

Kriegers Flak Havmøllepark

Hydrografi
VVM-redegørelse
Teknisk baggrundsrapport
Januar 2015



Denne rapport er udarbejdet for Energinet.dk som en del af
VVM-redegørelsen for Kriegers Flak Havmøllepark.

Hydrografi

VVM-redegørelse for Kriegers Flak
Havmøllepark

Teknisk baggrundsrapport



Udarbejdet af	Karsten Bolding, Bjarne Büchmann, Jess U. Jørgensen og Tony E. Bergøe
Kontrolleret af	Kirsten Isak og Bettina Skovgaard Jensen
Godkendt af	Mette Jeppesen
Dato	Januar 2015
Version	Endelig

Bolding & Burchard ApS.
Strandgyden 25
5466 Asperup
Denmark

Tel. +45 6442 2058
Fax +45 6442 2068
<http://www.bolding-burchard.com>

NIRAS
Åboulevarden 80
8000 Aarhus C
Denmark

Tel: +45 8732 3232
Fax +45 8732 3200
<http://niras.dk>

Indholdsfortegnelse

1.	Ikke teknisk resumé.....	6
2.	Indledning.....	11
2.1	Formål.....	11
3.	Projektbeskrivelse	12
3.1	Fysiske karakteristika ved Kriegers Flak	13
3.2	Hydrografiske forhold.....	14
3.3	Havmøller	14
3.4	Havmølleparkens layout.....	15
3.5	Havmøllernes fundamenter	16
3.6	Transformerplatforme.....	18
4.	Beskrivelse af potentielle påvirkninger af de hydrografiske forhold	21
4.1	Blokering af vandgennemstrømning gennem Bælthavet.....	21
4.2	Ændringer i vandtemperatur	21
4.3	Ændringer i vandstanden og i de lokale strømforhold.....	21
4.4	Salinitet og lagdeling	22
4.5	Bølgeklima	22
5.	Metode	23
5.1	Definition af påvirkningsområde og afhængighedsområde.....	23
5.2	Numerisk modellering	25
5.2.1	Hydrografi	26
5.3	Modelverifikation	31
5.3.1	Verifikation af vandstande	33

5.3.2	Verifikation af strømhastigheder	35
5.3.3	Verifikation af salinitet og temperatur	38
5.4	Bølger	41
5.4.1	Model set-up.....	41
5.5	Metode til vurdering af potentielle påvirkninger på hydrografi	43
5.5.1	Kumulative effekter	44
5.5.2	Definition af worst case-scenarier til miljøvurderinger ..	45
5.5.3	0-alternativet	47
6.	Eksisterende forhold	48
6.1	Salinitet og lagdeling	48
6.2	Strøm.....	50
6.3	Bølger	51
7.	Vurderinger af påvirkninger	53
7.1	Anlægsfasen	53
7.1.1	Salinitet og lagdeling.....	53
7.1.2	Strøm og bølger	53
7.2	Driftsfasen	53
7.2.1	Salinitet, lagdeling og vandtransport gennem Bælthavet	53
7.2.2	Vurdering af påvirkninger fra fundamenter til transformerplatforme.....	68
7.2.3	Vurdering af påvirkning på bølgeklimate.....	68
7.3	Afviklingsfasen.....	70
7.4	Vurdering af kumulative effekter	70
7.4.1	Hydrografi	70
7.4.2	Bølger	70
7.5	Sammenfatning af vurderinger	71

8.	Afværgeforanstaltninger	77
9.	Eventuelt manglende oplysninger eller viden, der kan få betydning for vurderingen	78
10.	Referencer	79
11.	Bilag 1	80
11.1	Verifikation af salinitet og temperatur	80

1. Ikke teknisk resumé

Det danske folketing indgik et energiforlig i 2012. Energiforliget betyder bl.a., at der skal opføres 600 MW havmøller på Kriegers Flak. Energistyrelsen har pålagt Energinet.dk at forestå udarbejdelsen af en VVM-redegørelse (Vurderinger af Virkninger på Miljøet), forud for etableringen af havmølleparken.

I forbindelse med VVM-forundersøgelserne, er der foretaget en kortlægning af basistilstanden af de hydrografiske forhold på Kriegers Flak samt en vurdering af anlæggets virkning på hydrografien.

Særligt i områder som Kriegers Flak, der ligger tæt på kysten, er der meget varierende vekselvirkninger i - og mellem atmosfæren og oceanet. Derfor er beskrivelsen af hydrografien ved Kriegers Flak foretaget med udgangspunkt i detaljerede simuleringer af stoftransport (salt, næringsalte, mm.), som transporteres med vandet enten i opløst form eller som suspenderet materiale) og lagdelinger som følge af forholdene i Nordsøen/Kattegat, samt simuleringer af bølge- og strømforhold.

Projektbeskrivelse

Kriegers Flak er et lavvandet område, der ligger i Østersøen ca. 15 km øst for Møn, hvor der er et kompliceret samspil af hydrografisk indflydelse fra Atlanterhavet og Østersøen.

Grundlaget for vurderingerne af virkninger på hydrografien, er installation af havmøller med en kapacitet mellem 3,0 MW og 10,0 MW.

Afhængigt af, hvilken havmøllestørrelse, der vælges, vil havmølleparken komme til at bestå af mellem 60 og 200 havmøller for at nå den installerede effekt på 600 MW. Der gives desuden mulighed for at etablere ekstra havmøller for at sikre, at en tilstrækkelig strømproduktion opretholdes i perioder, hvor havmøller er ude af drift. Ved 3,0 MW gives mulighed for at etablere 203 havmøller, mens der ved 10,0 MW gives mulighed for at etablere 64 havmøller. Det præcise design og udseende af havmøllen vil afhænge af producenten, som bliver valgt af koncessionsvinderen.

Havmøllernes fundamenter vil være enten monopælfundamenter, jacket-fundamenter, gravitationsfundamenter eller bøttefundamenter.

For at nettilslutte de 600 MW havmøller på Kriegers Flak vil der blive etableret to HVAC-platforme. Én for havmøllerne i den vestlige del (200 MW), og én for havmøllerne i den østlige del (400 MW).

Fundamenterne til HVAC platformene vil være enten jacketfundamenter bestående af en stålstruktur med fire ben eller en gravitationsbaseret struktur (hybridfundament), som består af en sænkekasse af beton med en firbenet stålstruktur på toppen.

Der vil blive installeret inter-array-kabler samt to søkabler til ilandføringspunktet ved Rødvig. Derudover vil der blive installeret et søkabel mellem transformerplatformene. Søkablerne graves eller spules ned i havbunden.

Potentielle påvirkninger af de hydrografiske forhold

De potentielle påvirkninger og effekter på de hydrografiske forhold vil skyldes tilstedeværelsen af havmøllernes og transformerplatformenes fundamenter. De hydrografiske forhold dækker her over salinitet, lagdeling, strøm- og bølgeforhold, hvor havmøllernes og transformerplatformenes fundamenter vil introducere en forøget strømningsmodstand (blokering) og medvirke til forøget opblanding af vandmasserne.

Den øgede blanding af vandmasserne kan resultere i, at den tungeste del af vandet med højst salinitet blandes med lettere vand, sådan at variationer i saliniteten reduceres, og den maksimale salinitet i Østersøen formindskes.

Fundamenterne giver desuden en blokering af strøm og bølger, som kan medføre en ændring i vandgennemstrømningen gennem Bælthavet. Endeligt kan havmølleparken reducere den samlede bølgeenergi og dermed bølgehøjde på læsiden af havmøllerne.

Metode

Til kortlægning af de eksisterende forhold og vurderinger af eventuelle påvirkninger af de hydrografiske forhold er der benyttet matematiske modeller til at foretage en sammenligning mellem forholdene henholdsvis før - og efter havmølleparken på Kriegers Flak er etableret. Modellerne har simuleret hhv. meteorologi og hydrografi, og derudover er en selvstændig model anvendt med input fra de øvrige til at foretage bølgesimulering. Modellerne er afviklet i en højopløst 10-års-simulering (2003-2012). De 10 år vurderes at være tilstrækkeligt for at kunne finde en repræsentativ periode til vurdering af konsekvenser af påvirkninger.

Salinitet og strøm

De hydrodynamiske påvirkninger ved Kriegers Flak er beregnet med brug af den numeriske model General Estuarine Transport Model (GETM). Modellen er sat op i tre nestede domæner, med fokus på højere og højere opløsning og nøjagtighed ind mod Kriegers Flak. Den geografiske udstrækning af den yderste model sikrer, at meteorologiske stor-skalaeffekter (f.eks. stormlavtryk) inkluderes korrekt.

Kvaliteten af modelsimuleringerne er evalueret ved at foretage en statistisk/visuel sammenligning mellem observationer og modellerede variable. Den mulige sammenligning er dikteret af tilgængelige observationer inden for modelområdet og for den periode, de enkelte målestationer har været operationelle.

Bølger

Til simulering af de vindgenererede bølger er der anvendt *MIKE 21 SW*. Den signifikante bølgehøjde, bølgeperiode og bølgeretning er modelleret med udgangspunkt i vindhastighed og -retning.

Definition af worst case

Der er vurderet på et worst case-scenarie med 200 (+2) stk. 3,0 MW havmøller med monopælfundamenter. Dette begrundes med, at jo flere havmøller, jo større blokering af strøm og bølger og jo større bliver opblandingen af vandmasserne. Hvad angår møllefundamenter vurderes det, at gravitationsfundamenter og monopæle vil forårsage omtrent de samme påvirkninger på de hydrografiske forhold, fordi den blokering af strøm og bølger og den forøgede opblanding, som fundamentene forårsager, er i samme størrelsesorden.

Vurderingsmetode

Vurderinger af påvirkninger er foretaget med udgangspunkt i "Vurderingsmetode - VVM af Kriegers Flak Havmøllepark" (NIRAS, 2013a). Vurderinger af projektets virkninger omfatter potentielle påvirkninger i havmølleparkens tre faser; anlægsfasen, driftsfasen og afviklingsfasen. De kumulerede påvirkninger af Kriegers Flak Havmøllepark og de tyske havmølleparker Baltic I beliggende ca. 40 km SV for Kriegers Flak Havmøllepark og Baltic II, som er under konstruktion på Kriegers Flak er endvidere vurderet.

Eksisterende forhold

Kriegers Flak ligger centralt på transportvejen for vandudveksling (og tilhørende stoftransport) mellem Nordsøen og Østersøen. Tilførslen af salt (og ilt) fra Nordsøen er helt essentiel for det marine miljø i Østersøen, og ændringer i disse tilførsler kan have konsekvenser for miljøet i Østersøen på lange tidskalaer.

Strømmen henover flakket varierer som funktion af vanddybden og positionen. I simuleringen af de eksisterende hydrografiske forhold overstiger den dybdemidlede strømhastighed under normale forhold ikke 0,4 m/s. I situationer med kraftig vind kan strømmen dog nå op 0,9 m/s i overfladen, 0,52 m/s ved bunden og i middel over dybden 0,66 m/s. I 98 % af tiden er strømhastigheden under 0,25 m/s.

Variationen i strømretning og -hastighed i forundersøelsesområdet på Kriegers Flak er i den vestlige del domineret af de nordlige retninger, mens der er en fremherskende vestlig strøm i den nordøstlige del, og den sydøstlige del af området er præget af både østlig og vestlig strøm.

I mere end 50 % af tiden er den signifikante bølgehøjde på Kriegers Flak mindre end 0,79 m. Den dominerende bølgeretning er bølger fra sydvest, efterfulgt af bølger fra øst. Variationen i bølgeklimate over forundersøelsesområdet er beskeden og ligger inden for

+/-0.1 m ved sammenligning af fem udvalgte positioner. Bølgeperioderne er korte og afspejler, at de er vindgenererede. Dønninger forekommer sjældent og da kun for signifikante bølgehøjder mindre end 0,5 m.

Vurderinger af påvirkninger

Påvirkninger fra havmølleparken på de hydrografiske forhold vil primært skyldes tilstedeværelsen af havmøller, mens transformerplatformenes indflydelse vil være langt mindre end havmøllernes indflydelse og vurderes at være ubetydelige.

