauna. Som ved andre utilsigtede udslip af PtX-produkter, hvor der kan være miljømæssige konsekvenser, må det forventes, at der skal foretages projektspecifik modellering og vurdering af potentielle toksicitetseffekter og andre skadelige effekter ved et konkret projekt.

7.3.3 Minimerende tiltag

For en række af de identificerede presfaktorer er der beskrevet afværgetiltag eller minimerende tiltag. Tiltagene har til sigte at reducere en potentiel miljøpåvirkning til et acceptabelt niveau ud fra for eksempel vedtagne retningslinjer, lovgivning eller tærskelværdier. Listen over afværgetiltag er ikke udtømmende, og i forbindelse med en miljøvurdering af et konkret projekt kan det være nødvendigt at tilpasse eller gennemføre flere tiltag i tilfælde af væsentlige påvirkninger.

Tabel 7-1 Oversigt med identificerede relevante minimerende tiltag for presfaktorer

Presfaktorer	Beskrivelse
Undervandsstøj	- Brug af installationsteknikker, der støjer mindre - Brug af støjreducerende tiltag i form af for eksempel Hydro Sound Damper eller boblegardiner - Planlægge anlægsarbejde uden for sårbare perioder for relevante receptorer - Brug af soft start-procedurer til minimering af påvirkningszoner for høreskader

Fysisk forstyrrelse over vand	- Undgå at placere PtX-anlæg i vigtige raste, fædnings- og fødesøgningsområder for fugle og flagermus - Minimere lyssætning på strukturer for at reducere risikoen for at fugle og flagermus bliver tiltrukket
Spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer	- For at reducere en potentiel miljøpåvirkning fra udledning af hypoklorit kan der anvendes alternative løsninger som UV eller ozon eller reducere mængden af hypoklorit i anlæggene. - Brug af rette materialer i vandførende systemer kan være medvirkende til at reducere behovet for tilsætning af kemikalier, der inhiberer korrosion.
Udledning af opvarmet kølevand	- Sænkning af udledningstemperatur gennem yderligere køling i PtX-anlægget - Anlægge flere udledningpunkter, så udledningens volumen per punkt reduceres - Projekttere således at risikoen for bundkontakt for udledt opvarmet kølevand reduceres

7.4 Identificerede fysiske begrænsninger på det danske havareal

På baggrund af konklusionerne fra forrige kapitler er der foretaget en rangering af relevante presfaktorer, fysiske og biologiske forhold, arealudpegninger- og anvendelser, og vilkår, der potentielt kunne sætte fysiske begrænsninger for en udbygning af PtX på det danske havareal. Rangeringen er vist i Tabel 7-2. Under de enkelte temaer er det fremhævet om det pågældende emne kan give ophav til udfordringer for PtX-anlæg på det danske havareal.

Grøn repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne ikke vil være begrænsende eller kun begrænse en udbygning af PtX på havet i Danmark i meget lille grad, gul repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne kan sætte visse begrænsninger, der dog kan håndteres eller reduceres gennem for eksempel simplere projektering, afværgeforanstaltninger eller fastsættelse af vilkår, mens lilla repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne kan sætte store begrænsninger, der enten forhindrer PtX-anlæg eller potentielt kræver større projektilpasninger, såsom placering eller udbygningens nationale omfang. Resultaterne i Tabel 7-2 udgør ikke et afgrænsningsnotat jf. §11 i miljøvurderingsloven.

Tabel 7-2 Rangering af relevante forhold ved potentiel udbygning af PtX på det danske havareal. Grøn repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne ikke vil være problematisk, gul repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne kan sætte visse begrænsninger, der dog kan håndteres gennem for eksempel simplere projektering, afværgeforanstaltninger eller fastsættelse af vilkår, mens lilla repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne kan sætte store begrænsninger, der enten forhindrer PtX-anlæg eller potentielt kræver større projektilpasninger.

	Rangering	Forklaring
Presfaktorer		
Undervandsstøj		Intensiteten, varigheden og den geografiske udbredelse af potentielle miljøpåvirkninger fra undervandsstøj kan i de fleste tilfælde reduceres gennem specifikke afværgetiltag og projektiltag. Dog er havpattedyr generelt meget følsomme over for undervandsstøj og visse arter er strengt beskyttede (bilag IV-arter). Undervandsstøj i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan derfor være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Fysisk forstyrrelse over vand		Intensiteten, varigheden og den geografiske udbredelse af potentielle miljøpåvirkninger fra fysisk forstyrrelse over vand er i de fleste tilfælde begrænset. De største påvirkninger vil være i forbindelse med fortrængning af havfugle fra potentielt vigtige fødesøgnings- og rasteområder. Dette kan formentlig undgås i forbindelse med konkret projektering. Visse havfugle er dog generelt følsomme over for fortrængning, og danske fugle er beskyttet

		under fuglebeskyttelsesdirektivet som bilag I-arter. Fysisk forstyrrelse i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan derfor være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Tab og forstyrrelse af havbund		Intensiteten, varigheden og den geografiske udbredelse af potentielle miljøpåvirkninger fra tab og forstyrrelse af havbunden vil i de fleste tilfælde være begrænset. Tab og forstyrrelse af havbunden i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal vil derfor formentlig udelukkende medføre få eller ingen konsekvenser for havmiljøet.
Sedimentspild		Intensiteten, varigheden og den geografiske udbredelse af potentielle miljøpåvirkninger fra sedimentspild vil i de fleste tilfælde være begrænset i geografisk omfang, varighed og intensitet. Tab og forstyrrelse af havbunden i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal vil derfor formentlig udelukkende medføre få eller ingen konsekvenser for havmiljøet.
Luftemissioner		Påvirkningerne af luftkvaliteten er i de fleste tilfælde relativt kortvarige (dage til måneder) og reversible ved projekter tilsvarende det, der forventes ved anlæg af offshore PtX. Udbredelsen af påvirkning er primært lokalt tæt ved offshore installationslokaliteterne og med lave kendte intensiteter. Påvirkning af luftkvaliteten vurderes dermed meget begrænset. Udledning af drivhusgasser er kortvarig (dage til måneder), men påvirkningerne af klimasystemet er permanent og irreversibelt. Der vil desuden være en positiv effekt på klimasystemet, fordi de producerede brændstoffer formentlig vil medvirke til fortrængning af fossile brændstoffer.
Spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer		Baseret på modelleringen af de fire udledningsscenarier vurderes det, at der for flere marine organismer vil være en risiko for toksiske effekt i umiddelbar nærhed af udledningpunkter. Biocid-koncentrationerne forventes ikke at udgøre nogen risiko for selv de mest sårbare organismer i en afstand på 1-2 km fra udledningpunktet. Biocidet hypoklorit omsættes til blandt andet adsorberbart organisk halogen (AOX), herunder kloroform, hvis koncentration formentlig vil være under miljøkvalitetskravet. Mens spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer formentlig ikke vil udgøre en begrænsning af udbygning af PtX på åbent vand og uden for vandforekomster kystnært, kan der være øget risiko for overskridelse af miljøkvalitetskrav i målsatte kystvande og ikke-målsatte vandområder. Grundet analysens overordnede niveau kan en sådankonkret vurdering ikke gennemføres for samtlige identificerede stoffer på nuværende tidspunkt og skal gennemføres i forbindelse med en miljøvurderingsproces. Spredning eller udledning af miljøfarlige forurenende stoffer i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Udledning af opvarmet kølevand		Udledning af opvarmet kølevand vil kun medføre begrænset påvirkning af det marine miljø. Modelresultaterne viser generelt, at temperaturstigningerne i recipienten er relativt små og begrænset til et lokalt område omkring udledningpunktet upåagtet udledningsscenariet, og der ses kun korte og afgrænsede perioder med temperaturstigninger over cirka 1 °C. De største temperaturstigninger for de fire udledningsscenarier ligger på mellem 2,3 °C og 4,6 °C. De største stigninger i temperatur er alle af pulserende karakter, og forekommer kortvarigt. Modellen forholder sig ikke til udstrømningshastighed- og retning ved udledningpunktet. Det vurderes dog usandsynligt, dog ikke umuligt, at der under særlige forhold kan forekomme perioder, hvor det udledte opvarmede vand vil have kontakt med havbunden, hvor det kan påvirke bundhabitat- og økosystemer. Grundet disse forhold ved mere stille strømforhold og lavere vanddybder vil mere kystnære

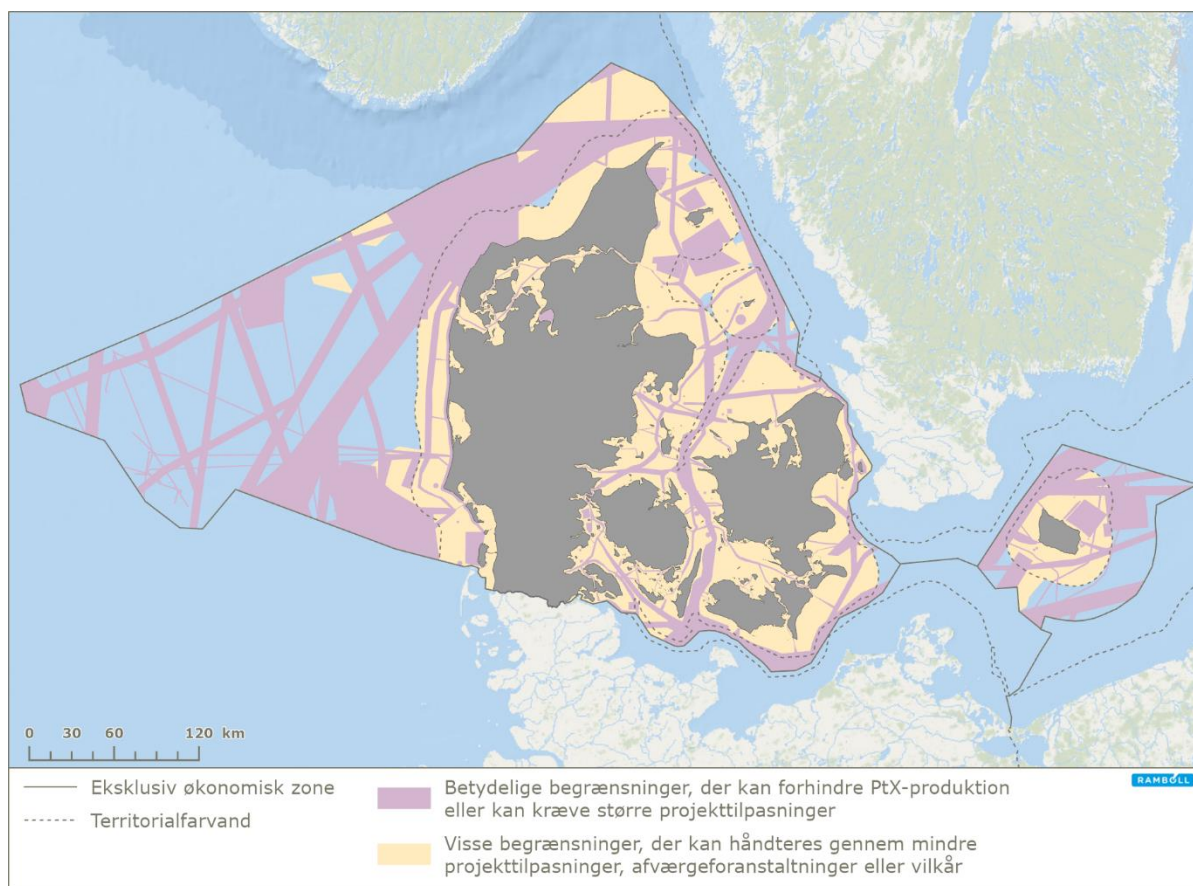
		og stillestående vandområder potentielt udgøre områder, hvor miljøpåvirkningen fra udbygningen af PtX ved udledning af opvarmet kølevand vil være større end det forventede ved dybere og mere offshore lokationer. Udledning af opvarmet kølevand i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Udledning af produktionsvand med forhøjet salinitet		Udledning af produktionsvand med forhøjet salinitet vil forventeligt kun medføre ubetydelige ændringer i salinitet i det marine miljø.
Udledning af dødt organisk materiale i kølevand		Udledning af dødt organisk materiale vil formentlig kun medføre ubetydelige påvirkninger af vandsøjlen da der vil ske en hurtig opblanding og fortynding. Hvis en del af det organiske materiale skulle sedimentere ud til havbunden, kan det give anledning til et lokalt mer-iltforbrug, der kan påvirke de lokale fysiske og kemiske forhold. Det vurderes dog kun at medføre en lille stigning i organisk indhold i et meget lokalt område omkring udledningspunktet. Påvirkningen af havbunden vil i høj grad afhænge af lokale hydrografiske forhold. Ved et konkret projekt kan dette vurderes nærmere.
Utilsigtede hændelser		
Udslip af brint		Der er ikke fundet et scenarie med udslip af brint som medfører betydelige miljøpåvirkninger.
Udslip af ammoniak		Udslip af ammoniak kan påvirke det marine miljø og udgøre en sundhedsfare. Graden af påvirkning vil afhænge af en lang række forhold, men ved udslip af ammoniak i størrelsesordenen identificeret i analysen kan der ske påvirkninger i op til flere kilometers afstand. Effekterne på marine miljøer kan være længerevarende. Udslip af ammoniak er en utilsigtet hændelse, hvis sandsynlighed minimeres bedst muligt. Til trods for dette, vil der ud fra et miljø- og sikkerhedshensyn formentlig være visse geografiske begrænsninger på det danske havareal, især i kystnære områder, hvor ammoniakproduktion og -lagring vil udgøre en betydelig risiko. Udslip af ammoniak i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Udslip af metanol		I forbindelse med et større spild af metanol i åbne danske farvande må den akutte påvirkning af marine organismer forventes at være begrænset til et område i umiddelbar nærhed af spildpunktet. Der forventes ikke langvarige påvirkninger af det marine økosystem med mindre, at der lokalt forefindes sårbare arter og fauna, som kun langsomt vil kunne reetablere sig området. I kystnære områder med lav vandudskiftning vil risiko for påvirkning være større. Udslip af metanol i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan dog være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Udslip af jetfuels og andre olieprodukter		Generelt kan et større spild af jetfuel forventes at skabe en højrisikozone for toksiske effekter på mellem 5 og 50 kvadratkilometer omkring udslippet, hvor akutte toksiske virkninger er sandsynlige. En bredere zone, hvor subletale effekter kan påvirke det marine liv, kunne strække sig over hundredvis af kvadratkilometer, afhængigt af vejret, strømforholdene og tidsforløbet efter udslippet. Den akutte toksiske effekt fra et spild vil være mest intens inden for de første 1-3 dage efter udslippet, hvor koncentrationerne er høje tæt omkring udslipspunktet. Under gunstige forhold (varmt, blæsende og åbent farvand) vil risikoen for akut toksicitet aftage