Anlægsfasen

Der vurderes kun at være ubetydelige påvirkninger af de hydrografiske forhold i anlægsfasen, da påvirkninger udelukkende forårsages af tilstedeværelsen af havmøllernes og transformerplatformenes fundamenter. En eventuel påvirkning vil øges efterhånden, som havmøllerne opstilles, men vil ikke kunne detekteres i så kort en periode, som anlægsfasen varer.

Driftsfasen

Analyse af den vertikale salinitetsfordeling på Kriegers Flak viser, at den i langt den største del af tiden er homogen, og ydermere vil blandingsenergien ikke kunne påvirke lagdelingen og dermed saltransporten ind i Østersøen. Der vil altså ikke være nogen påvirkning af lagdelingen i Østersøen pga. opførelse af havmølleparken. Den statistiske fordeling af bundsaliniteten i et transekt på tværs af vandets vej ind i Østersøen vurderes kun at være marginal forskellig for de to simuleringer (med- og uden havmøllepark) – og kun ved meget høje saliniteter, som kun optræder ganske få timer ud af de samlede 10 års simuleringer. Endelig viser analysen, at havmølleparkens blokering af gennemstrømningen af vand til Østersøen er så minimal, at der ikke kan påvises nogen ændring som følge af etablering af havmølleparken. Påvirkning af salttilførslen til Østersøen er derfor vurderet at være lokal inden for et nærområde til havmølleparken i den vestlige Østersø og ubetydelig.

Indvirkningen på bølgeklimate er lokal og vil selv i en stormsituation påvirke den signifikante bølgehøjde med mindre end 6% tæt på fundamenterne aftagende til 1 % 30 km nedstrøms havmølleparken, og påvirkningsgraden vil være mindre.

Afviklingsfasen

Der vurderes ikke at være nogen betydelige påvirkninger af de hydrografiske forhold i afviklingsfasen, da påvirkninger udelukkende forårsages af tilstedeværelsen af havmøllernes og transformerplatformenes fundamenter. En eventuel påvirkning vil aftage, efterhånden som havmøllerne nedtages, og påvirkningen vil ikke kunne detekteres i så kort en periode, som afviklingsfasen varer.

Kumulative påvirkninger

Samlet set vurderes de kumulative effekter ved tilstedeværelsen af de tre havmølleparkeer Baltic I, Baltic II og Kriegers Flak på dansk territorium at medføre ingen - eller en mindre negativ påvirkning på de hydrografiske forhold i form af meget små lokale ændringer i de hydrografiske forhold og af bølgeforsholdene som følge af reducerede vindfelter i læsiden af havmøllerne.

Afværgeforanstaltninger

Da det er vurderet, at påvirkning på de hydrografiske forhold har ubetydelig - mindre betydning, er der ikke behov for at iværksætte afværgeforanstaltninger for at minimere påvirkningerne.

2. Indledning

Det danske folketing indgik et energiforlig i 2012. Energiforliget betyder bl.a., at der skal opføres 600 MW havmøller på Kriegers Flak. Havmøllerne kan producere strøm svarende til ca. 600.000 husstandes forbrug.

Energinet.dk er af Energistyrelsen blevet pålagt at forestå udarbejdelsen af en VVM-redegørelse (Vurderinger af Virkninger på Miljøet), forud for etableringen af havmølleparken.

I forbindelse med VVM-forundersøgelserne til den planlagte Kriegers Flak Havmøllepark, er der foretaget en kortlægning af de hydrografiske forhold på Kriegers Flak. Denne rapport vil gennemgå de potentielle påvirkninger af de hydrografiske forhold ved opførelsen af en ny havmøllepark på den danske del af Kriegers Flak.

2.1 Formål

Formålet med denne rapport er at kortlægge basistilstanden af de hydrografiske forhold på Kriegers Flak samt at vurdere anlæggets virkning på hydrografien.

Særligt i områder som Kriegers Flak, der ligger tæt på kysten, er der meget varierende vekselvirkninger i - og mellem atmosfæren og oceanet. Derfor er beskrivelsen af hydrografien ved Kriegers Flak foretaget med udgangspunkt i detaljerede simuleringer af stoftransport og lagdelinger som følge af stor-skala fænomener, samt simuleringer af bølge- og strømforhold. De hydrografiske forhold, som er omfattet af rapporten, omfatter strømforhold, lagdeling, salinitet og bølgeforhold. Rapporten er struktureret således, at vandgennemstrømning, lagdeling og salinitet er behandlet i én model, mens bølge- og strømforhold behandles selvstændigt.

Det primære formål med simuleringerne har været at tilvejebringe meget detaljerede modelresultater af havmølleparkens tekniske installationers potentielle påvirkninger på de hydrografiske forhold samt bølge og strømforhold. I rapporten fokuseres der på ændringer i salinitet og lagdeling samt bølge- og strømforhold ved tilstedeværelsen af havmølleparken, da det forventes, at havmølleparken vil kunne påvirke disse forhold.

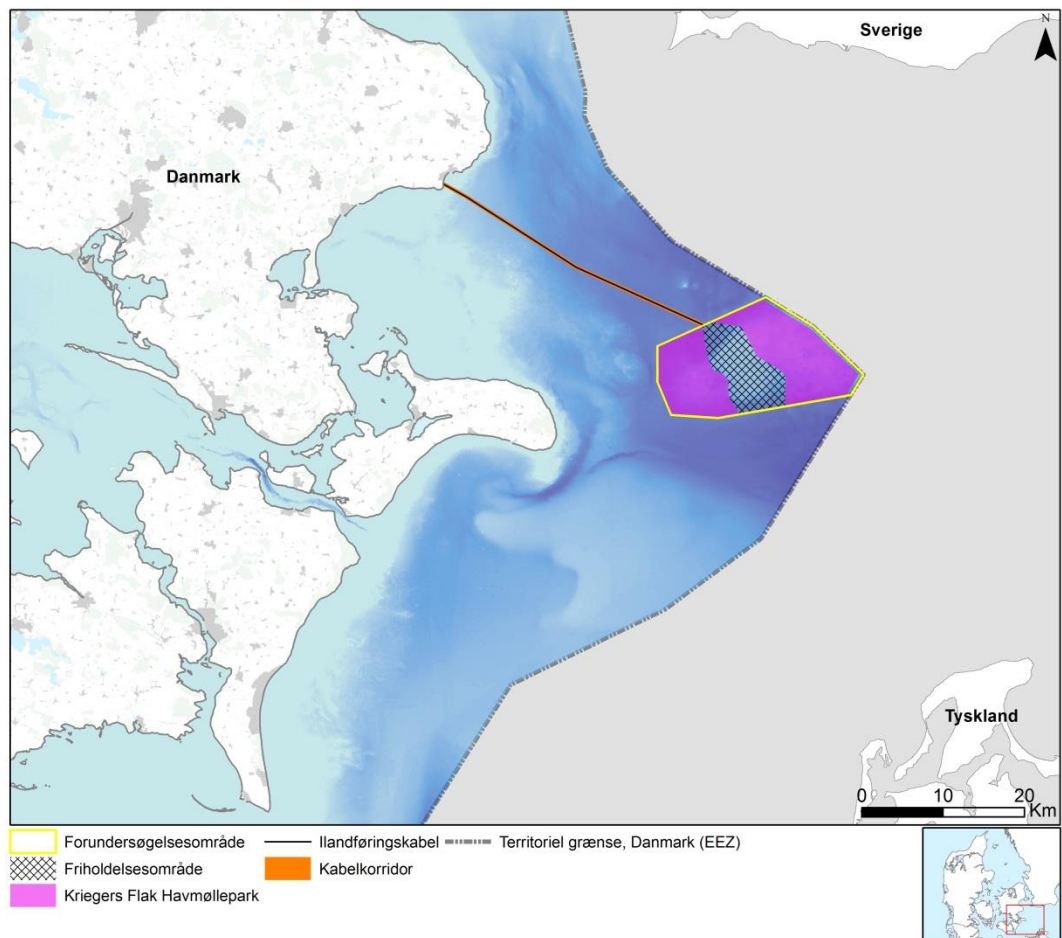
Resultaterne af simuleringerne, vurdering af påvirkningerne, de anvendte metoder og de antagelser og forudsætninger, som danner grundlag for VVM-vurderingerne, fremgår af rapporten.

3. Projektbeskrivelse

Oplysninger i dette kapitel er baseret på (Energinet.dk, 2014).

Kriegers Flak er et lavvandet område, der ligger i Østersøen ca. 15 km øst for Møn og grænser nordøstligt op mod svensk søterritorium og sydøstligt mod tysk søterritorium. I umiddelbar nærhed af forundersøgelsesområdet til Kriegers Flak Havmøllepark er havmølleparken Baltic II (288 MW) under konstruktion på tysk søterritorium, mens et lignende projekt er sat på standby på svensk territorium (640 MW) efter de indledende undersøgelser. Samlet set vurderes det, at der totalt vil kunne placeres op til 1.600 MW havmøller på Kriegers Flak (<http://energinet.dk>).

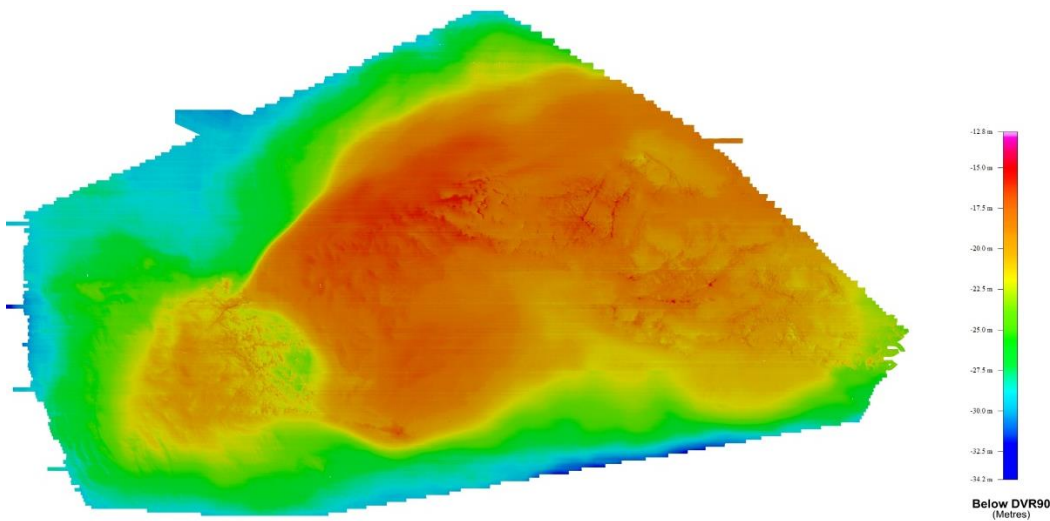
Forundersøgelsesområdet for Kriegers Flak Havmøllepark er på 250 km². Centralt i området er udlagt et ca. 28 km² stort areal til råstofindvinding, hvor der ikke kan etableres havmøller, transformerplatforme eller søkabler. Derfor vil havmølleparken på samlet 600 MW blive adskilt i en østlig (110 km²) og en vestlig (69 km²) del, med mulighed for hhv. 400 MW og 200 MW. Til etablering af 200 MW havmøller kan der benyttes et areal på op til 44 km² (Figur 3-1).



Figur 3-1: Den planlagte beliggenhed af Kriegers Flak Havmøllepark (600 MW) på dansk søterritorium. Området er angivet som et polygon på ca. 250 km². Omtrent midt i forundersøgelsesområdet er der et område, som er udlagt til råstofindvinding.

3.1 Fysiske karakteristika ved Kriegers Flak

Vanddybden på den centrale del af Kriegers Flak er mellem 16 og 20 m, mens den i periferien af flakket er mellem 20 og 25 m og mere end 25-30 m langs den nordlige, sydlige og vestlige kant af forundersøgelsesområdet (Figur 3-2).



Figur 3-2: Kriegers Flak med angivelse af vanddybder vist på farveskalaen (baseret på geofysiske undersøgelser, der er gennemført i forbindelse med VVM-forundersøgelserne) (Rambøll, 2013).

3.2 Hydrografiske forhold

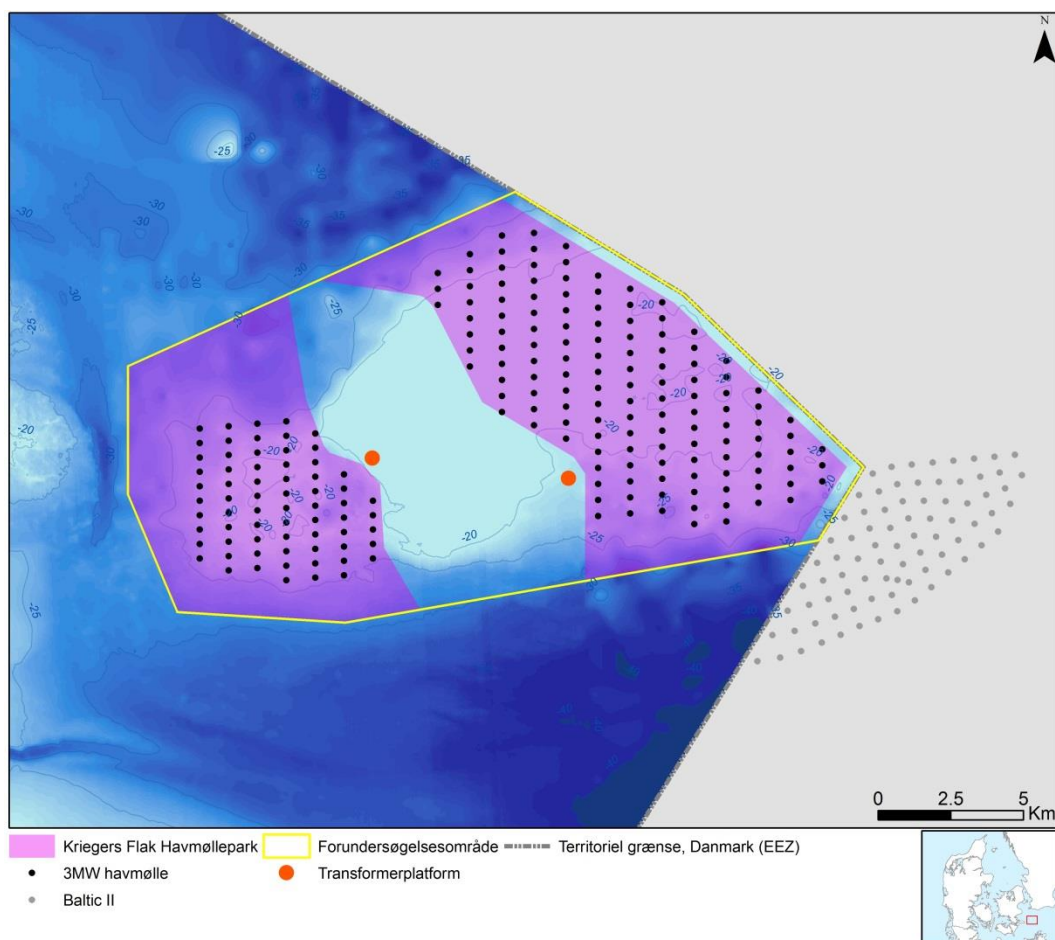
Kriegers Flak er beliggende i et område, hvor der er et kompliceret samspil af hydrografisk indflydelse fra Atlanterhavet og Østersøen. Derfor er der yderst vekslende forhold såvel i oceanet som i atmosfæren. Kriegers Flak ligger ca. 15 km øst for Møn, 30 km fra Falsterbo i Sverige og ca. 36 km fra Rügen i Tyskland. Den korte afstand til kyster, med undtagelse af den østlige retning, bidrager også til en kompleks interaktion mellem de fysiske processer.

3.3 Havmøller

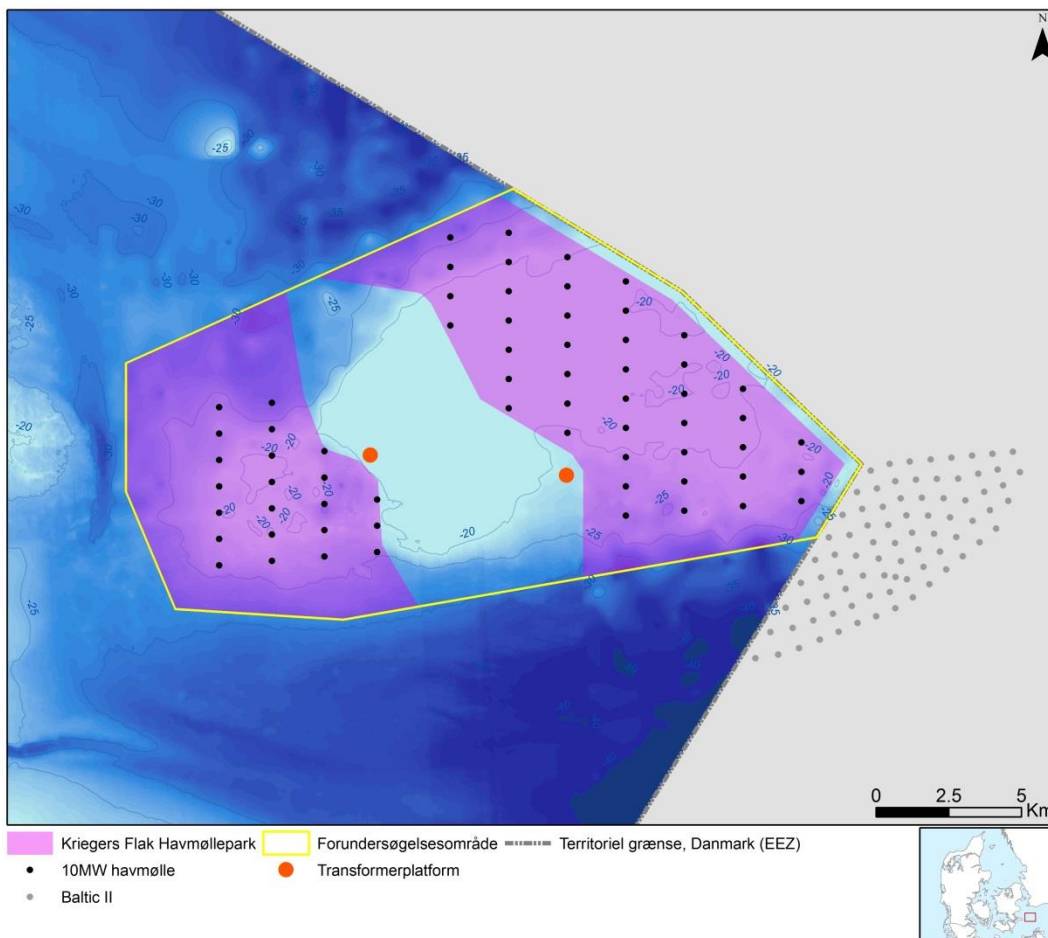
Den installerede kapacitet på Kriegers Flak er begrænset til 600 MW. Udgangspunktet for nærværende tekniske projektbeskrivelse, som danner grundlag for vurdering af virkninger på miljøet er, at kapaciteten af hver enkelt havmølle vil være mellem 3,0 og 10,0 MW. Afhængigt af, hvilken møllestørrelse, der vælges, vil mølleparken komme til at bestå af mellem 60 og 200 havmøller for at nå den installerede effekt på 600 MW. Der gives desuden mulighed for at etablering af ekstra havmøller for at sikre, at en tilstrækkelig strømproduktion opretholdes selv i perioder, hvor havmøller er ude af drift. Ved 3,0 MW gives mulighed for at etablere 203 havmøller, mens der ved 10,0 MW gives mulighed for at etablere 64 havmøller. Det præcise design og udseende af havmøllerne vil afhænge af producenten, som bliver valgt af koncessionsvinderen.

3.4 Havmølleparkens layout

Som en del af grundlaget for vurdering af virkningerne på miljøet (VVM) er mulige og sandsynlige layouts af Kriegers Flak Havmøllepark vurderet. Det endelige parklayout kan ændres, da dette bestemmes af koncessionshaver. Mulige parklayouts for 3,0 MW og 10,0 MW havmøller fremgår af Figur 3-3 og Figur 3-4.



Figur 3-3: Muligt parklayout med 3,0 MW havmøller opdelt på den østlige (400 MW) og vestlige del (200 MW) af Kriegers Flak (omkranset af rød linje). Den stiplede linje angiver forundersøgelsesområdet. De to grønne cirkler markerer placeringen af transformerplatforme. I det sydøstlige hjørne af kortet vises havmøllerne i den tyske havmøllepark Baltic II.



Figur 3-4: Muligt parklayout med 10,0 MW havmøller opdelt på den østlige (400 MW) og vestlige del (200 MW) af Kriegers Flak (omkranset af rød linje). Den stiplede linje angiver forundersøgsområdet. De to grønne cirkler markerer placeringen af transformerplatforme. I det sydøstlige hjørne af kortet vises havmøllerne i den tyske havmøllepark Baltic II.

3.5 Havmøllernes fundamenter

Havmøllerne installeres på fundamenter, som står fast på havbunden. Der tages i nærværende tekniske projektbeskrivelse udgangspunkt i fire typer af havmølle-fundamenter og disse danner rammen fra vurderingerne af virkninger på miljøet. De fire typer er:

- Monopælfundament af stål
- Gravitationsfundament af beton
- Jacketfundament
- Bøttfundament

Monopælfundament

En monopæl er en simpel konstruktion, der består af et stålør, som rammes ned i havbunden. Størrelsen af monopælene vil afhænge af de lokale forhold i området.

Typiske mål for den ydre diameter af monopæle, som forventes anvendt i Kriegers Flak Havmøllepark er vist i *Tabel 3-1*.

Monopæl	3,0 MW	3,6 MW	4,0 MW	8,0 MW	10,0 MW**
Ydre diameter ved havbunden*	4,5-6,0 m	4,5-6,0 m	5,0-7,0 m	6,0-8,0 m	7,0-10,0 m
EROSIONSBEKYTTELSE					
Volumen pr. fundament	2.100 m ³	2.100 m ³	2.500 m ³	3.000 m ³	3.800 m ³

*Tabel 3-1: Typiske mål for monopæle, som tænkes anvendt i Kriegers Flak Havmøllepark * Ydre diameter på - og under havbunden. Over havbunden er diameteren normalt faldende, pga. monopælels koniske form. ** Meget groft skøn over mængder.*

Gravitationsfundament

Et gravitationsfundament er en betonstruktur, der hviler på havbunden ved hjælp af tyngdekraften. Fundamentets store masse (egenvægt samt ekstra ballast) gør det i stand til at fastholde sin position på havbunden og modstå ydre påvirkninger fra havmøllen og det omgivende miljø.

Estimater for dimensioner for gravitationsfundamenter og ballast er vist i *Tabel 3-2*.

Gravitationsfundament	3,0 MW	3,6 MW	4,0 MW	8,0 MW	10,0 MW*
Diameter af skaft	3,5-5,0 m	3,5-5,0 m	4,0-5,0 m	5,0-6,0 m	6,0-7,0 m
Bredde af fundament	18-23 m	20-25 m	22-28 m	25-35 m	30-40 m

*Tabel 3-2: Estimater af dimensioner for gravitationsfundamenter*Meget usikkert estimat. Det afhænger af den valgte geometri, vægt og design af gravitationsfundamentet.*

Jacketfundament

Jacketfundamenter er tre- eller firbenede gitter-stålkonstruktioner med en form som et firkantet tårn. Jacketstrukturen støttes af pæle i hvert hjørne af konstruktionen.

Størrelsen af jacket-fundamenter vil afhænge af de lokale forhold, hvor fundamentene installeres. Dimensioner for jacket-fundamenter er vist i *Tabel 3-3*.