		hurtigt herefter. I koldere eller stillestående farvande samt i sårbare kystnære områder, kan den akutte toksicitet vare længere, op til en uge eller mere, før koncentrationerne er fortyndet eller fordampet til et niveau, hvor der ikke længere er risiko for akut påvirkning. Sedimentering af oliekomponenter kan medføre længevarende påvirkning af bundfauna. Udslip af jetfuels og andre olieprodukter i forbindelse med udbygning af PtX på det danske havareal kan dog være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Fysiske og biologiske forhold, arealudpegninger og – anvendelser		
Vanddybde		De påkrævede vanddybder for anlæg og drift af PtX sætter en potentiel begrænsning for udbygningen af PtX på det danske havareal. De identificerede tekniske løsninger i kapitel 2 kræver i mange tilfælde vanddybder på over 15 meter. Dog kan fremtidige løsninger potentielt muliggøre projektløsninger, der kan anlægges og driftes i områder af det danske havareal præget af mere grundt vand.
Natura 2000-områder (Habitat- og fuglebeskyttelsesområder)		Potentiel væsentlig påvirkning og skade på udpegningsgrundlag og Natura 2000-områders integritet kan være i strid med habitatdirektivets bestemmelser. Alt afhængig af den specifikke påvirkning, vurdering og projektering af det konkrete projekt kan konsekvensen reduceres, hvormed skade potentielt kan afvises. Grundet det potentielle behov for tilpasning af projekter eller fysisk begrænsning af det danske havareal grundet regler om beskyttelse, udgør Natura 2000-områder generelt en begrænsning af udbygning af PtX på det danske havareal eller kommende konkrete projekter
Bilag IV-arter		En egentlig afgrænsning af det danske havareal er ikke muligt grundet arternes mobile adfærd og mangel på udpegede afgrænsede yngle- og rasteområder for hvalarterne under bilag-IV. En potentiel udbygning af PtX på havet skal dog tage hensyn til arternes strenge beskyttelse, hvilket potentielt kan medføre klare afgrænsninger af det tilgængelige areal. En potentiel påvirkning kan reduceres gennem passende afværgetiltag og projektering. En potentiel påvirkning af bilag IV-arter kan være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter.
Alment og strengt beskyttede havstrategiområder		For alment og strengt beskyttede havstrategiområder gælder en række beskyttelser, der afgrænser tilladte aktiviteter inden for områderne. For alment beskyttede havstrategiområder gælder det, at der skal gennemføres en konkret vurdering med sigte på at kunne afvise skade på områdets integritet. Kun få menneskelige aktiviteter er tilladt inden for strengt beskyttede områder, herunder rørledning og kabler, dog ikke havvindmøller og platforme, hvilket udelukker udbygning af PtX på havet inden for områderne under nuværende gældende lovgivning.
Skibsruter		Skibsruter udgør en klar arealbegrænsning grundet øget risiko for ulykker. Samtidig ligger skibsruterne i dansk farvand fast, hvorfor arealet må forventes, ikke kunne anvendes ved udbygning af PtX på havet.
Marin infrastruktur		Eksisterende arealanvendelser til marin infrastruktur, sikkerheds- og forbudszoner på det danske havareal udgør relativt små områder. De er dog ofte vigtige af sikkerhedshensyn eller ligger i relation til vigtige havnefaciliteter og skibsruter. Det forventes derfor, at være begrænsende for udbygningens karakter og omfang eller kommende konkrete projekter, og arealet må i vid udstrækning forventes ikke at kunne anvendes ved udbygning af PtX på havet.

Vilkår		
Velkendte vilkår, vilkår på baggrund af Danmarks Havstrategi II, og vilkår ved PtX-projekter tæt på land		De beskrevne potentielle vilkår udgør forhold, der potentielt kan være begrænsende for udbygningen. Dette kan skyldes flere forhold, for eksempel manglende juridisk afklaring, fordyrende projektilpasninger eller krav til indrapportering.

På baggrund af rangeringen i Tabel 7-2 og foregående afsnit er der udarbejdet et kort, der visualiserer de relevante begrænsninger ud fra deres rangeringer. Visualiseringerne dækker over de teknisk eller miljømæssige forhold, der kan afgrænses på et kort. Det er således ikke samtlige potentielle begrænsninger, der er inkluderet på kortet, og en række udslipscenarier og beskyttede dyrearters udbredelse er ikke medtaget. Samlet set er der identificeret begrænsende faktorer på 75,8 % af det danske havareal dækkende både de indre farvande og Nordsøen. Alment og strengt beskyttede havstrategiområder, skibsruter, restriktionszoner og eksisterende marin infrastruktur er samlet i områder, hvor det vurderes, at udbygning af PtX ikke kan finde sted eller medfører større projektilpasninger og udgør 44,4 % af det danske havareal. Resterende arealer, hvor der måtte være begrænsninger, udgør således 56 %, hvor det vurderes at udbygning af PtX på det danske havareal i et vist omfang kan være begrænset.

Samlet set vurderes det, at en potentiel udbygning af PtX på det danske havareal potentielt kan være begrænset af en række anlægstekniske krav, fysiske forhold på det danske havareal, potentielle miljøpåvirkninger under anlæg og drift, samt eventuelle vilkår, der måtte blive stillet i forbindelse med et konkret projekt. De identificerede begrænsninger udgør ikke forhold, der er vurderet nødvendigvis at umuliggøre en udbygning af PtX på det danske havareal, men tydeliggør snarere forhold, der anbefales at blive taget i betragtning ved kommende udarbejdelse af kommende relevante bekendtgørelser, planlægning og projektering. Samtidig kan fremtidig udvikling af nye installations- og driftsteknologier og løsninger vise sig at muliggøre anlæg og drift af PtX med mindre miljøpåvirkninger, der dermed også potentielt vil muliggøre placering i områder, hvor der tidligere ville være begrænsninger.



Figur 7-1 Samlet oversigt over identificerede fysiske begrænsninger for en udbygning af PtX-produktion på det danske havareal. Begrænsningerne er rangeret efter kvalificering i Tabel 7-2. Gul repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne kan sætte visse begrænsninger, der dog kan håndteres gennem for eksempel simple projektering, afværgeforanstaltninger eller fastsættelse af vilkår, mens lilla repræsenterer en formodning om, at det pågældende emne kan sætte store begrænsninger, der enten forhindrer PtX-anlæg eller potentielt kræver større projektilpasninger.

8. Referencer

- Aftale Om Udvikling Og Fremme Af Brint Og Grønne Brændstoffer Fra 15. Marts 2022 (2022). <https://www.regeringen.dk/media/11146/af-tale-om-udvikling-og-fremme-af-brint-og-groenne-braendstoffer.pdf>
- Ahlén, I. (1997). Migratory behaviour of bats at south Swedish coasts. *Zeitschrift Fur Säugetierkunde*, 62, 375–386.
- Ahlén, I., Baagøe, H. J., & Bach, L. (2009). Behavior of scandinavian bats during migration and foraging at Sea. *Journal of Mammalogy*, 90(6), 1318–1323. <https://doi.org/10.1644/09-MAMM-S-223R.1>
- Alcalde, J. T., Jiménez, M., Brila, I., Vintulis, V., Voigt, C. C., & Petersons, G. (2021). Transcontinental 2200 km migration of a Nathusius' pipistrelle (*Pipistrellus nathusii*) across Europe. *Mammalia*, 85(2), 161–163.
- Alstrup, A. K. O., Kinze, C. Chr., Kristensen, N. M., Jensen, T. H., Thøstesen, C. B., Larsen, H. L., Sønnichsen, K. A., Kyhn, L. A., Holm, T. E., Sigsgaard, J. J., & Pagh, S. (2024). Further Evidence for Breeding White-Beaked Dolphin (*Lagenorhynchus albirostris*) in Inner Danish Waters. *Coasts*, 4(2), 226–234. <https://doi.org/10.3390/coasts4020013>
- Andersson, M. H., Andersson, B. L., Pihl, J., Persson, L. K. G., Sigray, P., Andersson, S., Wikström, A., Ahlsén, J., & Hammar, J. (2017). A framework for regulating underwater noise during pile driving. Naturvårdsverket.
- Appelberg, M., Holmqvist, M., Lagenfelt, I., Lettevall, E., Sparrevik, E., Wahlberg, M., & Westberg, H. (2005). Öresundsförbindelsens Inverkan På Fisk Och Fiske. Underlagsrapport 1992-2005. <https://portal.findresearcher.sdu.dk/en/publications/oresundsförbindelsens-inverkan-på-fisk-och-fiske>
- Araya, S. S., Cui, X., Li, N., Liso, V., & Sahlin, S. L. (2022). *Power-to-X: Technology overview, possibilities and challenges*.
- Baagøe, H. J. (2001). Danish bats (Mammalia: Chiroptera): Atlas and analysis of distribution, occurrence and abundance. *Steenstrupia*, 26, 1–117.
- Baagøe, H. J. (2007). *Dansk pattedyratlas*. Gyldendal A/S.
- Bellebaum, J., Diederichs, A., Kube, J., Schulz, A., & Nehls, G. (2006). Flucht- und Meidedistanzen überwinternder Seetaucher und Meeresenten gegenüber Schiffen auf See. *Undefined*.
- Blackwell SB, Lawson JW, W. MT. (2004). Tolerance by ringed seals (*Phoca hispida*) to impact pipe-driving and construction sounds at an oil production island. *J Acoust Soc Am.*, 115, 2346–2357.
- Borisut, P., & Nuchitprasittichai, A. (2019). Methanol production via CO2 hydrogenation: sensitivity analysis and simulation—based optimization. *Frontiers in Energy Research*, 7, 81.
- Boshamer, J. P. C., & Bekker, J. P. (2008). Nathusius' pipistrelles (*Pipistrellus nathusii*) and other species of bats on offshore platforms in the Dutch sector of the North Sea. *Lutra*, 51(1), 17–36. [https://www.zoogdiervereniging.nl/sites/default/files/publications/Lutra 51%281%29_Boshamer %26 Bekker_2008.pdf](https://www.zoogdiervereniging.nl/sites/default/files/publications/Lutra%2051%281%29_Boshamer%20Bekker_2008.pdf)
- Bradbury, G., Trinder, M., Furness, B., Banks, A. N., Caldow, R. W. G., & Hume, D. (2014). Mapping seabird sensitivity to offshore wind farms. *PLoS One*, 9(9), e106366.
- Brandt, M. J., Diederichs, A., Betke, K., & Nehls, G. (2011). Responses of harbour porpoises to pile driving at the Horns Rev II offshore wind farm in the Danish North Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 421, 205–216. <https://doi.org/10.3354/meps08888>
- Brandt, M. J., Dragon, A. C., Diederichs, A., Bellmann, M. A., Wahl, V., Piper, W., Nabe-Nielsen, J., & Nehls, G. (2018). Disturbance of harbour porpoises during construction of the first seven offshore wind farms in Germany. *Marine Ecology Progress Series*, 596, 213–232. <https://doi.org/10.3354/meps12560>
- Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie. (2026). *InSitu Portal*.