Jacketfundament	3,0 MW	3,6 MW	4,0 MW	8,0 MW	10,0 MW*
Afstand mellem benene ved havbunden	18 x 18 m	20 x 20 m	22 x 22 m	30 x 30 m	40 x 40 m

Tabel 3-3: Dimensioner for jacketfundamenter. * Meget usikkert estimat.

Bøttefundament

Et bøttefundament er en kombination af hovedaspekterne af et gravitationsfundament og en monopæl. Arealet af funderingsområdet vil svare til størrelsen på det gravitationsbaserede fundament. Det forventes, at bøttefundamentets maksimale højde (inklusive dækslet) vil være mindre end 1 m over havbunden. Det antages, at diameteren af bøttefundamentet vil være den samme som diameteren for gravitationsfundamenter.

3.6 Transformerplatforme

For at nettilslutte de 600 MW havmøller på Krigers Flak vil der blive etableret to HVAC-platforme. Én for havmøllerne i den vestlige del (200 MW), og én for havmøllerne i den østlige del (400 MW). Platformenes placeringer er angivet på Figur 3-3 og Figur 3-4.

HVAC-platformene forventes at få en længde på 35-40 m, en bredde på 25-30 m og en højde på 15-20 m. Det højeste punkt på en højspændingsvekselsstrømplatform forventes at være 30-35 m over havoverfladen.

Transformerplatformene vil blive placeret på steder med en havdybde på 20-25 m og ca. 25-30 km øst for Møns kyst.

Fundamenterne til HVAC platformene vil være enten jacketfundamenter bestående af en stålstruktur med fire ben eller en gravitationsbaseret struktur (hybridfundament), som består af en sænkekasse af beton med en firbenet stålstruktur på toppen.

Jacketfundamenter

Størrelsen af jacketfundamentet vil blive tilpasset de lokale forhold, hvor fundamentet installeres. Eksempler på dimensioner er angivet i Tabel 3-4.

Jacketfundament	HVAC platform
Afstand mellem benene ved havbunden	20x23 m
Afstand mellem benene ved platformen	20 x 23 m
Højde af gitterkonstruktion	Vanddybde + 13 m
Længde af pæle	35-40 m
Diameter af pæle	1.700 – 1.900 mm
Vægt af konstruktionen	1.800 – 2.100 t
Areal af erosionsbeskyttelse	600 – 1.000 m ²

Tabel 3-4: Dimensioner på jacketfundamenter ved HVAC-platforme.

Gravitationsbaseret struktur (hybrid eller GBS)

Den gravitationsbaserede struktur er konstrueret med en eller to sænkekasser med et passende antal ballastkamre.

To forskellige designs kan anvendes ved Kriegers Flak-projektet:

- Hybridfundament: En flydende betonsænkekasse med en stålkonstruktion på toppen, der understøtter overdelen.
- GBS: Stålkonstruktion med to sænkekasser integreret i designet af transformerplatformen.

Størrelsen af hybridfundamentet vil blive tilpasset det sted, hvor fundamentet installeres. I Tabel 3-5 ses omtrentlige dimensioner for et hybridfundament ved en HVAC-plattform.

Hybridfundament	HVAC-platform
Sænkekasse, længde x bredde	21 x 24 m
Sænkekasse, højde	15 – 16 m
Sænkekasse, vægt	3.300 – 3.600 t
Afstand mellem hjørneben af stålkonstruktionen	20 x 23 m
Placering af overgangen mellem sænkekasser og stålkonstruktion	3-5 m under havoverfladen
Højde af stålkonstruktion	16 - 18 m
Diameter af stål ben	1.700 – 1.900 mm
Vægt af stålkonstruktion	600-800 t
Ballast volumen	1.600 – 1.800 m ³
Total vægt af fundament inkl. ballast	9.000 – 10.000 t
Areal af erosionsbeskyttelse	600 – 1.200 m ²

Tabel 3-5: Dimensioner ved HVAC-platform.

Søkabler

Der etableres et net af inter array-kabler, som forbinder rækker af 8 – 10 havmøller indbyrdes, hvorefter rækken forbindes til transformertplatformen.

Længden af inter array kablerne vil afhænge af størrelsen af havmøllerne og havmølleparkens layout. Det forventes, at jo større havmøllerne er, jo større bliver afstanden mellem havmøllerne.

Der installeres to 220 kV søkabler, som forbinder transformertplatformene med ilandføringspunktet ved Rødvig. Foruden de to søkabler til land vil der blive installeret et 220 kV søkabel mellem transformertplatformene. Den totale længde af ilandføringskablerne vil være ca. 100 km.

Søkablerne graves ned i havbunden uden forventelig indflydelse på de hydrografiske forhold samt bølge og strømforhold.

4. Beskrivelse af potentielle påvirkninger af de hydrografiske forhold

De potentielle påvirkninger og effekter på de hydrografiske forhold ved etablering af en havmøllepark på Kriegers Flak beskrives i det følgende. Påvirkningerne skyldes tilstedeværelsen af havmøllernes og transformerplatformenes fundamenter. Der vil ikke være strukturer på havbunden langs kabeltracéet til land eller aktiviteter i forbindelse med nedgravning af kablerne, som medfører påvirkninger af de hydrografiske forhold.

Den største påvirkning vil optræde i umiddelbar nærhed af havmøllerne, men pga. advektion vil f.eks. saliniteten potentielt kunne ændres i et betydeligt større område, end hvor havmøllerne bliver placeret.

4.1 Blokering af vandgennemstrømning gennem Bælthavet

Placeringen af et større antal havmøller og transformerplatforme på et forholdsvis begrænset område vil påvirke de hydrografiske forhold (hovedsageligt salinitet, lagdeling, strøm- og bølgeforhold), fordi havmøllernes og transformerplatformenes fundamenter introducerer øget strømningsmodstand (blokering) som kan medvirke til øget opblanding af vandmasserne. Fundamenterne giver desuden en blokering af strøm og bølger, som kan medføre en ændring i vandgennemstrømningen gennem Bælthavet.

4.2 Ændringer i vandtemperatur

Ændringer i vandtemperaturen vil potentielt kunne forekomme lokalt pga. ændringer i opblandingen ved Kriegers Flak, men det vurderes, at temperaturgradienten i området er meget lav, og at ændringer i opblandingen kun vil medføre ubetydelige påvirkninger af temperaturen. Derfor behandles disse forhold ikke yderligere i rapporten.

4.3 Ændringer i vandstanden og i de lokale strømforhold

Ændringer af vandstanden kan potentielt forekomme lokalt omkring havmøllernes og transformerplatformenes fundamenter pga. blokering af vandgennemstrømningen, men det vurderes, at evt. ændringer vil være ubetydelige.

Det vurderes ligeledes, at der ikke vil være nogen betydende ændringer i de lokale strømforhold, idet disse ville være forårsaget af ændringer af vandstanden. Derfor er forhold vedr. vandstand og strøm (lokalt) ikke behandlet yderligere i denne rapport.

4.4 Salinitet og lagdeling

Når vand strømmer omkring havmøllers og transformerplatformenes fundamenter, dannes der turbulens, hvorved en del af vandets kinetiske energi omdannes til turbulent kinetisk energi, som kan lede til en opblanding af vandet omkring - og umiddelbart nedstrøms havmøllerne.

Den øgede blanding af vandmasserne kan resultere i, at den tungeste del af vandet med størst salinitet blandes med lettere vand, sådan at variationer i saliniteten reduceres, og den maksimale salinitet i Østersøen formindskes. Det vand, som strømmer gennem Bælthavet, har typisk både høj salinitet og højt iltniveau. Det indstrømmende vand til Østersøen via Bælthavet medvirker både til at opblende - og til at opretholde et højt saltniveau i de dybere dele af Østersøen. Begge dele er af betydning for det marine miljø i Østersøen. Derfor anses det som en belastning af havmiljøet, hvis et bygværk medfører et fald i den maksimale salinitet i det vand, der strømmer ind i Østersøen.

4.5 Bølgeklima

Havmølleparken kan reducere den samlede bølgeenergi og dermed bølgehøjde på læsiden af havmøllerne. Fundamenterne vil helt lokalt, når de rammes af en bølge, forøge opblandingen samt den energi, der når havbunden, og som kan give anledning til scourudvikling. Reduktionen i energi vil nedstrøms havmøllen resultere i en reduktion i den samlede bølgeenergi, som yderligere forstærkes af, at havmøllen høster vindenergi, hvorved vindfeltet ligeledes reduceres og derved tilføjer mindre energi til det nedstrøms bølgefelt.

5. Metode

I det følgende beskrives de metoder, der er anvendt til kortlægning af de eksisterende hydrografiske forhold ved Kriegers Flak, samt metode til udarbejdelse af vurderinger af potentielle påvirkninger på hydrografien.

5.1 Definition af påvirkningsområde og afhængighedsområde

Påvirkningsområdet

Erfaringer fra modelresultater genereret for VVM-redegørelser fra forskellige brobyggerier indikerer, at det område, hvor bølge- og strømforhold potentielt kan blive påvirket af de tekniske konstruktioner på havbunden (påvirkningsområdet), strækker sig relativt længere langs med strømretningen, men mindre på tværs af strømretningen sammenlignet med bølger og vind, (Femern, 2014).

I relation til den regionale påvirkning af Østersøen er den miljømæssigt mest kritiske parameter ændringer i vand- og stoftransporten forbi Kriegers Flak. Teoretisk kan man argumentere for, at den største del af den indgående salttransport til Østersøen altid er begrænset til større vanddybder end selve flakkets vanddybde. Derfor er et af de centrale punkter i modelarbejdet at eftervise dette strømmønster.

Påvirkningsområdets størrelse er forhåndsbestemt ud fra erfaringer fra andre VVM-redegørelser, videnskabelige publikationer og teoretiske vurderinger, hvilke samlet set har defineret modellernes geografiske udbredelse i et triple-nestet modelsystem omfattende meteorologi og hydrografi. En selvstændig model er kørt for at foretage bølgesimulering. Modellerne er afviklet i en højopløst 10-års-simulering (2003-2012) for at opnå maksimal nøjagtighed i resultaterne og rapportens konklusioner.

Det potentielle påvirkningsområde for strøm- og bølgeforhold overstiger langt den geografiske udbredelse af forundersøgelsesområdet for Kriegers Flak Havmøllepark, som er vist på Figur 3-2. Derfor har det været vigtigt at definere det påvirkningsområde, som har været bestemmende for designet af både de meteorologiske og hydrografiske modelopsætninger.

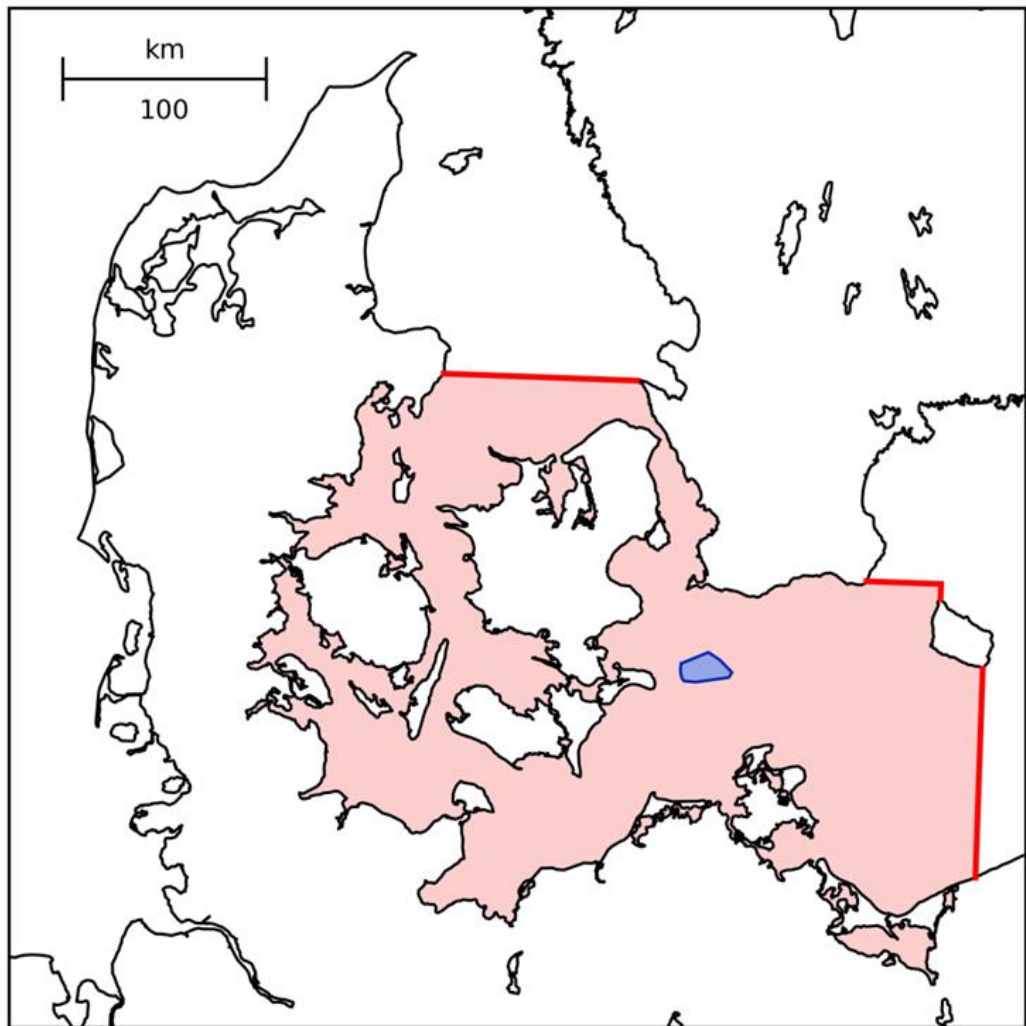
Ved definition af det potentielle påvirkningsområde er der taget højde for, at simuleringen skal kunne reproducere transport af salt ind i Østersøen. Det er i den sammenhæng vigtigt, at der kan spores en påvirkning af salttransporten i området vest for Bornholm. Det er også afgørende, at der kan simuleres korrekt, hvilket kræver en høj modelopløsning, som det ikke er muligt at anvende for hele Østersøen.

Afhængighedsområdet

Efter definitionen af det potentielle påvirkningsområde er det næste skridt at definere afhængighedsområdet, som er det geografiske område, som modellen er afhængig af og hvor dynamiske og fysiske processer er væsentlige for påvirkningsområdet. Erfaringsmæssigt er gode randbetingelser kritiske for strømmen ud - og ind af Nordsøen, og dette er kritisk for den videre transport af salt til Østersøen. Det betyder, at man er nødt til at simulere en stor del af Atlanterhavet for at kunne foreskrive en realistisk transport ud og ind af Nordsøen. Da de dynamiske forhold i Atlanterhavet er styret af de atmosfæriske forhold, bliver afhængighedsområdet for en Kriegers Flak-simulering ganske stort, også selv om der kun fokuseres på at vise, om havmølleparken kan påvirke saltbalancen i Østersøen. Dvs., at formålet ikke er at simulere en komplet saltbalance inklusiv ferskvandstilførsel, men at eftervise om forøget opblanding i vandet og ekstra friktion på flakket har konsekvenser for saltbalancen i Østersøen.

Det vurderes, at en modellering bestående af atmosfæriske og hydrografiske modeller, som dækker Atlanterhavet, Nordsøen og Østersøen med opløsningsfokus på lokalområdet og gradvis grovere modeller jo længere væk fra fokusområdet, giver et tilstrækkeligt retvisende billede af alle relevante modelparametre (strøm, salinitet, bølger m.m.) .

Herved er de overordnede rammer for modelleringsarbejdet givet. Hvordan og hvorledes modellerne virker er beskrevet i detaljer i afsnit 5.2.1, og afhængighedsområdet er angivet i Figur 5-2.



Figur 5-1: 400 m modelområdet for den hydrografiske model (lyserødt). Forundersøgelsesområdet for VVM-forundersøgelsen er markeret med blå.

5.2 Numerisk modellering

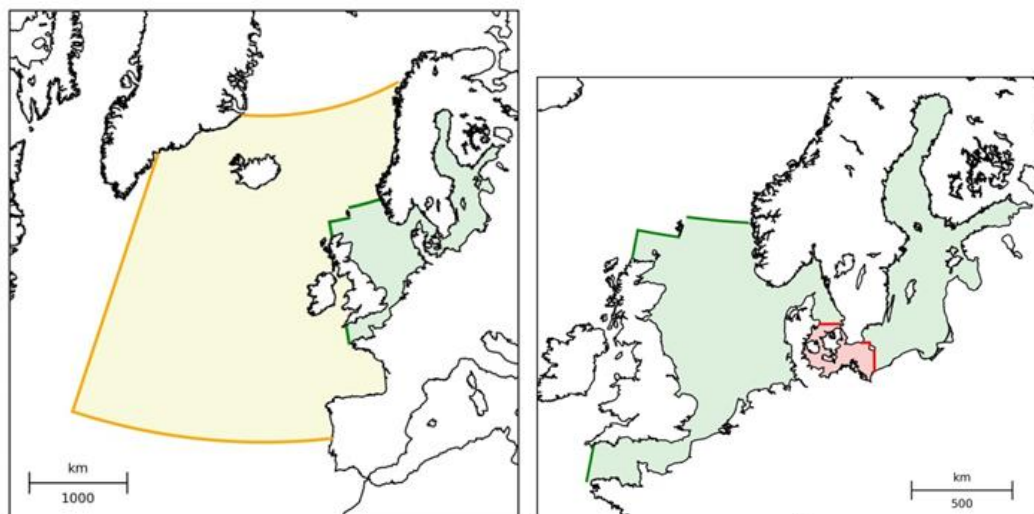
Beskrivelsen af hydrografien på Kriegers Flak er udført ved brug af tre numeriske modeller, som hver beskriver forskellige fysiske processer på forskellige skalaer. For at kalibrere og verificere de tre numeriske modeller er der brugt eksisterende data, som listet nedenfor. Siden modelleringen blev gennemført, er der foretaget små justeringer af placeringen af havmøllerne i den østlige del af havmølleparken. Det er dog vurderet, at disse ændringer ikke har nogen betydning for resultaterne af modelleringen og konklusionerne af miljømæssige påvirkningsgrad, og der er derfor ikke foretaget nye beregninger med udgangspunkt i det seneste layout.

Fra den meteorologiske model, der er afrapporteret i MetOceanrapporten, Appendix 2 (NIRAS, 2013b) er vind og atmosfærisk tryk sat på som rand i den hydrografiske model og bølgemodellen. Yderkanten af modelområdet er sat op til, at vind og vand frit kan komme til- og forlade området. Enariet uden en etableret havmøllepark er simuleret. Denne beregning er referencekørsel, og de øvrige simuleringer vil blive vurderet i forhold til simuleringen uden havmøllepark. Vindgenererede bølger er simuleret på baggrund af vindfelter, som er beregnet med den meteorologiske model. Bølgemodellen er holdt op mod målinger, således at modellen kan bestemme baseline (reference) i henhold til målte data. Transformatorplatformene er ikke inkluderet i modelberegningerne for hydrografien (salinitet, lagdeling, strømforhold), idet det er vurderet ud fra ekspertskøn, at fundamenternes påvirkning af de hydrografiske forhold vil være ubetydelig. Transformerplatformene indgår derimod i modelleringen af bølger.

Det forventes, at der bliver opstillet tre ekstra havmøller i forhold til kapaciteten på 600 MW (ved 3,0 MW, i alt 203 havmøller), således at der kan opretholdes en kapacitet på 600 MW – også selv om tre havmøller er ude af drift. Disse indgår ikke i modelleringen, fordi beslutningen om at tilføje ekstra havmøller i den tekniske projektbeskrivelse blev truffet, efter at simuleringerne var gennemført. Det vurderes imidlertid, at de ekstra havmøller ikke ændrer miljøvurderingerne, da de kun udgør 1,5% af det samlede antal havmøller med minimal forøgelse af den samlede blokering.

5.2.1 Hydrografi

De hydrodynamiske påvirkninger ved Kriegers Flak er beregnet med brug af den numeriske model General Estuarine Transport Model (GETM), se (Burchard & Bolding, 2002) og (<http://www.getm.eu>) for yderligere information. Modellen er sat op i tre nastede domæner, som giver højere opløsning og nøjagtighed ind mod Kriegers Flak, se Figur 5-2. Den geografiske udstrækning af den yderste model (afhængighedsområdet) sikrer, at meteorologiske stor-skalaeffekter (f.eks. stormlavtryk) inkluderes korrekt. Store lavtryk i Atlanten kan påvirke vandstanden i Nordsøen og dermed strømmingen gennem de danske stræder og situationen ved Kriegers Flak. Den høje opløsning (400 m grid) i nærområdet er nødvendig for at opløse strømninger og hvirvler inden for den såkaldte barokline Rossby radius, som er en skala for dannelse af barokline in-stabiliteter og hvirvler. De væsentligste nøgleparametre for de tre hydrografiske model-set-up er angivet i Tabel 5-1:.



Figur 5-2: Nastede modeller (afhængighedsområdet: gult, grønt, rødt): 4 nm 2D Nordatlantisk opsætning (NA, gul), 1 nm 3D Nordsø-Østersø-opsætning (NS/BS, grøn), 400 m 3D indre farvande (KF400, rød). Bathymetrien for 400 m opsætningen er baseret på frit tilgængelige data fra FCOO, IOW og BSH samt i yderst begrænset omfang på data fra Femern Bælt undersøgelserne.

	NA	NS/BS	KF400
Kodebase	GETM	GETM	GETM
Beregningstype	2D	3D	3D
Bathymetri dimensioner	710x450	1.274x1.051	952x772
Bathymetri cellestørrelse	Ca. 7.500 m	Ca. 1.800 m	400 m
Bathymetri projektion	Sfærisk	Sfærisk	Kartesisk
Antal vertikale lag	1	50	30
Vertikal distribution	-	Adaptive koordinaters	Sigma koordinater
Tidsskridt	12 sec	10 sec	6 sec
3D/2D tidsskridt splitfaktor	-	14 (2min og 20 sec)	20 (2 min)

Tabel 5-1: Nøgleparametre for de tre hydrodynamiske set-ups.

Modelkørslerne foregik i praksis på 3 forskellige Linux baserede clustre. Den fysiske beregningstid strakte sig fra december 2012 til og med april 2013. Undervejs er der produceret et stort antal TBytes af data for atmosfære og ocean over en 10-års-periode fra 2003 til 2012. Denne periode var valgt ud fra muligheden for et benytte et konsistent sæt randdata for den meteorologiske model. De 10 år vurderes at være tilstrækkeligt for at kunne finde en repræsentativ periode til vurdering af konsekvenser af påvirkninger.

Nordatlant-set-up

Det geografisk største domæne (NA) dækker Nordøstatlanten, se Figur 5-2. Nordøstatlanten bliver simuleret som en såkaldt stormflodsmodel (2D) i en opløsning på ca. 4 nm (ca. 7.5 km). Som randbetingelse for NA bruges såkaldt "inverse barometric effect" for vandstand i en formulering, som tillader bølger at forlade domænet uden refleksion (Flather-type radiation condition). NA-modellen drives af meteorologisk forcering fra KFMLR, (NIRAS, 2013b), som bruges til randbetingelsen og til meteorologisk forcering i det interne af domænet.