- Burchardt, J., Hegnsholt, E., Holm, M., Klose, F., Ritter, D., & Schönberger, S. (2023). *Turning the european green hydrogen dream into reality: A call to action*. Boston Consulting Group. <https://media-publications.bcg.com/Turning-the~....>
- Cape, J. N. ;, van der Eerden, L. J. ;, Sheppard, L. J. ;, Leith, I. D. ;, & Sutton, M. A. (2009). Evidence for changing the critical level for ammonia. *Environmental Pollution*, 157(3), 1033–1037. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749108004971>
- Clausen, P., Bregnballe, T., Stepien, E. N., Sveegaard, S., Holm, T. E., Galatius, A., Teilmann, J., & Pedersen, C. L. (2023). *Vurdering af forstyrrelsestrusler i Natura 2000-områderne: Opfølgning på Natura 2000-planer for perioden 2022-2027. Del II. Områdegennemgang: Jylland, Vesterhavet, Skagerrak, Nord-og Sydvestkattégat*.
- Clean Hydrogen Partnership. (2024). *The Renewable Energy Directive (RED)*. <https://observatory.clean-hydrogen.europa.eu/eu-policy/renewable-energy-directive>
- Copernicus. (2023). *Copernicus Marine: Baltic Sea Physical Analysis and Forecasting Product. BALTICSEA_ANALYSISFORECAST_PHY_003_006*.
- Copernicus. (2024a). *Copernicus marine: Baltic Sea Physics Analysis and Forecast*.
- Copernicus. (2024b). *Global Ocean Physics Analysis and Forecast*.
- Dale, H., Taylor, J. D. ;, Solan, M., Lam, P., & Cunliffe, M. (2018). Polychaete mucopolysaccharide alters sediment microbial diversity and stimulates ammonia-oxidising functional groups. *Microbiology Ecology*, 95(2). <https://academic.oup.com/femsec/article/95/2/fiy234/5247715>
- DCE – Danish Center for Environment and Energy. (2016). *BEST PRACTICE FOR RESTORATION OF STONE REEFS IN DENMARK (CODES OF CONDUCT)*. DCE nr. 91. <https://dce2.au.dk/pub/tr91.pdf>
- de Oliveira Soares, M., Salani, S., Paiva, S. V., & Braga, M. D. A. (2020). Shipwrecks help invasive coral to expand range in the Atlantic Ocean. *Marine Pollution Bulletin*, 158, 111394.
- Dean-Ross, D., Mayfield, H., & Spain, J. (1992). Environmental fate and effects of jet fuel JP-8. *Chemosphere*, 24(2), 219–228.
- DHI. (2018). *Modelberegninger af marin spredning og direkte miljøeffekter af udledt kvælstof (gødningsvand) i forbindelse med ulykken i Fredericia Havn den 3. februar 2016. Udarbejdet for DanGødning A/S Arbejdsgruppe Fredericia Kommune, Miljøstyrelsen og repræsentante*.
- Dietz, C., von Helvesen, O., Nill, D., Lina, P. H. C., & Hutson, A. M. (2009). *Bats of Britain, Europe and Northwest Africa*. A & C Black London.
- DMI. (2024). *Frie data*. Hentet fra <https://www.dmi.dk/frie-data/>.
- Dyer, S. D. ;, Peng, C., McAvoy, D. C. ;, Fendinger, N. J. ;, Masscheleyn, P., Castillo, L. V. ;, & Lim, J. M. U. (2003). The influence of untreated wastewater to aquatic communities in the Balatun River, The Philippines. *Chemosphere*, 52(1), 43–53. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653503002698>
- ECHA - European Chemicals Agency. (2025). *ECHA - European Chemicals Agency*. <https://echa.europa.eu/>
- EMODnet. (2024). *EMODnet* Hentet fra <https://emodnet.ec.europa.eu/geoviewer/#3329441>.
- Energistyrelsen. (2018). *Standardvilkår for forundersøgelser til havs. August*.
- Energistyrelsen. (2023a). *Analyseforudsætninger til Energinet 2023 - PtX og DAC - Baggrundsnotat*. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/af23_-_baggrundsnotat_-_ptx_og_dac.pdf
- Energistyrelsen. (2023b). *Guideline for underwater noise - Installation of impact or vibratory driven piles. March*. https://drive.google.com/file/d/1rHfDvouawrvKms4-OyAQuq-tEK8dEZf8/view?usp=share_link
- Engineers Guide. (2021). *Production Process of Methanol*. <https://enggyd.blogspot.com/2010/10/production-process-of-methanol.html>
- Escudero-Oñate, C., & NIVA. (2015). Survey of sodium and calcium hypochlorite - Part of the LOUS review Environmental project. *The Danish Environmental Protection Agency*.
- EU kommissionen. (2021). *Meddelelse fra Kommissionen Vejledning om streng beskyttelse af dyrearter af fællesskabsbetydning i henhold til habitatdirektivet*.

- European Commission. (2024). *European Marine Observation and Data Network (EMODnet)*.
- Fangmeier, A., Hadwiger-Fangmeier, A., Van der Eerden, L., & Jäger, H.-J. (1994). Effects of atmospheric ammonia on vegetation—A review. *Environmental Pollution*, 86(1), 43–82. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0269749194900086>
- FEMA. (2013). *Fehmarnbelt Fixed Link EIA. Marine Fauna and Flora – Impact Assessment. Benthic Fauna of the Fehmarnbelt Area.: Vol. E2TR0021- (Issue E2TR0021)*.
- Femern A/S. (2013). *VVM-REDEGØRELSE FOR DEN FASTE FORBINDELSE OVER FEMERN BÆLT (KYST-KYST), Kapitel 25, SANDINDVINDING PÅ RØNNE BANKE – RÅSTOFKORTLÆGNING OG VVM*.
- Fernandez-Betelu, O., Graham, I. M., Malcher, F., Webster, E., Cheong, S.-H., Wang, L., Iorio-Merlo, V., Robinson, S., & Thompson, P. M. (2024). Characterising underwater noise and changes in harbour porpoise behaviour during the decommissioning of an oil and gas platform. *Marine Pollution Bulletin*, 200, 116083.
- Fließbach, K. L., Borkenhagen, K., Guse, N., Markones, N., Schwemmer, P., & Garthe, S. (2019). A ship traffic disturbance vulnerability index for Northwest European Seabirds as a tool for marine spatial planning. *Frontiers in Marine Science*, 6(APR). <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00192>
- Frankish, C. K. ;, von Benda-Beckmann, A. M. ;, Teilmann, J., Tougaard, J., Dietz, R., Sveegaard, S., Binnerts, B., de Jong, C. A. F. F. ;, & Nabe-Nielsen, J. (2023). Ship noise causes tagged harbour porpoises to change direction or dive deeper. *Marine Pollution Bulletin*, 197, 115755. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2023.115755>
- Fritt-Rasmussen, J., Gustavson, K., Aastrup, P., Agersted, M. D., Boertmann, D., Clausen, D. C., Jørgensen, C. J., Lansø, A. S., & Mosbech, A. (2022). *Assessment of the potential environmental impacts of a major ammonia spill from a Power-to-X plant and from shipping of ammonia in Greenland. Scientific Report No. 487*.
- Furness, R. W., Wade, H. M., & Masden, E. A. (2013). Assessing vulnerability of marine bird populations to offshore wind farms. *Journal of Environmental Management*, 119, 56–66. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.01.025>
- Galatius, A., Teilmann, J., & Fredshavn, J. R. (2017). Baggrund om spættet sæl og gråsaels biologi og levevis i Danmark. *DCE - Nationalt Center for Miljø Og Energi*, 27 pp. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2017/Baggrund_om_spættet_sael_og_graasaels.pdf
- Garthe, S., Schwemmer, H., Peschko, V., Markones, N., Müller, S., Schwemmer, P., & Mercker, M. (2023). Large-scale effects of offshore wind farms on seabirds of high conservation concern. *Scientific Reports*, 13(1), 4779. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-31601-z>
- Geelhoed, S. C. V., Friedrich, E., Joost, M., Machiels, M. A. M., & Stöber, N. (2018). *Gemini T-0: Passive acoustic monitoring and aerial surveys of harbour porpoises (Issue WMR report C020/17)*.
- Google. (2024). *Google Earth*.
- Grant, J., & Thorpe, B. (1991). Effects of suspended sediment on growth, respiration, and excretion of the soft-shell clam (*Mya arenaria*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 48(7), 1285–1292. <https://doi.org/10.1139/f91-154>
- Haywood, G. P. (1983). Ammonia Toxicity in Teleost Fishes: A Review. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences*, 1177. <https://waves-vagues.dfo-mpo.gc.ca/Library/61834.pdf>
- Helmstetter, A., Gamerdinger, A. P., & Pruell, R. J. (1996). Acute toxicity of methanol to *Mytilus edulis*. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 57(4).
- Heydemann, B. (1967). Der Überflug von Insekten über Nord-und Ostsee nach Untersuchungen auf Feuerschiffen. *Deutsche Entomologische Zeitschrift*, 14(1–2), 185–215.
- Hoffmann, E. ;, Carl, H. ;, & Möller, P. R. (2021). *Atlas over danske saltvandsfisk: Torsk. August*. https://fisheatlas.ku.dk/artstekster/Torsk_Fiskeatlas.pdf_copy

- Holm, T. E., Clausen, P., Bregnballe, T., Stepien, E. N., Sveegaard, S., Galatius, A., Teilmann, J., Pedersen, C. L., Nielsen, R. D., & Petersen, I. K. (2023). *Vurdering af forstyrrelsestrusler i Natura 2000-områderne: Opfølgning på Natura 2000-planer for perioden 2022-2027. Del III. Områdegennemgang: Øerne, Sydøstkattégat, Bælthavene og Østersøen.*
- Holm, T. E., Sterup, J., Nielsen, R. D., & Petersen, I. K. (2023). *Fugletrækruter og rastende vandfugle i den danske del af HELCOM-området.*
- HOME. (2024). *Assessing the Solubility of Ammonia (NH3) in Water.* <https://h-o-m-e.org/is-nh3-soluble-in-water/>
- Howard, P. H. (1991). *Handbook of environmental degradation rates.* Lewis Publisher. https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=819292&utm_campaign=8504943975_112718315451&utm_source=lixiaofang&utm_medium=ad-words&utm_term=&utm_content=dsa-906732786235&gad_source=5&gclid=EAIaIQob-ChMIwL-Qpq-GiQMVWUKRBR16uCW8EAAAYASAAEgLPQvD
- Hutchison, Z. L., Hendrick, V. J., Burrows, M. T., Wilson, B., & Last, K. S. (2016). Buried alive: The behavioural response of the mussels, *Modiolus modiolus* and *Mytilus edulis* to sudden burial by sediment. *PLoS ONE*, 11(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0151471>
- Hutterer, R., Ivanova, T., Meyer-Cords, C., & Rodrigues, L. (2005). *Bat migrations in Europe: a review of banding data and literature.* BfN-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag.
- Hydrogen Europe. (2023). *Hydrogen Europe Position Paper on PFAS The importance of fluoropolymers across the hydrogen value chain, and impacts of the proposed PFAS restriction for the hydrogen sector.* https://hydrogeneurope.eu/wp-content/uploads/2023/02/Hydrogen-Europe-position-paper-on-PFAS-ban_v12_FINAL.pdf
- Hyytiäinen, K., Lehtiniemi, M., Niemi, J. K., & Tikka, K. (2013). An optimization framework for addressing aquatic invasive species. *Ecological Economics*, 91, 69–79.
- Iberdrola. (n.d.). *Green ammonia Green ammonia: the sustainable revolution in the chemical industry.* Retrieved 9 December 2024, from <https://www.iberdrola.com/about-us/our-activity/green-hydrogen/green-ammonia>
- INEOS, & Rambøll. (2025). *Offentlig høring af miljøkonsekvensrapport for CO2-lagringsprojektet Greensand Future i Nini Vest-feltet i Nordsøen.*
- International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments (BWM) (2004). [https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships%27-Ballast-Water-and-Sediments-\(BWM\).aspx](https://www.imo.org/en/About/Conventions/Pages/International-Convention-for-the-Control-and-Management-of-Ships%27-Ballast-Water-and-Sediments-(BWM).aspx)
- International Energy Agency. (2024). *World Energy Outlook 2024.*
- International PtX Hub. (2025). *Water electrolysis explained – the basis for most Power-to-X processes.* <https://ptx-hub.org/water-electrolysis-explained/>
- IRENA, R. E. S. (2020). International renewable energy agency. *Abu Dhabi, 2020.*
- Kamermans, P., Brummelhuis, E., & Dedert, M. (2013). Effect of algae-and silt concentration on clearance-and growth rate of the razor clam *Ensis directus*, Conrad. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022098113001809>
- Katsumata, P. T. ;, & Kastenbergh, W. E. (1996). Fate and Transport of Methanol Fuel from Spills and Leaks. *Hazardous Waste and Hazardous Materials*, 13(4), 485–498. <https://doi.org/https://doi.org/10.1089/hwm.1996.13.485>
- Kaviraj, A., Bhunia, F., & Saha, et N. C. (2004). Toxicity of methanol to fish, crustacean, oligochaete worm, and aquatic ecosystem. *International Journal of Toxicology*, 23(1), 55–63.
- Kjelland, M. E., Woodley, C. M., Swannack, T. M., & Smith, D. L. (2015). A review of the potential effects of suspended sediment on fishes: potential dredging-related physiological, behavioral, and transgenerational implications. *Environment Systems and Decisions*, 35(3), 334–350. <https://doi.org/10.1007/S10669-015-9557-2/FIGURES/1>
- Klima- Energi- og Forsyningsministeriet. (2021). *Regeringens strategi for Power-to-X.*