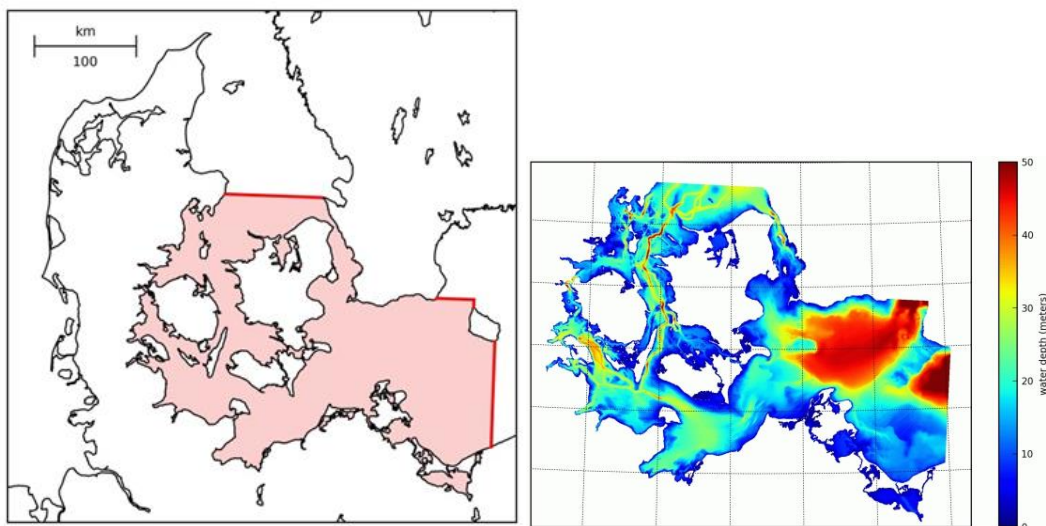
Nordsø/Østersø-set-up

Den mellemste opsætning (NS/BS) beregner Nordsø/Østersøområdet i en opløsning på ca. 1 nm (1800 m) og er en 3D-cirkulationsmodel, som inkluderer barokline effekter og stedsligt og tidsligt varierende værdier for salt og temperatur. NS/BS dækker Den Engelske Kanal, Nordsøen, Skagerrak, Kattegat og Østersøen. Randbetingelser til NS/BS beregnes som en kombination af astronomisk tidevand og data fra NA-modellen, hvor der for begge bidrag beregnes vandstand og hastighed, som derefter bruges som en Flather-type-randbetingelse. For hver celle på ca. 1x1 nm i NS/BS-modellen beregnes salt, temperatur, hastigheder og turbulens mellem havbund og overflade løbende i 50 individuelle vertikale lag. Tykkelsen af hvert lag varieres adaptivt over tid, så NS/BS-set-up sikrer opløsning også nær lagdelinger i de dybere dele af Østersøen, hvilket traditionelt er et meget vanskeligt problem. Dette er væsentligt f.eks. i forbindelse med beregning af saltvandsindbrud i Østersøen – et fænomen, som en havmøllepark kan have en negativ indvirkning på. Ferskvandstilstrømningen til modellen er baseret på beregnede daglige værdier for 120 udløb fra en database fra CEFAS, UK.

Kriegers Flak-set-up

Den sidste af de tre opsætninger er en 400-m-model (KF400), som udelukkende dækker de indre danske farvande, fra Grenå til Bornholm, se Figur 5-3. Idet området ikke indeholder meget dybe bassiner, er modellen opsat med 30 vertikale lag, med fast vertikalt fokus/zoom nær overflade og bund for præcis opløsning af grænselagsfænomener. Tykkelsen af hvert lag justeres løbende baseret på lokal vandstand, så de 30 lag altid dækker præcist fra bund til overflade. Modellens 400 m grid giver en fornuftig opløsning af den barokline Rossby radius (3-5 km i området), som er en skala for dannelse af barokline in-stabiliteter og hvirvler. Det er vigtigt at bemærke, at disse hvirvler forekommer på et stokastisk grundlag, og at en numerisk model ikke kan forventes at beregne positionen af alle disse hvirvler korrekt. Men modellen vil kunne forventes at have de korrekte statistiske egenskaber i forhold til dannelsen af hvirvler. Hvis modellen køres med to svagt perturberede opsætninger (f.eks. med eller uden effekt fra møllefundamenter), så vil det svare til forskellige udfald af en stokastisk proces. Selv om selve processen kun

perturberes svagt, så kan det resultere i forskellig placering af hvirvler på et givet tidspunkt, hvilket kan resultere i ret store forskelle i f.eks. salinitet eller temperatur i et enkelt punkt. Derfor bør statistiske mål som f.eks. middelværdi og varians bruges ved sammenligning af forskellige modelkørsler.

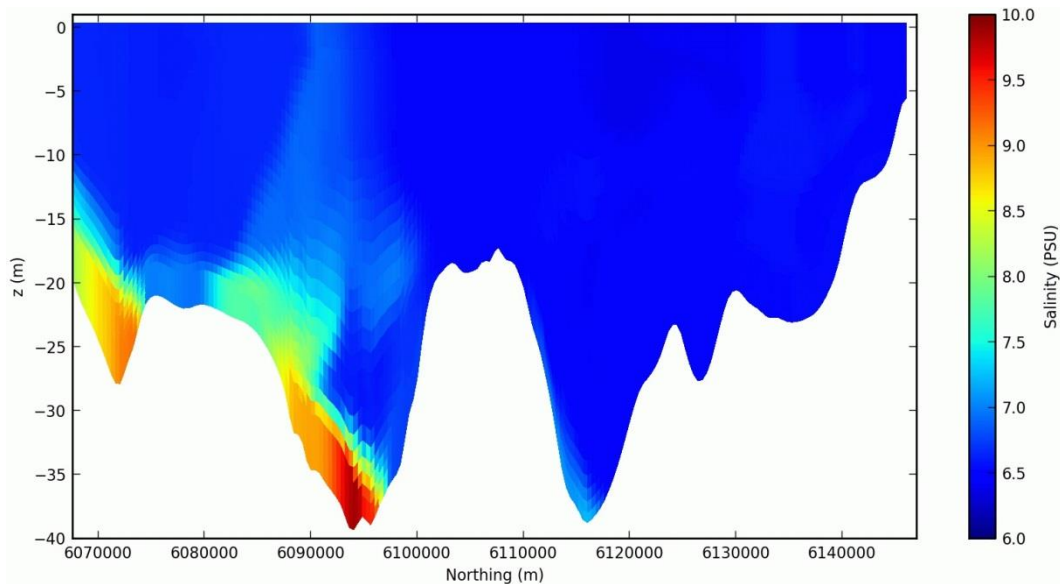


Figur 5-3: Den "indre" model (KF400) for hydrodynamiske simuleringer i forbindelse med Kriegers Flak (venstre). Bathymetri (dybdeforhold) i modelområdet (højre).

Meteorologisk er den hydrografiske model drevet af momentum- og varmefflux gennem havoverfladen samt kortbølget indstråling fra solen. Fluxene bliver beregnet som funktioner af en række parametre fra den meteorologiske model: Lufttemperatur (i 2 m højde), to vindkomponenter (i 10 m højde), lufttryk, luftfugtighed og skydække. Desuden indgår vandets beregnede overfladetemperatur fra den hydrografiske model. Selve beregningen er forholdsvis kompleks - yderligere information i (Kondo, 1975). Den kortbølgede indstråling fra solen er en funktion af skydække, position (bredde- og længdegrad) og tidspunkt (dag og klokkeslet). Indstrålingen dæmpes ned gennem vandsøjlen, hvorved energien afsættes over dybden. Til beregning af dæmpningen benyttes de såkaldte Jerlov klasser (Jerlov, 1968). Specifikt er der for KF400 modelopsætningen benyttet Jerlov klasse 6 - svarende til kystnært vand. Dæmpningen er dobbelt eksponentiel, dvs. at der er to forskellige dæmpninger angivet, som tager hensyn til bølgelængden af den indkomne stråling.

Figur 5-4 viser et modelleret eksempel på variationen i salt i et transekt over Kriegers Flak. Vand med høj salinitet (og densitet) og typisk også højt iltindhold transporteres gennem de danske stræder og via Arkonabassinet videre ind i Østersøen. Det indstrøm-

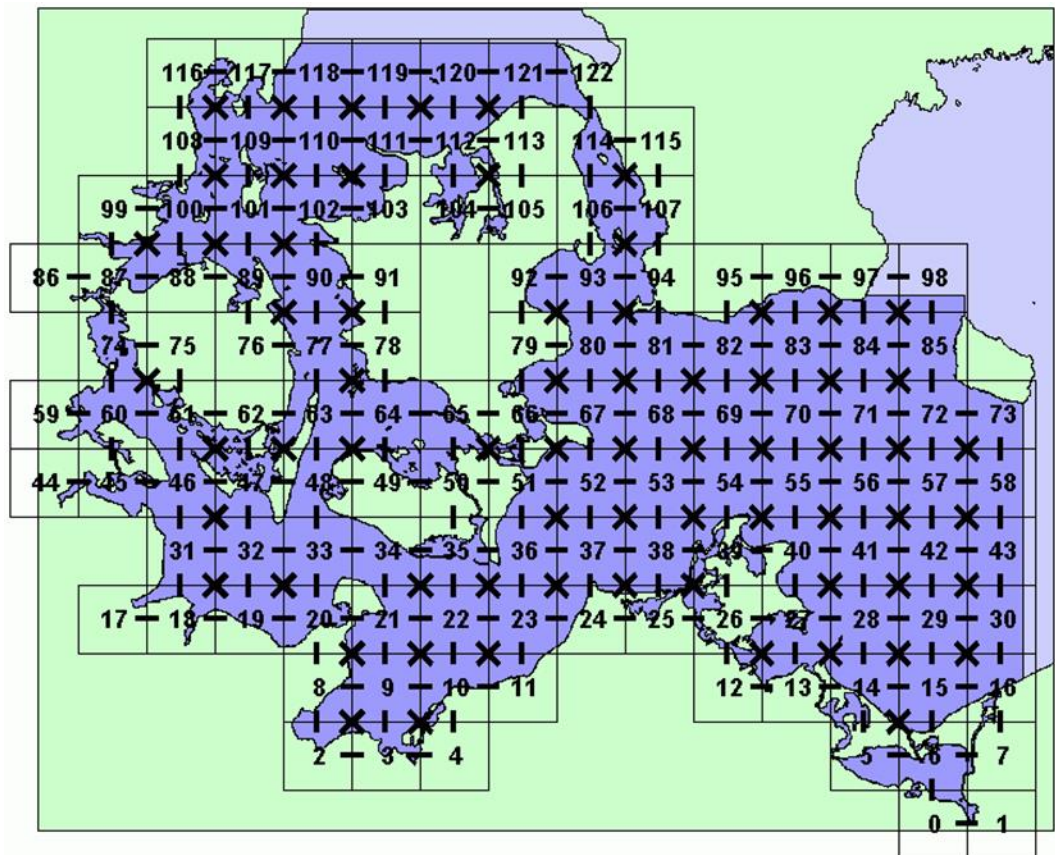
mende vand er afgørende for iltningen af de dybe områder længere inde i Østersøen. En ændring i (øgning af) blandingen af det indstrømmende salte vand med det overliggende ferskere vand kan derfor påvirke miljøet i Østersøen i en bredere forstand. Figuren viser tydeligt de kraftige gradienter i f.eks. salt, som forekommer i området. De enkelte celler i modellen, og dermed modellens opløsning vertikalt og horisontalt, fremgår af figuren.



Figur 5-4: Eksempel på modelresultat for salinitet fra KF400: Transekt (nord-syd) over Kriegers Flak. De enkelte celler i opsætningen fremgår.

De udviklede set-ups NS/BS og KF400 kræver så stor beregningskraft, at det i praksis udelukkende kan lade sig gøre med parallelisering. Konkret bruges MPI (Message Passing Interface), hvorved f.eks. KF400 deles i 123 områder (subdomæner), på hver 96 x 96 punkter horisontalt, idet subdomæner, som ikke indeholder aktive celler (vand) af hensyn til effektiviteten ikke medtages i beregningerne. Ved hvert tidsskridt udveksler hvert subdomæne – via MPI – data med sine naboer, markeret med fede streger i Figur 5-5. Selve kørslerne afvikles ved samtidig brug af 16 dual-CPU-Xeon-computere i tæt netværk (gigabit ethernet, single switched).

Beregningerne for NA og NS/BS er foretaget af IOW (Leibniz Institute for Baltic Sea Research) som led i et forskningsprojekt.