- Kristensen, V. E. (2024). Bygger grønne projekter i Kina: 'De eksekverer bare helt ekstremt effektivt'. *Finans*.
- Krog, C. , & Carl, H. (2019). Atlas over danske saltvandsfisk - Tyklæbet multe. *Atlas over Danske Saltvandsfisk – Tyklæbet Multe. Statens Naturhistoriske Museum*. https://fiskeatlas.ku.dk/nyheder/Tykl_bet_multe_Fiskeatlas.pdf
- Krupa, S. V. (2003). Effects of atmospheric ammonia (NH₃) on terrestrial vegetation: a review. *Environmental Pollution*, 124(2), 179–221. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749102004347>
- LBK Nr 147 Af 19/02/2024 - Bekendtgørelse Af Lov Om Beskyttelse Af Havmiljøet.
- Levit, S. M. (2010). *A literature review of effects of Ammonia on fish*. <https://www.conservationgateway.org/ConservationByGeography/NorthAmerica/UnitedStates/alaska/sw/cpa/Documents/L2010ALR122010.pdf>
- Lewis, R. J. (1989). *Dangerous properties of industrial materials*. Van Nostrand Reinhold.
- Livingston, R. J. (2007). Phytoplankton bloom effects on a gulf estuary: water quality changes and biological response. *Ecological Applications*, 17(sp5), S110--S128.
- Machiele, P. A. (1989). *A Perspective on the Flammability, Toxicity, and Environmental Safety Distinctions Between Methanol and Conventional Fuels*. <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/94005L0X.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1986+Thru+1990&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=0&ExtQFieldOp=0&XmlQuery=>
- Mangas-Ramírez, E., Sarma, S. S. S. , & Nandini, S. (2002). Combined Effects of Algal (*Chlorella vulgaris*) Density and Ammonia Concentration on the Population Dynamics of *Ceriodaphnia dubia* and *Moina macrocopa* (Cladocera). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 51(3), 216–222. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0147651301921281>
- Marine Habitat Committee, & ICES. (2001). *Report Of The Working Group On Marine Sediments In Relation To Pollution*. [https://www.ices.dk/sites/pub/CM Documents/2001/E/E0401.pdf](https://www.ices.dk/sites/pub/CM%20Documents/2001/E/E0401.pdf)
- Markager, S., Kommune, F., & Hansen, A. S. (2017). *Notat om kvælstofudslip på Fredericia Havn den 3. februar 2016*.
- Martini, J. (2024). 'Astronomisk': Mens Ørsted vrager grønne brændstofprojekter står konkurrenten klar i startblokken. *Finans*.
- Merkel, F. R., Mosbech, A., & Riget, F. (2009). Common Eider *Somateria mollissima* feeding activity and the influence of human disturbances. *Ardea*, 97(1), 99–107.
- Messieh, S. N., Wildish, D. J., & Peterson, R. H. (1981). Possible impact of sediment from dredging and spoil disposal on the Miramichi Bay herring fishery. *Canadian Technical Report, Fisheries & Aquatic Science*, 1008.
- Miljø- og Ligestillingsministeriet. (2017). *LBK nr 126 af 26/01/2017. Bekendtgørelse af lov om vandplanlægning*. <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2017/126>
- Miljø- og Ligestillingsministeriet. (2023). *BEK nr 797 af 13/06/2023. Bekendtgørelse om indsatsprogrammer for vandområdedistrikter*. <https://www.retsinformation.dk/eli/lta/2023/797>
- Miljøministeriet. (1989). *Danmarks Hydrografi 1989*.
- Miljøministeriet. (2023). *Vandområdeplanerne 2021-2027*. <https://mim.dk/media/njvlvhax/vandomraadeplanerne-2021-2027-22-9-2023.pdf>
- Miljøstyrelsen. (2010). *Listen over uønskede stoffer 2009*.
- Miljøstyrelsen. (2013). *Miljøvurdering indeholdende VVM-redegørelse og miljørapport for Mejericluster Vestjylland, Arla Foods Amba (Arinco, Danmark Protein og Nr. Vium Mejeri og renseanlæg) renseanlæg*, 2013, Miljøstyrelsen.
- Miljøstyrelsen. (2020a). *Habitatvejledningen - Vejledning til bekendtgørelse nr. 1595 af 6. december 2018 om udpegning og administration af internationale naturbeskyttelsesområder samt beskyttelse af visse arter*. <https://mst.dk/media/kqyb2h5i/habitatvejledningen.pdf>

- Miljøstyrelsen. (2020b). *Habitatvejledningen - Vejledning til bekendtgørelse nr. 1595 af 6. december 2018 om udpegning og administration af internationale naturbeskyttelsesområder samt beskyttelse af visse arter* (Issue Vejledning nr. 48).
- Miljøstyrelsen. (2022a). *Oversigt over Fuglebeskyttelsesområdernes udpegningsgrundlag maj 2022*.
- Miljøstyrelsen. (2022b). *Oversigt over habitatområdernes udpegningsgrundlag 2022*.
- Miljøstyren, & NIRAS. (2024). *Processpildevandsbehandling - Rensning af processpildevand fra rentvandsfabrikker til Power-to-X*.
- Mori, Y., Sodhi, N. S., Kawanishi, S., & Yamagishi, S. (2001). The effect of human disturbance and flock composition on the flight distances of waterfowl species. *Journal of Ethology*, 19, 115–119.
- Müller, S., Groß, P., Rauch, R., Zweiler, R., Aichernig, C., Fuchs, M., & Hofbauer, H. (2018). Production of diesel from biomass and wind power – Energy storage by the use of the Fischer-Tropsch process. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 8. <https://doi.org/10.1007/s13399-017-0287-1>
- Neuman, E., & Andersson, J. (1990). *Biological investigations off the Oskarshamn nuclear power station during the 1980's*.
- Nielsen, N. D., Jensen, A. D., & Christensen, J. M. (2021). The roles of CO and CO₂ in high pressure methanol synthesis over Cu-based catalysts. *Journal of Catalysis*, 393, 324–334.
- NOAA. (2024). *Climate Forecast System Version 2 (CFSv2) Operational Forecasts*.
- North Sea Wind Power Hub. (2022). *Technical Feasibility Grid-integrated offshore Power-to-Gas*.
- Norwegian Directorate for Civil Protection (DSB). (2019). *Analyses of Crisis Scenarios 2019 - DIS-ASTERS THAT MAY AFFECT NORWEGIAN SOCIETY*.
- Offshore Technology. (2000). *South Arne Oil and Gas Project, Danish North Sea*. <https://www.offshore-technology.com/projects/arne/?cf-view>
- Olesen, A. J., Harðhardóttir, S., Daugbjerg, N., Andersen, P., Lyngsgaard, M., Krock, B., & Lundholm, N. (2020). The impact of urea on toxic diatoms--Potential effects of fertilizer silo breakdown on a Pseudo-nitzschia bloom. *Harmful Algae*, 95, 101817.
- Omelon, S., Georgiou, J., Henneman, Z. J., Wise, L. M., Sukhu, B., Hunt, T., Wynnycky, C., Holmyard, D., Bielecki, R., & Grynepas, M. D. (2009). Control of Vertebrate Skeletal Mineralization by Polyphosphates. *PLoS ONE*, 4(5). <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0005634>
- Ørsted. (2024). *Ørsted successfully pilots new technology that further optimises offshore wind monopile installation*. <https://orsted.com/en/media/news/2024/07/orsted-successfully-pilots-new-technology-that-fur-13959650>
- OSPAR. (2013). *OSPAR List of Substances Used and Discharged Offshore which Are Considered to Pose Little or No Risk to the Environment (PLONOR) – Update 2024 (OSPAR Agreement 2013-06)*. <https://www.ospar.org/documents?v=32939>
- Petersons, G. (2004). Seasonal migrations of north-eastern populations of Nathusius' bat *Pipistrellus nathusii* (Chiroptera). *Myotis*, 41(42), 29–56.
- Phys.org. (2023). *New study estimates global warming potential of hydrogen*. <https://phys.org/news/2023-06-global-potential-hydrogen.html>
- Poirier, S. H.; Knuth, M. L.; Anderson-Buchou, C. D.; Brooke, L. T.; Lima, A. R.; Shubat, P. J. (1986). Comparative toxicity of methanol and N,N-dimethylformamide to freshwater fish and invertebrates. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 37(4), 615–621. <https://doi.org/10.1007/BF01607812>
- Popper, A. N., & Hawkins, A. D. (2019). An overview of fish bioacoustics and the impacts of anthropogenic sounds on fishes. *Journal of Fish Biology*, 94(5), 692–713. <https://doi.org/10.1111/jfb.13948>

- Pyšek, P., Hulme, P. E., Simberloff, D., Bacher, S., Blackburn, T. M., Carlton, J. T., Dawson, W., Essl, F., Foxcroft, L. C., Genovesi, P., & others. (2020). Scientists' warning on invasive alien species. *Biological Reviews*, 95(6), 1511–1534.
- Rambøll. (2019). *Baltic Pipe - offshore pipeline - environmental impact assessment - Baltic Sea - Denmark - Gaz-system S.A.*
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/OlieGas/e_miljoekonsekvensrapport_oestersoeen_.pdf
- Rambøll. (2021). *Miljökonsekvensbeskrivning för uppförande, drift och avveckling av vindkraft-parken Skåne Havsvindpark.*
- Rasmussen, S. F. (2019). *Implementation of Fischer-Tropsch Jet Fuel Production in the Danish Energy System.*
- Rojas-Michaga, M. F., Michailos, S., Cardozo, E., Akram, M., Hughes, K. J., Ingham, D., & Pourkashanian, M. (2023). Sustainable aviation fuel (SAF) production through power-to-liquid (PtL): A combined techno-economic and life cycle assessment. *Energy Conversion and Management*, 292, 117427.
- Ronconi, R. A., Allard, K. A., & Taylor, P. D. (2015). Bird interactions with offshore oil and gas platforms: Review of impacts and monitoring techniques. *Journal of Environmental Management*, 147(January), 34–45. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.07.031>
- Russ, J. M., Hutson, A. M., Montgomery, W. I., Racey, P. A., & Speakman, J. R. (2001). The status of Nathusius' pipistrelle (*Pipistrellus nathusii* Keyserling & Blasius, 1839) in the British Isles. *Journal of Zoology*, 254(1), 91–100.
- Rydell, J., Bach, L., Bach, P., Diaz, L. G., Furmankiewicz, J., Hagner-Wahlsten, N., Kyheröinen, E. M., Lilley, T., Masing, M., Meyer, M. M., Petersons, G., Šuba, J., Vasko, V., Vintulis, V., & Hedenström, A. (2014). Phenology of Migratory Bat Activity Across the Baltic Sea and the South-Eastern North Sea. *Acta Chiropterologica*, 16(1), 139–147.
<https://doi.org/10.3161/150811014X683354>
- Şahin, M. E. (2024). An Overview of Different Water Electrolyzer Types for Hydrogen Production. *Energies*, 17(19). <https://doi.org/10.3390/en17194944>
- SCHER. (2008). *Scientific opinion on the risk assessment report on sodium hypochlorite (CAS 7681-52-9), environmental part.* https://ec.europa.eu/health/archive/ph_risk/committees/04_scher/docs/scher_o_082.pdf
- Schmidt, I. (2024). Industrikæmpe med hård dom: 'Vi har været for naive og bløjdje i Europa'. *Finans*.
- Schwemmer, P., Mendel, B., Sonntag, N., Dierschke, V., & Garthe, S. (2011). Effects of ship traffic on seabirds in offshore waters: implications for marine conservation and spatial planning. *Ecological Applications*, 21(5), 1851–1860. <https://doi.org/10.1890/10-0615.1>
- Seacon. (2015). *Udvikling af ålegræs på kabeltracéer – Mønsbroen/Ulvsund og Nysted.*
- Seebens-Hoyer, A., Bach, L., Bach, P., Pommeranz, H., Götttsche, M., Voigt, C., Hill, R., Vardeh, S., Götttsche, M., & Matthes, H. (2021). Fledermausmigration über der Nord-und Ostsee. *Bundesamt Fuer Naturschutz, Germany.*
- Sharma, S. (2023). *Benefits of Using Ammonia as Clean Fuel.* <https://Ammoniagas.Com/Benefits-of-Using-Ammonia-as-Fuel/>. <https://ammoniagas.com/benefits-of-using-ammonia-as-fuel/>
- Søfartsstyrelsen. (n.d.). *Danmarks Havplan.*
- Søfartsstyrelsen. (2023). *Danmarks Havplan Zone til sejladskorridorer (S) - S24.* <https://havplan.dk/da/page/zone/s/3979eda1-428a-4985-8118-c9b5ba7f859f/451427.61/6286019.13/s/S24?timeLineIdx=1>
- Steinberg, D. K. ;, & Saba, G. K. (2008). Nitrogen Consumption and Metabolism in Marine Zooplankton. *Nitrogen in the Marine Environment*, 1135–1196. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372522-6.00026-8>
- Støttrup, J., Dolmer, P., Røjbek, M., Nielsen, E., Ingvarsdén, S., Sørensen, P., & Sørensen, S. R. (2007). Kystfodring og kystøkologi: Evaluering af revlefodring ud for Fjaltring. In *Danmarks*

- Fiskeriundersøgelser*. Danmarks Fiskeriundersøgelser. <https://orbit.dtu.dk/en/publications/kystfodring-og-kystøkologi-evaluering-af-revlefodring-ud-for-fjal>
- Støttrup, J. G., Stenberg, C., Dinesen, G. E., Christensen, H. T., & Wieland, K. S. (2013). *Genemgang af den biologiske og økologiske viden, der findes om stenrev og deres funktion i tempererede områder*. DTU Aqua-rapport nr. 266-2013.
- Sund & Bælt. (2013). *VVM-redegørelse for den faste forbindelse over Femern Bælt*.
- Sveegaard, S. (2022). *Scientific briefing from DCE-Danish Centre for Environment and Energy Date Survey report of the SCANS-IV aerial porpoise surveys Danish participation (TEAM 1)*. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2022/N2022_74.pdf
- Thiebault, A., Pistorius, P., Mullers, R., & Tremblay, Y. (2016). Seabird acoustic communication at sea: a new perspective using bio-logging devices. *Scientific Reports*, 6(1), 30972.
- Thiel, M. ;, Nehls, G. ;, Bräger, S. ;, & Meissner, J. ; (1992). The impact of boating on the distribution of seals and moulting ducks in the Wadden Sea of Schleswig-Holstein. *Netherlands Institute for Sea Research*, 20, 221–233. https://www.researchgate.net/publication/292335579_The_impact_of_boating_on_the_distribution_of_seals_and_moulting_ducks_in_the_Wadden_Sea_of_Schleswig-Holstein
- Thompson, D. L., Duckworth, J., Ruffino, L., Johnson, L., & Lehtikoinen, P. (2023). *JNCC Report 736: : Red-Throated Diver Energetics Project: Final Report*.
- Todd, V. L. G., Todd, I. B., Gardiner, J. C., Morrin, E. C. N., MacPherson, N. A., DiMarzio, N. A., & Thomsen, F. (2015). A review of impacts of marine dredging activities on marine mammals. *ICES Journal of Marine Science*, 72(2), 328–340. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu187>
- Tougaard, J. (2014). Vurdering af effekter af undervandsstøj på marine organismer. Del 2 - Påvirkninger. *Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø Og Energi*, 45, 51.
- Tougaard, J. (2021). *Thresholds for noise induced hearing loss in marine mammals* (Issue March). https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/N2021%7C28.pdf
- US Department of Energy. (2024). <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis>. <https://www.energy.gov/eere/fuelcells/hydrogen-production-electrolysis>
- U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES. (2004). *TOXICOLOGICAL PROFILE FOR AMMONIA*. <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp126.pdf>
- van Beest, F. M., Nabe-Nielsen, J., Carstensen, J., Teilmann, J., & Tougaard, J. (2015). *Scientific Report from DCE-Danish Centre for Environment and Energy DISTURBANCE EFFECTS ON THE HARBOUR PORPOISE POPULATION IN THE NORTH SEA (DEPONS): STATUS REPORT ON MODEL DEVELOPMENT*.
- Veith, G. D. ;, Call, D. J. ;, & Brooke, L. T. (1983). Structure-Toxicity Relationships for the Fathead Minnow, *Pimephales promelas*: Narcotic Industrial Chemicals. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 40(6). <https://doi.org/https://doi.org/10.1139/f83-096>
- Verschuere, K. (1983). *Handbook of Environmental Data on Organic Chemicals*. Van Nostrand Reinhold Company.
- Walkuska, G., & Wilczek, A. (2010). Influence of Discharged Heated Water on Aquatic Ecosystem Fauna. *Polish Journal of Environmental Studies*, 19(3).
- Water Quality Australia. (2000). *Ammonia in freshwater and marine water - Toxicant default guideline values for protecting aquatic ecosystems*.
- Westerberg, H., Rännbäck, P., & Frimansson, H. (1996). Effects of suspended sediments on cod egg and larvae and on the behaviour of adult herring and cod. In *International Council for the Exploration of the Sea CM 1996E:26 Marine Environmental Quality Committee*.
- Widdows, J. (1997). Feeding physiology of *Cerastoderma edule* in response to a wide range of seston concentrations. In *MARINE ECOLOGY PROGRESS SERIES Mar Ecol Prog Ser* (Vol. 152). <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v152/p175-186/>
- Wright, P. J., Jensen, H., & Tuck, I. (2000). The influence of sediment type on the distribution of the lesser sandeel, *Ammodytes marinus*. *Journal of Sea Research*, 44(3–4), 243–256. [https://doi.org/10.1016/S1385-1101\(00\)00050-2](https://doi.org/10.1016/S1385-1101(00)00050-2)

- WSP. (2024). *Flagermus ved Kriegers Flak havmøllepark 2022 og 2023 - supplerende flagermusundersøgelser ved Kriegers Flak*.
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindmoller_hav/flagermus_ved_kriegers_flak_havmoel-lepark_2022_2023_maj2024.pdf
- WSP, & Energistyrelsen. (2023). *Flagermus og havvind*.
https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Vindmoller_hav/flagermus_og_havvindmoeller_feb-ruar_2023.pdf
- Zeyl, J. N., Snelling, E. P., Connan, M., Basille, M., Clay, T. A., Joo, R., Patrick, S. C., Phillips, R. A., Pistorius, P. A., Ryan, P. G., & others. (2022). Aquatic birds have middle ears adapted to amphibious lifestyles. *Scientific Reports*, 12(1), 5251.
- Zhang, T.-X., Li, M.-R., Liu, C., Wang, S.-P., & Yan, Z.-G. (2023). A review of the toxic effects of ammonia on invertebrates in aquatic environments. *Environmental Pollution*, 336.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.122374>

9. Appendix

9.1 Opbygning af den numerisk model

Simuleringerne gennemføres ved anvendelse af programpakken MIKE3 FM udviklet af DHI. MIKE3 FM er et tredimensionelt (3D) modulbaseret modelleringsværktøj udviklet til at simulere f.eks. hydrodynamiske forhold (strøm og vandstand), vandtemperatur og salinitet samt spredning af partikler eller opløst stof. De aktuelt modellerede parametre i MIKE3-FM afhænger af hvilke moduler, der anvendes og/eller kobles sammen.

Til nærværende modelleringsopgave anvendes det hydrodynamiske modul MIKE 3 HD til simulering af strømforhold, vandstandsvariationer samt ændring af salinitet og vandtemperatur. Det hydrodynamiske modul MIKE 3 HD er udviklet til anvendelse ved offshore og kystnære områder, hvor der hersker en fri overfladestrømning. Strømforhold i modellen genereres af de påførte forceringsdata, herunder randbetingelser. I beregningerne tages der højde for effekten fra:

- Vindpåvirkning
- Vandstandsvariation
- Dybdeforhold
- Bundruheder
- Udtørring og/eller oversvømmelse af områder
- Densiteten af vandet, der simuleres som en funktion af vandtemperatur

Udover det hydrodynamiske modul anvendes det såkaldte transport-modul til simulering af spredning af biocid. Transportmodulet er sammenkoblet med HD-modulet, så spredning af biocid i modellen også følger påvirkningerne fra ændringerne i densitet, som følge af vandtemperaturen i modellen.

Input til modelopsætningen er angivet i tabel 3-1 og udvalgte input er nærmere beskrevet i indeværende efterfølgende afsnit.

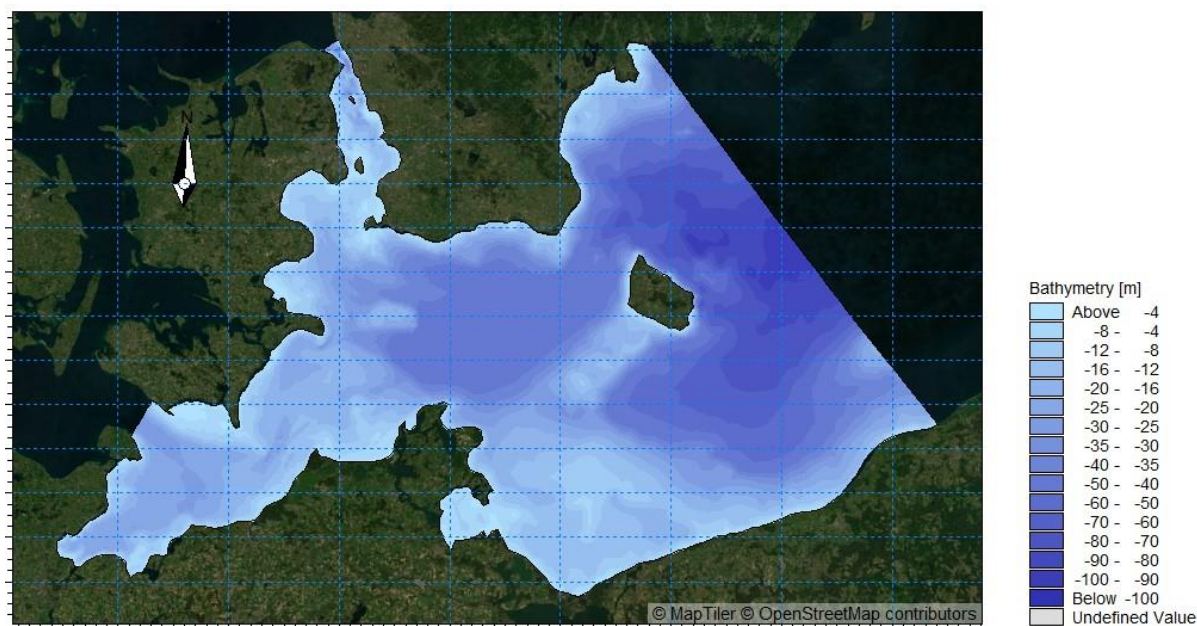
Tabel 9-1: Overblik over anvendte parametre i modelopsætningen, hvor der ikke anvendes 'default' indstilling. For at undgå misforståelse er der i tabellen anvendt samme engelske udtryk for modelparametre som i MIKE-modellen.

Parameter	Indstilling
Basic equation	Lavt vands formler
Solution technique	Højere orden, kritisk CFL tal = 0,8
Density	Funktion af vandtemperatur.
Eddy viscosity	Horisontal; Smagorinsky konstant = 0,28 Vertikalt; "two-equation turbulence model"
Bed Resistance	Ruhedshøjde – konstant = 0,0375 m
Coriolis forcing	Varierende i modeldomænet
Wind forcing	Varierende i tid og i modeldomæne.
Boundary conditions	Tidsvarierende vandstand og strømhastighed.

9.1.1 Modeldomæne og vanddybder

Dybdeforholdene i den anvendte model er baseret på en Digital Terrænmodel (DTM) fra European Marine Observation and Data Network (EMODnet). DTM'en er baseret på 21.937 datasæt fra bathymetriske undersøgelser indsamlet fra 64 dataleverandører fra 28 lande og dækker floder og europæiske have. Derudover er der i DTM'en også inkluderet data fra satellitbaserede undersøgelser. Dybdedata er indhentet for hele modelområdet i et grid på cirka 115 m x 115 m (EMODnet, 2024).

Modelområdet strækker sig fra Rødbyhavn i vest og til øst for Bornholm, se modelområde i Figur 9-1, hvoraf også dybdeforhold i modelområdet fremgår.