Figur 5-5: Opdeling af KF400 set-up i 123 subdomæner for parallelle beregninger på en Linux klynge. Ved beregningerne fordeles subdomænerne på 16 servere med hver 2 Xeon (quad core) processorer, dvs. i alt 128 kerner til rådighed.

5.3 Modelverifikation

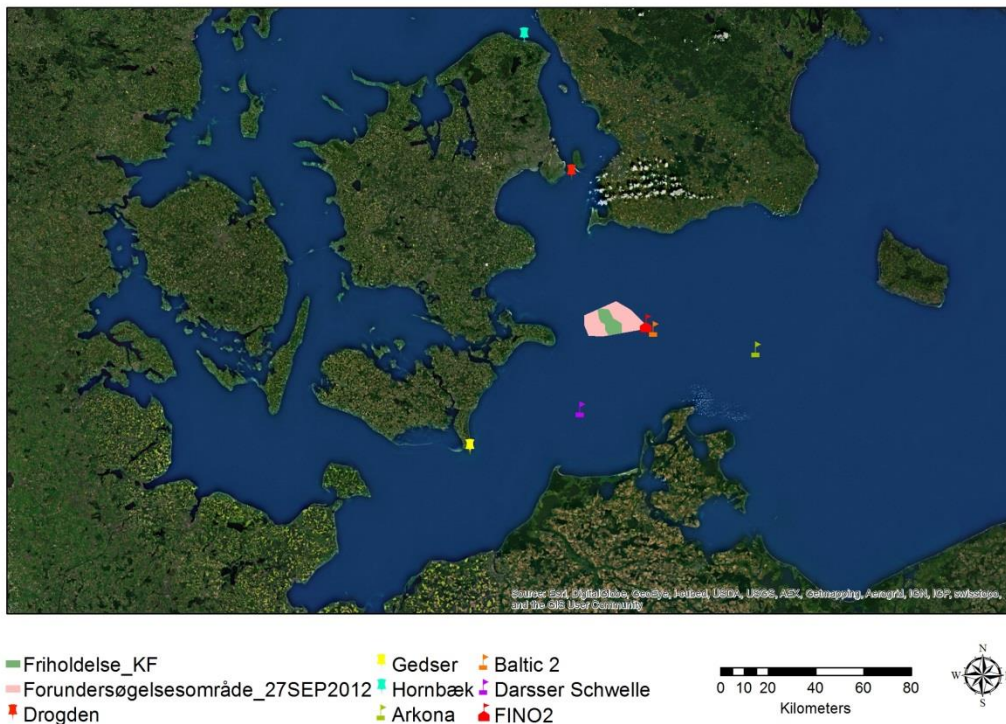
Kvaliteten af modelsimuleringerne evalueres ved at foretage en statistisk/visuel sammenligning mellem observationer og modellerede variable. Modelopsætningen for Kriegers Flak-området med en horisontal opløsning på 400 m og tidslig opløsning på 1 time genererer så store datamængder, at der ikke er observationsdata til rådighed, der tilnærmelsesvis gør det muligt at lave en sammenligning. Den mulige sammenligning er dikteret af tilgængelige observationer inden for modelområdet og for den periode, de enkelte målestationer har været operationelle.

Der er rekvireret observationer fra DMI og BSH. Fra DMI er der leveret vandstandsdata samt strømdata fra 2 stationer. Fra BSH er der leveret observationer fra 5 stationer, hvor salt og temperatur er observeret i flere forskellige dybder.

Modellen simulerer et stort antal forskellige variable, hvoraf kun et begrænset antal vil være observeret på de forskellige målestationer.

Resultaterne fra den hydrografiske model er sammenholdt med følgende observationer (NIRAS, 2013b):

- Vandstand fra Hornbæk 8./10. til 1./11. 2009 (kilde DMI)
- Vandstand fra Gedser 1./10. til 1./11. 2009 (kilde DMI)
- Strømhastighed og retning ved Drogden 1./8. til 1./10. 2009 (Farvandsvæsenet)
- Salinitet og temperatur Arkona 2./7. 2003 til 25./12. 2012 (kilde BSH)
- Bølgehøjde, retning og periode Arkona 2./7. 2003 til 25./12. 2012 (kilde BSH)
- Bølgehøjde, retning og periode Darss 28./2. 2002 til 31./12. 2012 (kilde BSH)
- Bølgehøjde, retning og periode Baltic II 6./6. 2012 til 1./1. 2013 (kilde BSH)



Figur 5-6: Lokalteter hvorfra der indgår observationer i den hydrografiske model samt bølgemodellen. Det lyserøde polygon viser forundersøgsområdet. Det grønne polygon angiver Energinet.dk's friholdelsesområde om råstofindvindingsområdet centralt i havmølleparken.

5.3.1 Verifikation af vandstande

Der er foretaget analyse af data for Gedser og Hornbæk som repræsentative stationer henholdsvis syd og nord for Drogden. I Hornbæk er der et tidevandssignal, som er stort set fraværende i Gedser. Dette skyldes den store friktion i Bælthavet, som dæmper tidevandet.

Disse stationer indgår også i den såkaldte Gedser-Hornbæk-relation, som beregner vandføringen gennem Bælthavet som funktion af vandstandsforskellen mellem netop Gedser og Hornbæk.

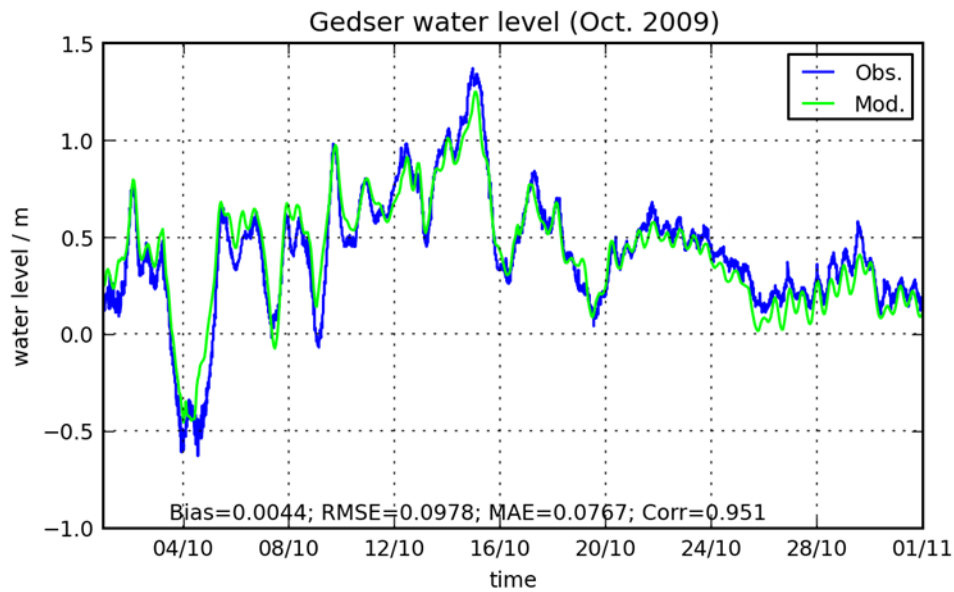
Observationerne er fra DMI's observationsnet og dækker perioden fra 2007 til 2012. Modelresultaterne dækker hele simuleringsperioden fra 2003 til 2012 (Tabel 5-2).

Station		Min	Max	Middel	Std. dev.	R ²
Gedser	Observation	-1,39	1,27	0,12	0,24	0,95
	Model	-1,25	1,37	0,22	0,23	
Hornbæk	Observation	-1,13	1,63	0,06	0,22	0,91
	Model	-0,80	1,53	0,18	0,23	

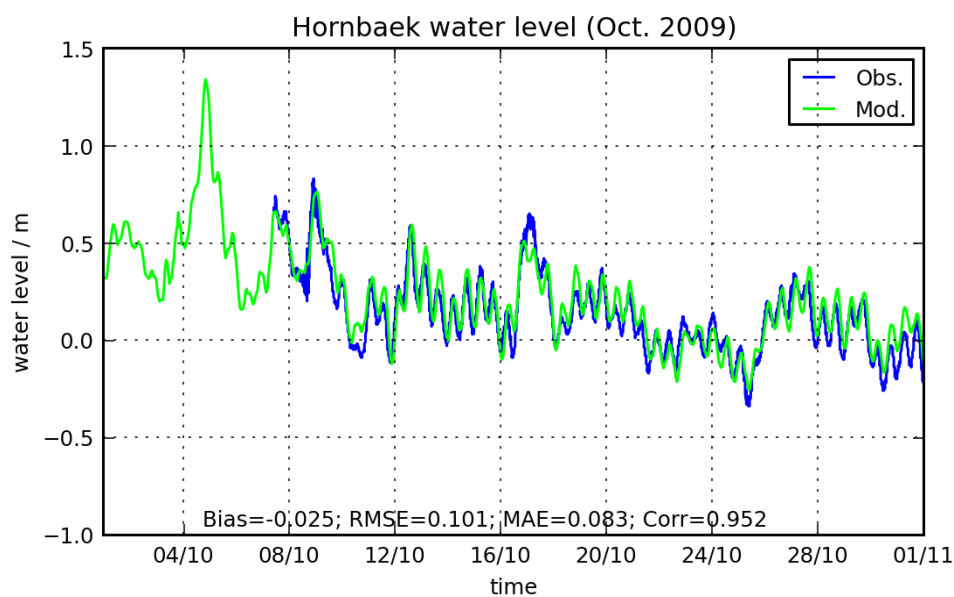
Tabel 5-2: Statistik for vandstande for Gedser og Hornbæk. Observationer fra 2007 til 2012. Modelresultater fra 2003 til 2012. Der er benyttet timeværdier.

Det bemærkes i Tabel 5-2;, at der er en bias mellem observationer og modelresultater – ca. 10 cm for Gedser og ca. 12 cm for Hornbæk. Nulpunktkorrigeres minimum- og maksimumværdierne, ses det, at for specielt Gedser er der en meget fin overensstemmelse. Det bemærkes yderligere, at variabiliteten i tidsserierne er stort set den samme for observation og model for både Gedser og Hornbæk. Yderligere er korrelationskoefficienten mellem observationer og modelresultater meget høj. Konklusionen på ovenstående er, at det etablerede modelsystem er i stand til at reproducere vandstande med stor nøjagtighed. Specielt skal det bemærkes, at både maksimumværdier og standardafvigelser stemmer meget fint overens, hvilket er en nødvendighed for at kunne lave ekstremstatistik.

Som en visuel verifikation er der i Figur 5-7 og Figur 5-8 vist eksempler på den tidlige overensstemmelse mellem observerede og modellerede vandstande. Tidsperioden, der er plottet, er valgt ud fra et kriterium om stor variabilitet (fra maksimum til normalt niveau).



Figur 5-7: Observeret og simuleret vandstand (m) for Gedser i oktober 2009.



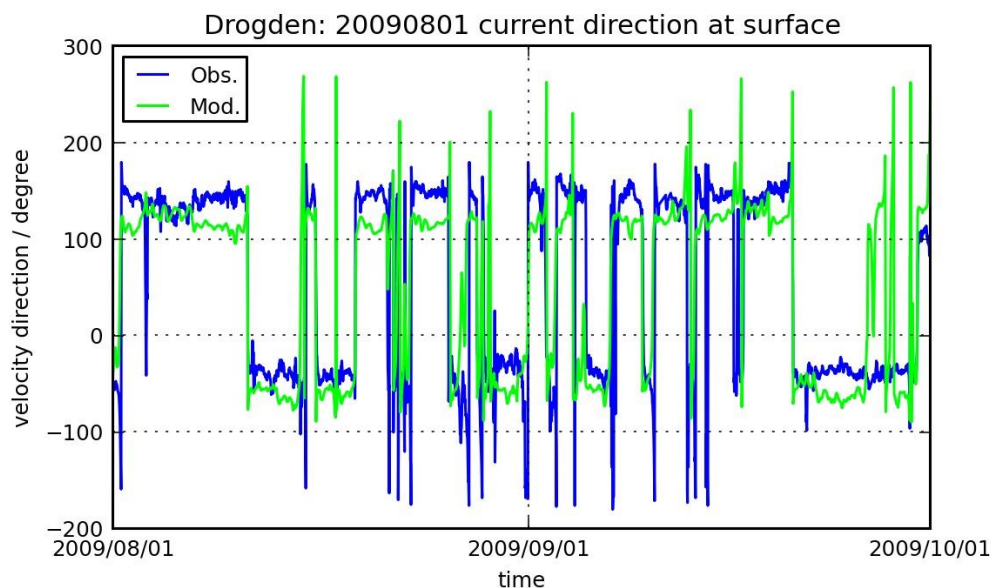
Figur 5-8: Observeret og simuleret vandstand (m) i Hornbæk i oktober 2009.