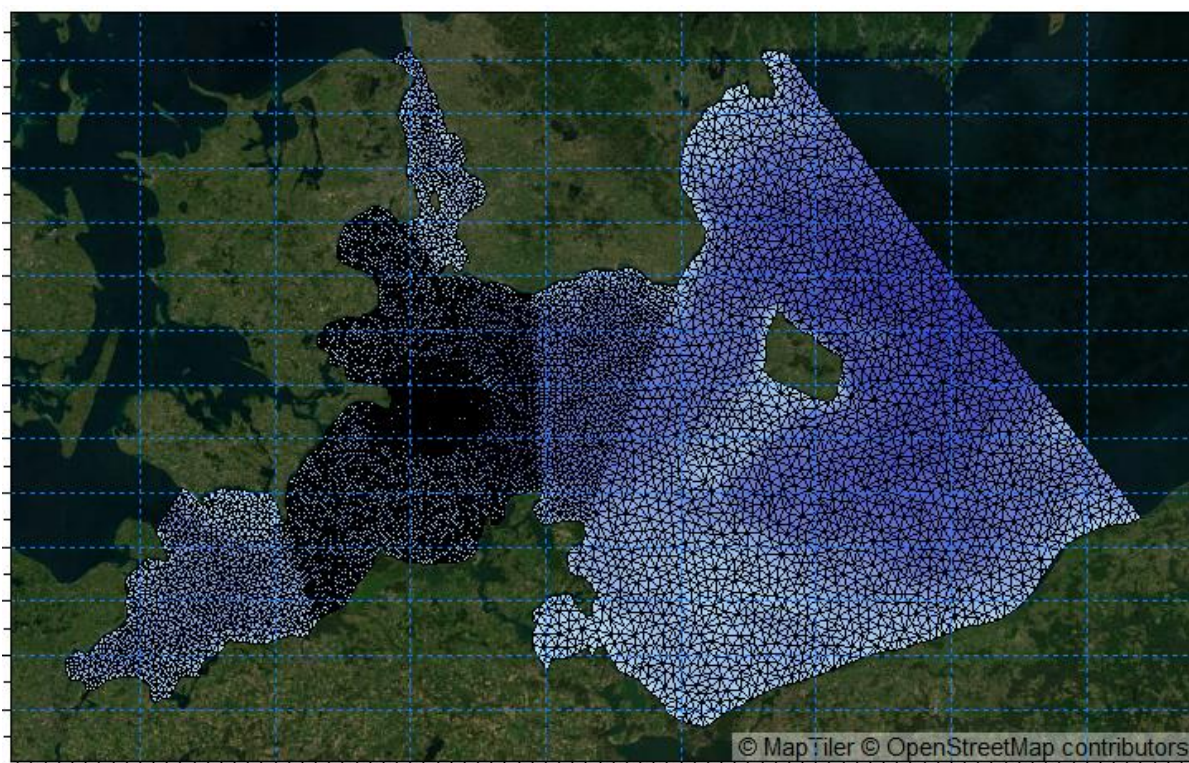


Figur 9-1: Modelområde anvendt ved de numeriske simuleringer. Baggrundfoto er fra Google Earth (Google, 2024)

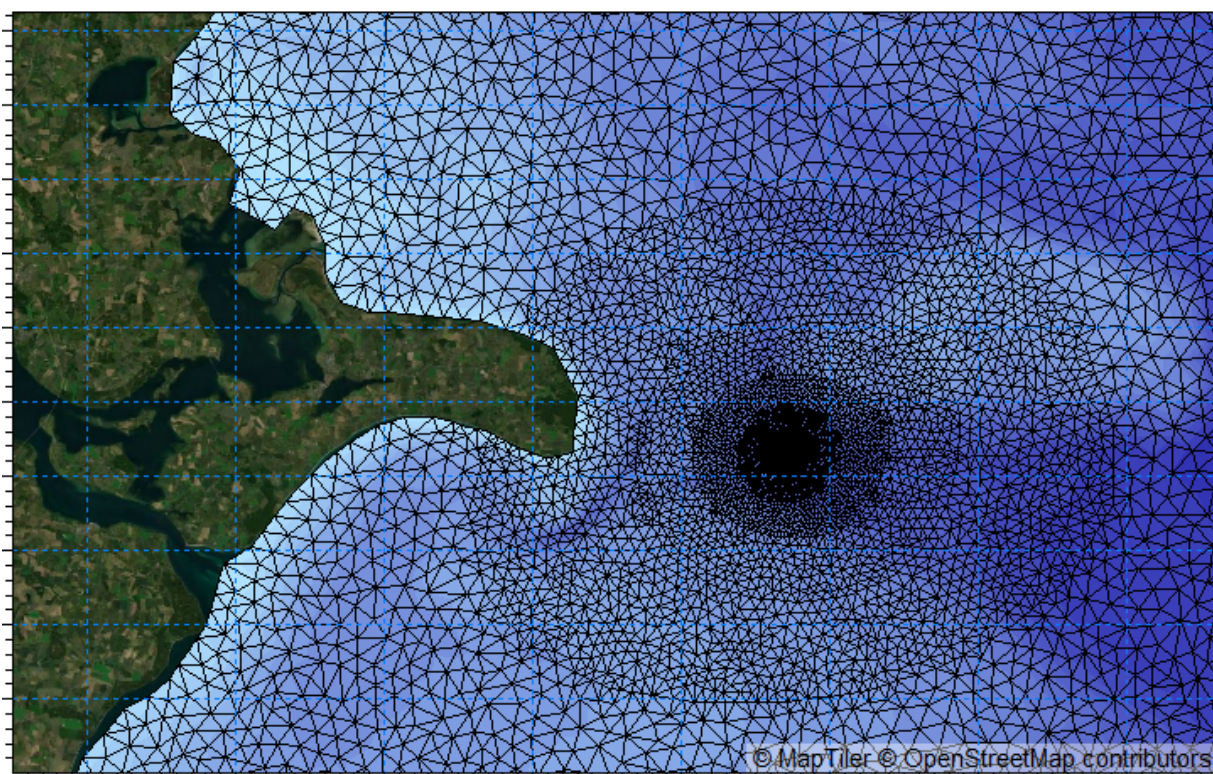
9.1.2 Diskretisering af model

I modellen anvendes et såkaldt fleksibelt beregningsnet, som består af trekantelementer af varierende størrelse. Således er der tæt ved udledningspunkterne anvendt reduceret elementstørrelse, med henblik på at øge modelpræcisionen i disse områder. Elementernes størrelse øges gradvist med afstanden til udledningspunkterne.

Pga. afstandene imellem udledningsposition 1 – 4 anvendes forskellige model-diskretiseringer for de forskellige udledningspunkter. Et eksempel på den anvendte model-diskretisering ifm. model-
lering af udledningsposition 1 er illustreret i Figur 9-2 og Figur 9-3. Af figurerne fremgår det, at diskretiseringen er fin omkring udledningspunktet og i kortere afstand hertil. Lignende model-diskretiseringer anvendes for de resterende udledningspositions-modeller.



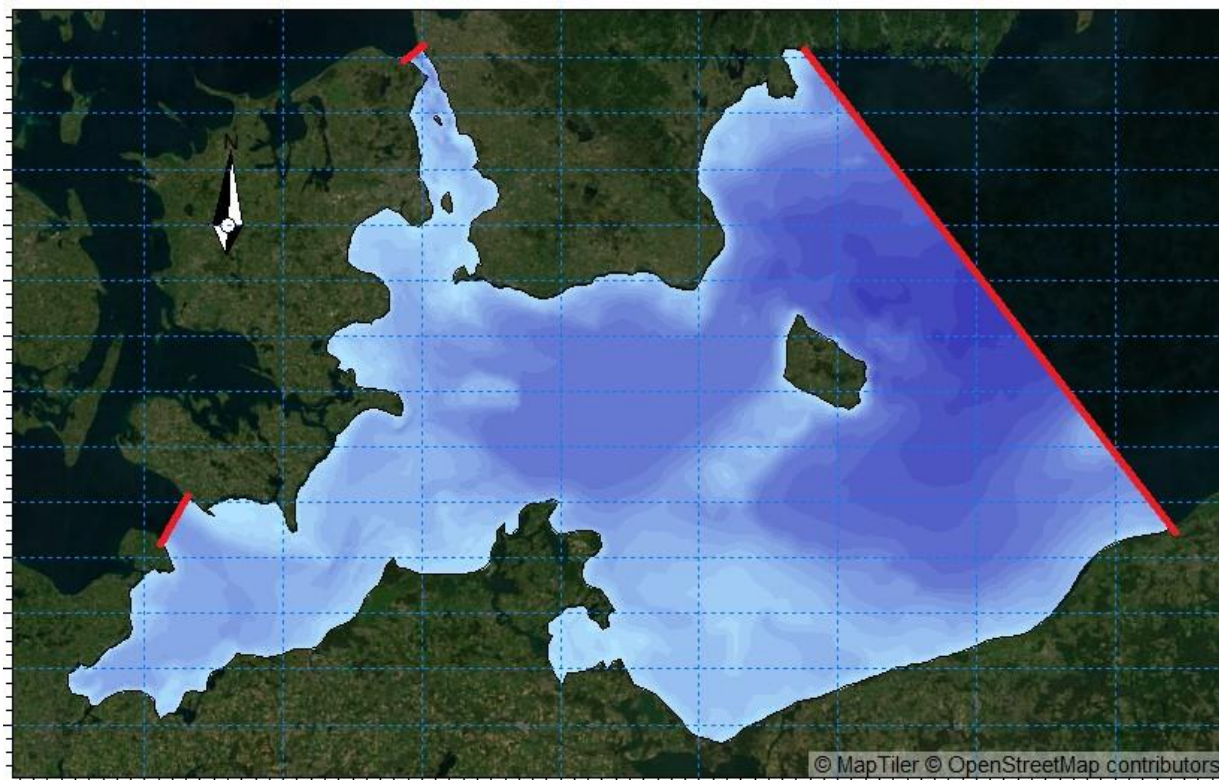
Figur 9-2: Eksempel på anvendt modeldiskretisering til anvendelse ifm. modellering af Udledningsposition 1. Baggrundskort er fra Google Earth (Google, 2024).



Figur 9-3: Eksempel på anvendt modeldiskretisering (zoom) til anvendelse ifm. modellering af Udledningsposition 1. Baggrundskort er fra Google Earth (Google, 2024).

9.1.3 Forcering af hydrodynamisk modul

Modellen forceres af vindfelter påført hele modelområdet. Herudover forceres modellen af en kombination af vandstand og strøm på de åbne model-rande, se modeldomænet samt de åbne model-rande i Figur 9-4.



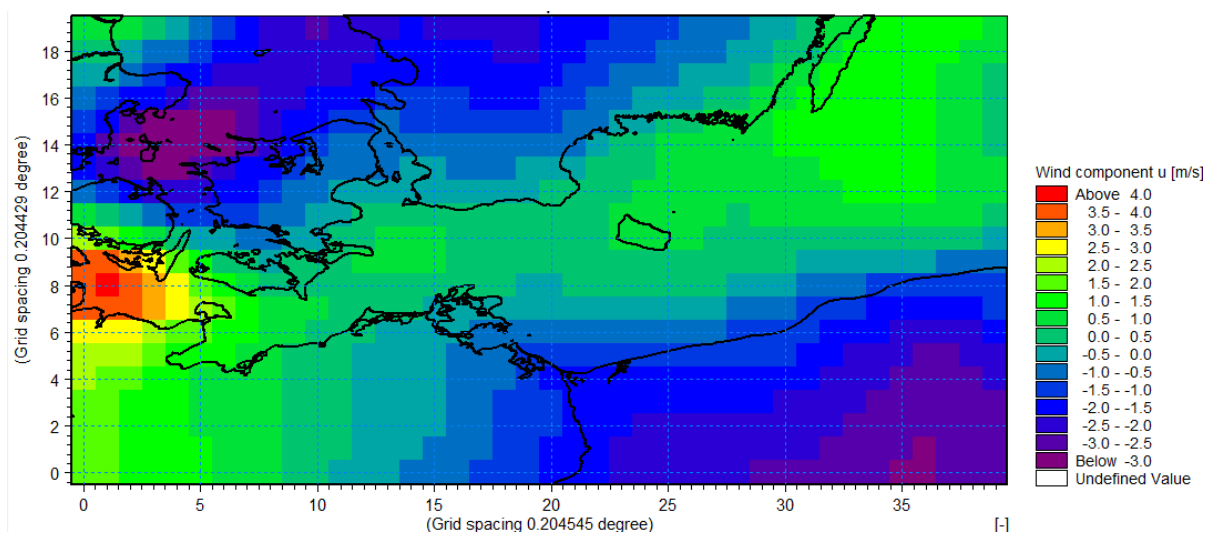
Figur 9-4: Modeldomæne samt åbne modelrande markeret med rødt. Baggrundsfoto er fra Google Earth (Google, 2024).

Ved at påføre tidsserier af vandstandsvariationer og strømhastigheder på modelrandene kan modellens geografiske udbredelse begrænses, samtidig med det sikres, at der er en korrekt beskrivelse af den naturlige dynamik for afstrømning, tidevandsgeneret hydrodynamik fra Østersøen mod øst og tidevand fra vest. Se nærmere beskrivelse herfor i afsnit 3.2. Lokale forhold indenfor modelområdet sikres via vindforcingen inde i modellen.

Vind-, vandstand- og strømforceringsdata på de åbne modelrande beskrives nærmere i det følgende.

9.1.3.1 Anvendt vindforcing i modellen

Til forcering af den hydrodynamiske model er der anvendt hindcast vinddata fra Climate Forecast System version 2 (CFSv2) (NOAA, 2024). CFSv2-data dækker en periode fra 2011 til nu. Dataene har en tidsdiskretisering på én time og en geografisk diskretisering på $0,205^\circ \times 0,205^\circ$. Data repræsenterer vindforhold i 10 meters højde. Modellen er således ikke forceret med målte data fra specifikke målestationer, men derimod med hindcast data, hvor der hentes tids- og stedsvarierende vindhastighed/-retning i hele modeldomænet. Areal-plot af den horisontale hastighedskomponent for et geografisk udsnit af dele af Østersøen kan ses i Figur 9-5.



Figur 9-5: Areal-plot af den geografiske variation af den vandrette vindhastighedskomponent til et tilfældigt tidspunkt (NOAA, 2024)

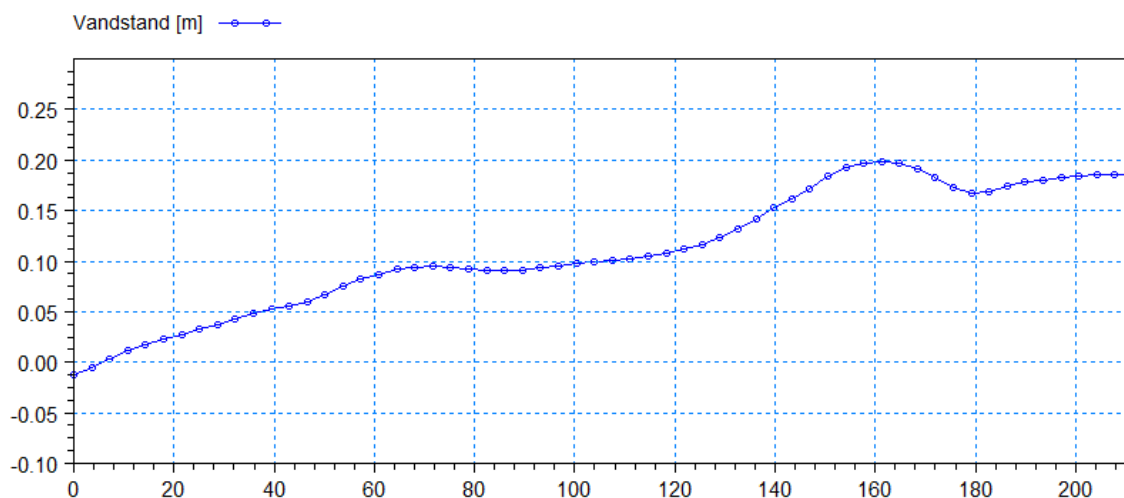
9.1.3.2 Anvendt vandstand- og strømforcering i modellen

På alle åbne rande påføres tidsserier af vandstandsvariationer, mens der på de øst- og vestlige model-rande også påføres tidsserier med strømhastighed og -retning.

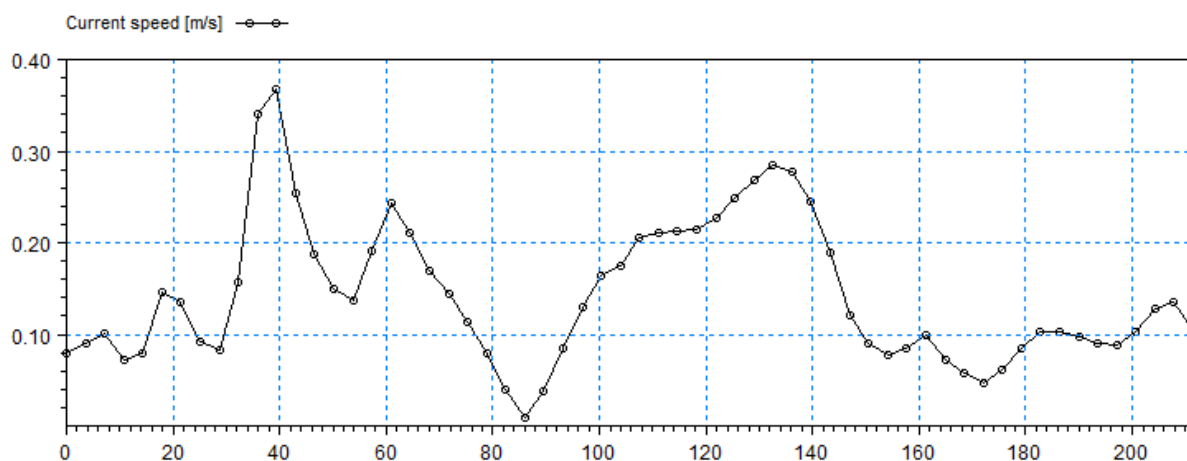
Vandstandsvariationerne på den nordlige model-rand består af målte vandstandsdata fra Hornbæk, baseret på tilgængelige data fra DMI (DMI, 2024).

Ved de vestlige og østlige model-rande anvendes geografisk varierende tidsserier for vandstand og strømhastighed. For den østlige model-rand strækker randen sig fra Rødby i Danmark til Puttgarden i Tyskland, og den vestlige rand fra Karlshamn i Sverige til Ustka i Polen. De geografisk varierende tidsserier er nødvendige, da strømhastigheden og i nogen grad vandstanden varierer langs disse modelrande. Data hertil er baseret på hindcast fra CMENS Baltic Sea Physics Analysis and Forecast (Copernicus, 2024a), som er tilgængelig for en periode fra oktober 2021 til August 2024. Anvendte hindcast data har en tidsdiskretisering på én time og en geografisk diskretisering på 2 km x 2 km.

Figur 9-6 og Figur 9-7 viser eksempler på hhv. den geografisk varierende vandstand langs den østlige model-rand og variation i den øst-/vest gående strømhastigheds-komponent, begge til et tilfældigt tidspunkt.



Figur 9-6: Eksempel på øjeblikbillede af vandstandsforcing langs den østlige modelrand. x-aksen viser kilometer fra Karlshamn i Sverige til Ustka i Polen og y-aksen er meter ift. middelvandspejlet. Data er baseret på hindcast fra Copernicus (Copernicus, 2024a).



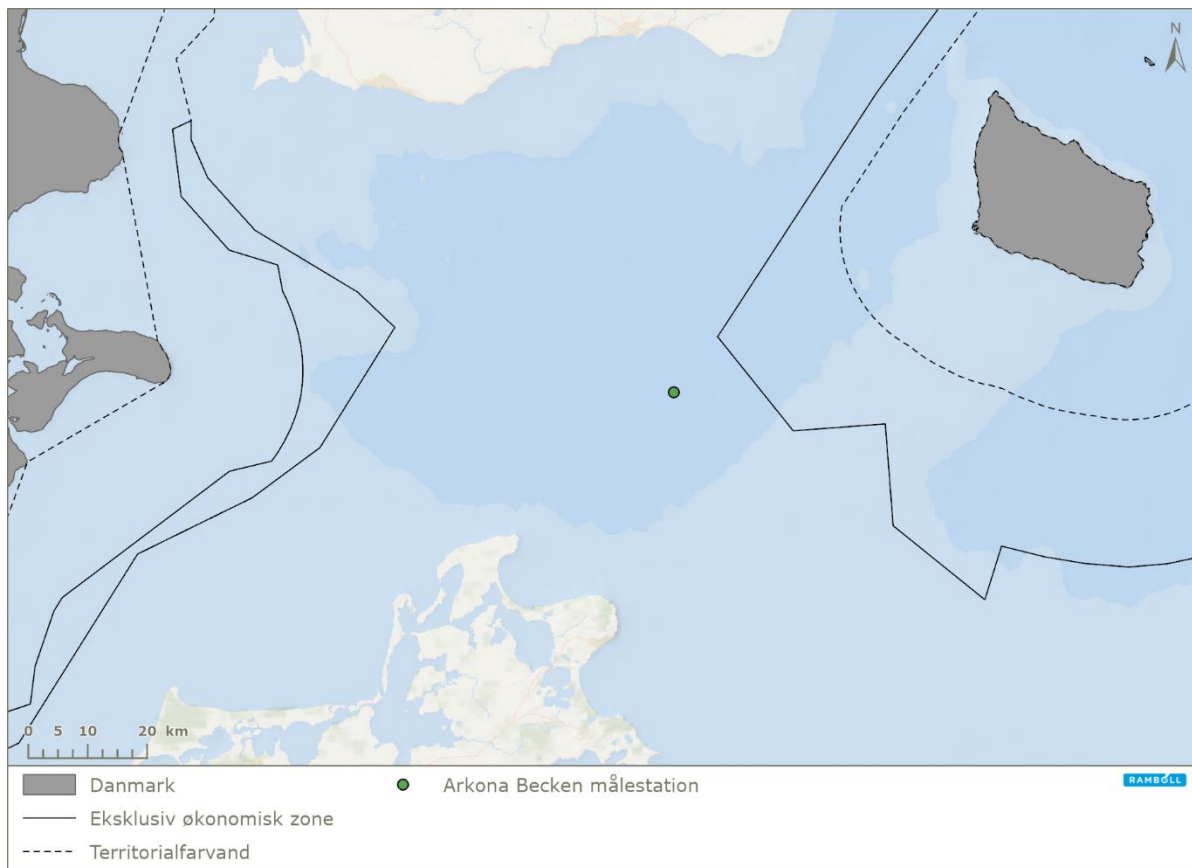
Figur 9-7: Øjeblikbillede af den strømhastigheden anvendt til forcing langs den østlige modelrand. Den vandrette akse viser kilometer fra Karlshamn i Sverige til Ustka i Polen og y-aksen er m/s. Data er baseret på hindcast fra Copernicus (Copernicus, 2024a).

9.1.3.3 Validering af data fra hindcast

Idet der ikke forekommer et tilstrækkeligt datagrundlag til at kalibrere og validere den opsatte model anvendt til simulering af spredning af kølevandet fra PtX-anlægget er der i stedet gennemført en validering, at det datagrundlag der er anvendt til at drive modellen.

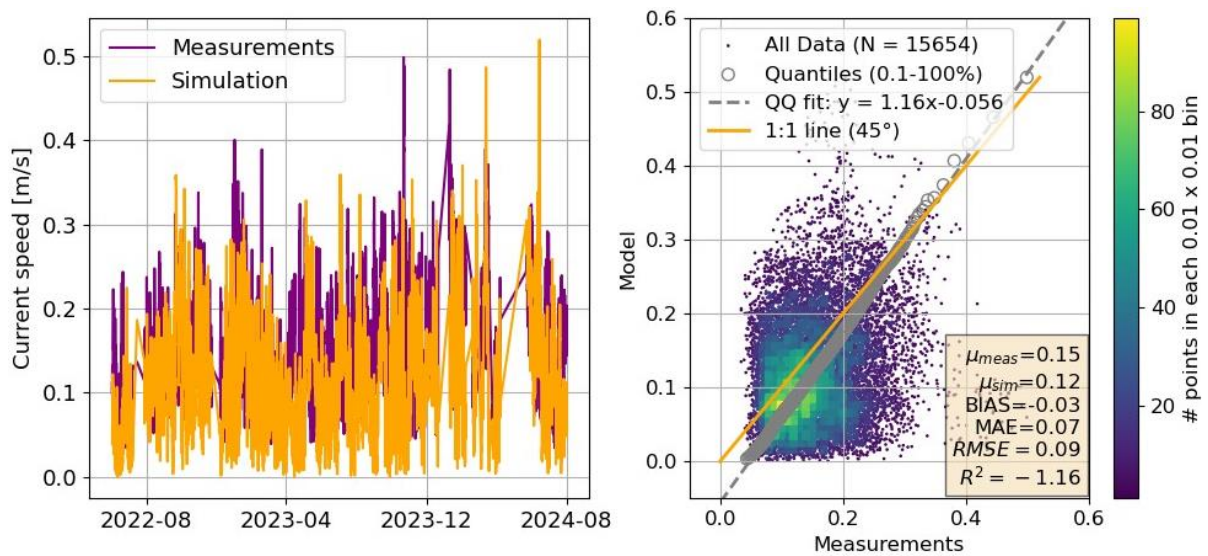
Ifølge Copernicus' egen validering af deres model, hvorfra der er indhentet data, fremgår det, at der er en tendens til at vandstandene i de indre danske farvande og Kattegat underestimeres. Desuden er der i den øverste del af vandsøjlen uoverensstemmelser imellem observerede- og modellerede strømhastigheder og -retninger, hvor afvigelserne i hastighed spænder fra -0,08 til 0,23 m/s, og retningen varierer fra -17° til 38°. I bundlaget ligger afvigelserne i strømhastighed mellem -0,05 og 0,03 m/s, mens retningen afviger mellem -27° og 30° (Copernicus, 2023).

I det følgende er der givet en sammenligning af hindcast-data udtrukket fra Copernicus med målte strømforhold ved Arkona-målestationen, som er placeret i Østersøen, se placering i Figur 9-8.



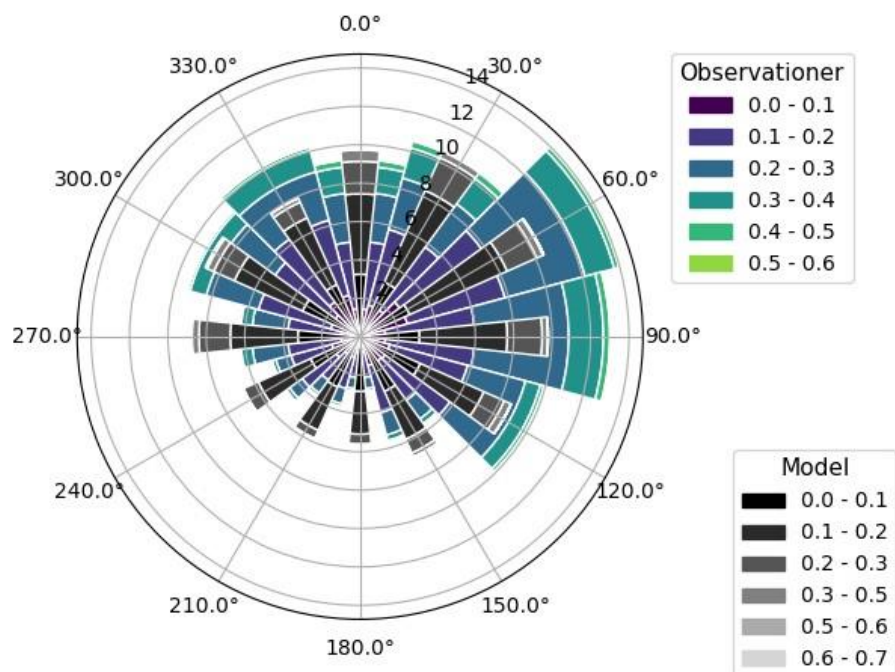
Figur 9-8: Placering af Arkona målestation, som anvendes til validering af Copernicus model.

Sammenligning af strømhastigheder i form af tidsserie- og scatter-plots er vist i Figur 9-9. Heraf fremgår det, at Copernicus-modellen underestimerer strømhastighederne en smule sammenlignet med de målte data fra Arkona-målestationen. Denne afvigelse vurderes primært at skyldes modellens geografiske diskretisering, der ikke muliggør en præcis gengivelse af helt lokale strømforhold. Ved valg af modelleringsperioder for spredningen af kølevand tages denne afvigelse i betragtning, idet der vil blive fokuseret på at modellere en periode med kraftig strøm, hvor strømhastighederne i den opsatte model overstiger data udtrukket fra Copernicus for at sikre konservatisme til resultatet. I perioder med lavere strømhastigheder vurderes det, at Copernicus-modellen giver en tilstrækkelig konservativ repræsentation af strømforholdene og det tilstræbes derfor at ramme samme niveau af strømhastighed.

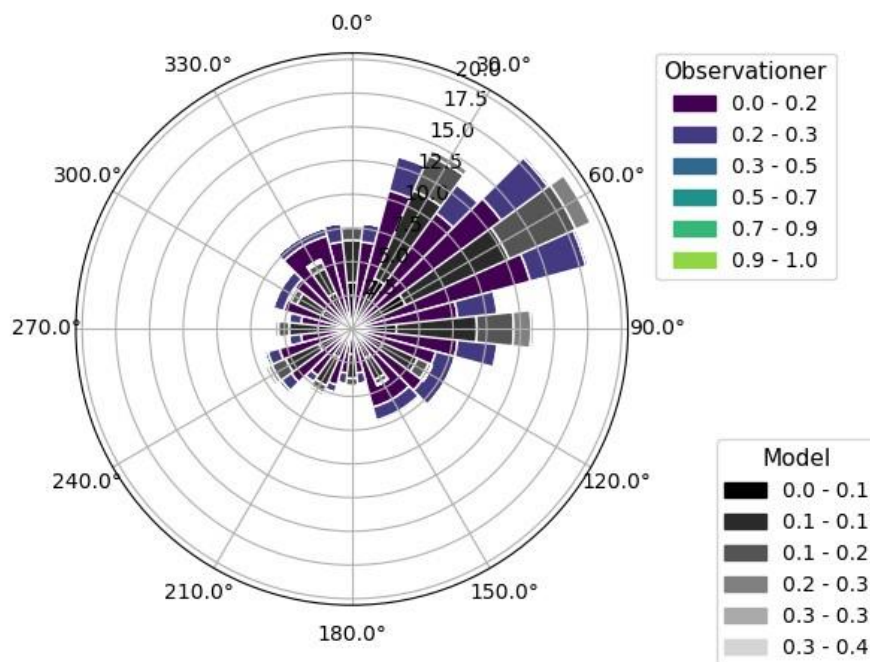


Figur 9-9: Validering af Copernicus modeldata, der er anvendt til forcering af den hydrodynamiske model. Valideringen er baseret på sammenligning af tidsserier (venstre) samt en 1:1 sammenligning af målte data og hind-castdata (højre) (Bündesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, 2026) .

Sammenligning af strømroser baseret på målt- (Arkona) og modelleret data (Copernicus) er vist for et af de øvre lag i Figur 9-10 og for bundlaget i Figur 9-11. Heraf kan det umiddelbart konkluderes, at Copernicus-modellen i nogen grad gengiver strømretningerne. Modellen repræsenterer dog bedre strømforholdene i bundlagene end i toplagene.



Figur 9-10: Strømroser for målte og modellerede strømforhold i 4 meters dybde.



Figur 9-11: Strømrøser for målte og modellerede strømforhold i 40 meters dybde.

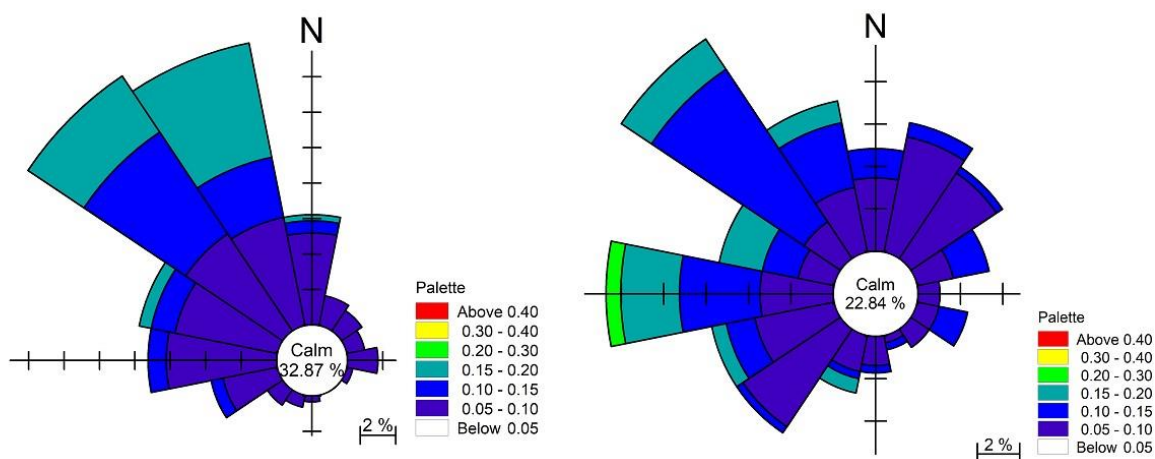
Generelt vurderes, at Copernicus hindcast data, til trods for en vis underestimering af strømshastigheder, stadig er i stand til at gengive overordnede tendenser, hvilket er relevant ift. anvendelsen som forcering i nærværende modellering.

9.1.4 Gengivelse af strømforhold i modellen for udvalgte hydrodynamiske scenarier

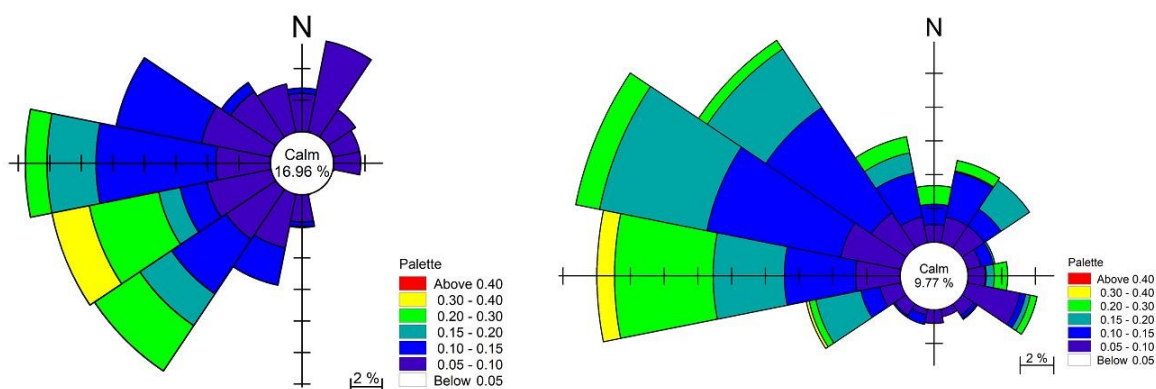
Kalibrering/validering af modellen lokalt ved de respektive udledningspositioner er ikke muligt, da der til nærværende analyser ikke foreligger relevant kalibreringsdata hertil. Derimod er der gennemført en sammenligning af simulerede strømforhold med hindcast data udtrukket fra Copernicus.

Sammenligning af strømrøser fra de simulerede hydrodynamiske scenarier anvendt ifm. nærværende analyse med data fra Copernicus ved udledningsposition 1 er vist i Figur 9-12 og Figur 9-13. for hhv. den stille periode og den blæsende periode. Ved sammenligning af strømrøser kan det konstateres, at der haves en nogenlunde overensstemmelse imellem nærværende model og hindcast data fra Copernicus. Dette skal dog som nævnt ikke forveksles med en egentlig validering af modellen.

Det fremgår desuden at der forekommer en stor variation i strømretningerne.

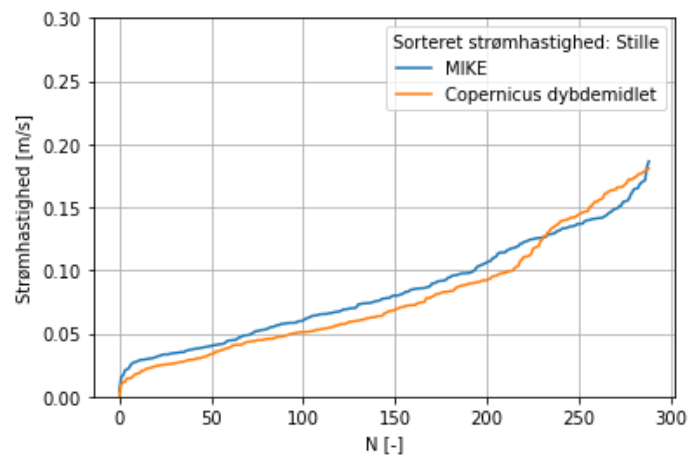


Figur 9-12: Strømroser for den stille periode ved Udledningsposition 1 baseret på data fra Copernicus datasættet (venstre) og baseret på data fra simulerede data fra nærværende model (højre). Strømhastigheder og -retninger er dybdemidlede. Enheder for strømhastigheder i figurene er [m/s].

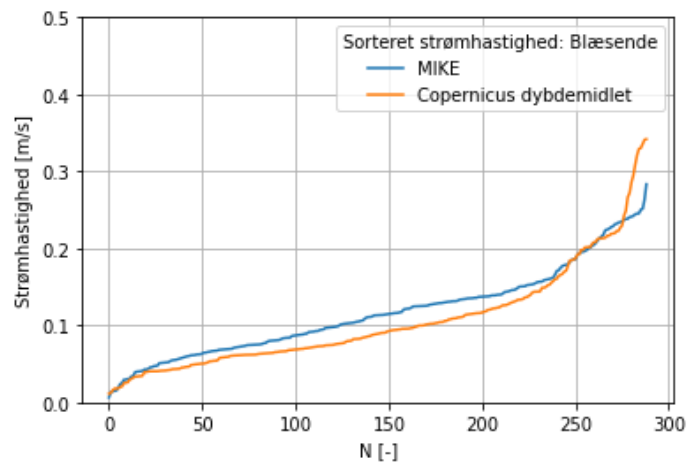


Figur 9-13: Strømroser for den blæsende periode ved Udledningsposition 1 baseret på data fra Copernicus datasættet (venstre) og baseret på data fra simulerede data fra nærværende model (højre). Strømhastigheder og -retninger er dybdemidlede. Enheder for strømhastigheder i figurene er [m/s].

Figur 9-14 og Figur 9-15 viser sorterede strømhastigheder fra nærværende model samt fra Copernicus hindcast data for hhv. den stille periode og den blæsende periode. Som det fremgår af figurene, haves der relativt god overensstemmelse mellem de to modeller. Hertil skal det have in-mente, at data fra Copernicus hindcast-modellen naturligt underestimerer strømhastigheder en smule.



Figur 9-14: Sammenligning af sorterede strømhastigheder for den stille periode ved Udledningsposition 1. Strømhastighederne er sorteret efter størrelse, for at vise fordelingen i perioden.



Figur 9-15: Sammenligning af sorterede strømhastigheder for den blæsende periode ved Udledningsposition 1. Strømhastighederne er sorteret efter størrelse, for at vise fordelingen i perioden.