5.3.2 Verifikation af strømhastigheder

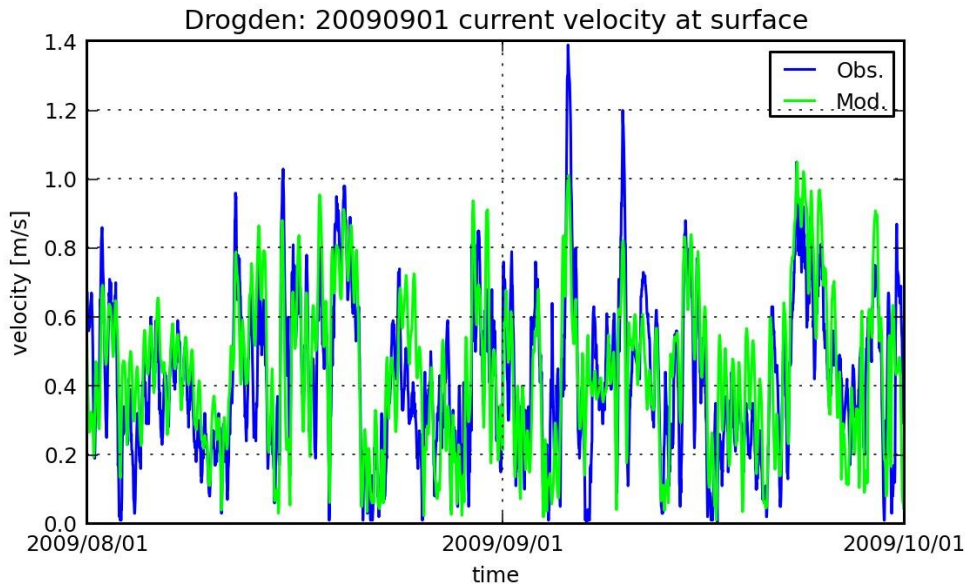
Verifikation af strømhastigheder er betydeligt vanskeligere end vandstande. Der er flere årsager til dette, hvor de væsentligste nævnes her:

- De styrende ligninger er udtrykt i vandtransporter, og hastigheden er en afledt størrelse som fås ved at dividere transporten med den lokale vanddybde – 'fejl' i vanddybden vil altså direkte resultere i fejl på hastighederne – selv under forudsætning af transporterne er korrekte.
- Hastigheder er i langt højere grad end vandstande afhængige af lokale forhold - f.eks. vil en sandbanke kunne give anledning til ændret strømretning.
- Divergensen i vandtransporterne benyttes til at bestemme vandstanden. Således vil et konstant off-set i transporterne medføre den samme vandstand.

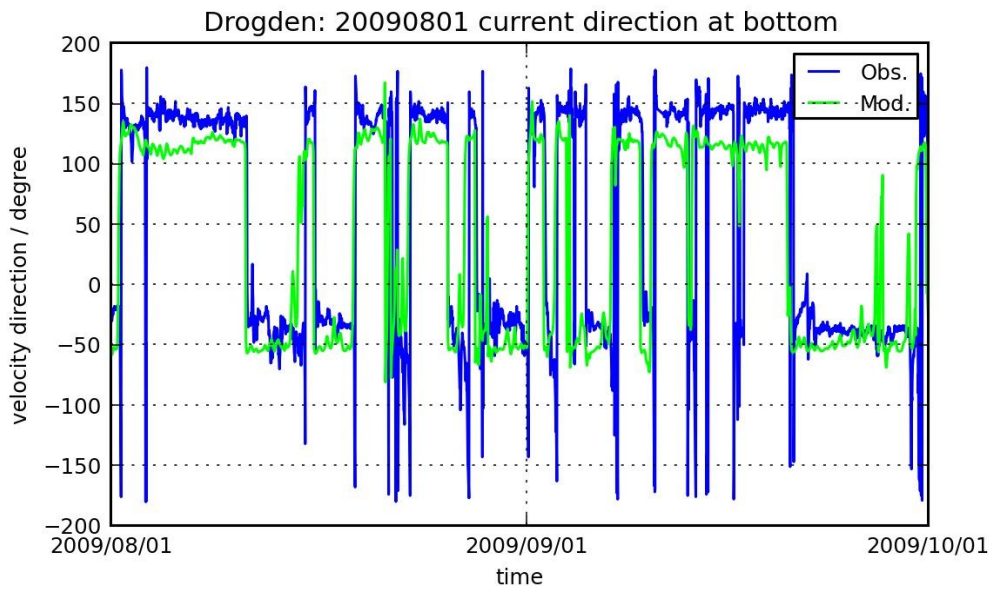
På Figur 5-9 til Figur 5-12 er vist eksempler på sammenligning af modellerede og observerede strømretninger og strømstyrker ved Drogden. Det bemærkes, at der stort set kun er to strømretninger ved Drogden med en forskel på 180 grader – vandet strømmer enten ind i Østersøen eller ud fra Østersøen. Der er en bias på ca. 15 grader mellem observationer og model.



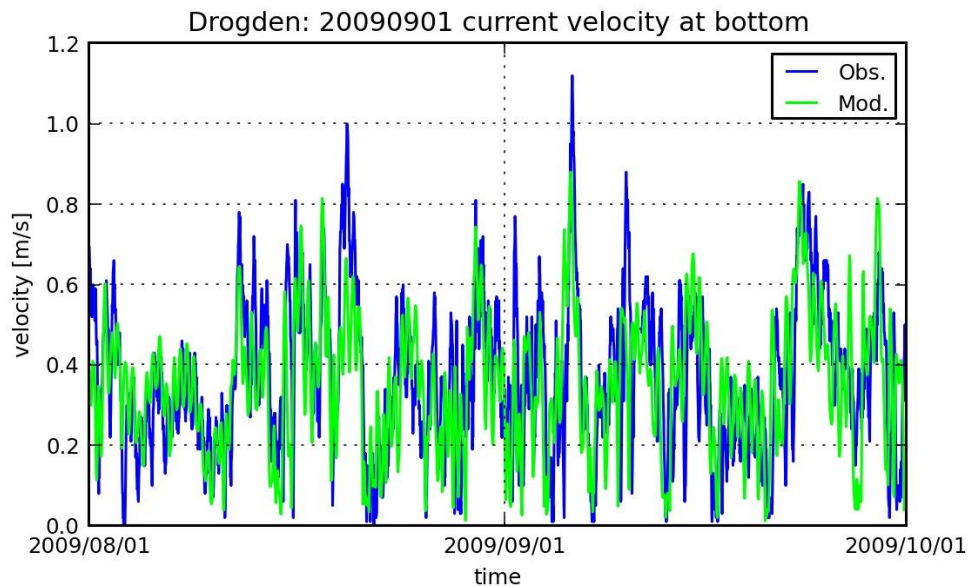
Figur 5-9: Strømretningen (grader) i overfladen ved Drogden for en periode på 2 måneder i 2009.



Figur 5-10: Strømretningen (m/s) i overfladen ved Drogden for en periode på 2 måneder i 2009.

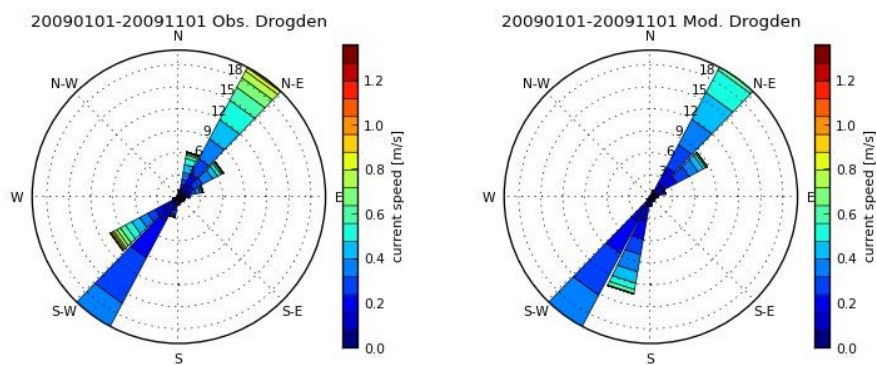


Figur 5-11: Strømretningen (grader) ved bunden ved Drogden for en periode på 2 måneder i 2009.



Figur 5-12: Strømstyrken (m/s) ved bunden ved Drogden for en periode på 2 måneder i 2009.

På Figur 5-13 er strømroser for Drogden for 2009 angivet.



Figur 5-13: Strømroser for Drogden for 2009 – observationer til venstre og model til højre.

5.3.3 Verifikation af salinitet og temperatur

Til verifikation af salt- og temperaturforhold er der data fra 5 tyske bøger til rådighed, hvor Arkona er præsenteret i det efterfølgende og Kiel, Fehmern, Darss og Oder Bank er præsenteret i Bilag 1 ((NIRAS, 2013b). Der er foretaget observationer i forskellige dybder på de forskellige bøger, og der er observeret i forskellige perioder. I analysen er der fokuseret på observationer fra overfladelaget og bundlaget. Det er tilstræbt at benytte data fra den dybde, hvor der er den bedste tidlige repræsentation under hensyntagen til at både overflade- og bundlag er repræsenteret. I nærværende rapport er det valgt at fokusere på Arkona, da det er den station, der ligger tættest på Kriegers Flak.

Arkona

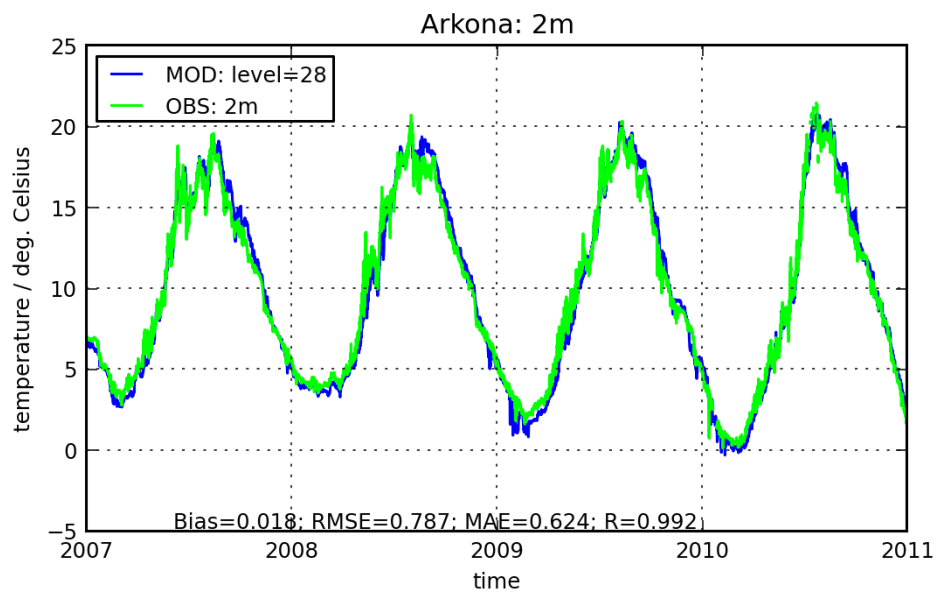
Der er foretaget observationer ned til en dybde på 43 m, hvilket er i god overensstemmelse med modelbathymetrien på 42.9 m. Resultater i Tabel 5-3 er baseret på data fra dybder på 7 m og 40 m.

	Variabel	Min	Max	Middel	Std. dev.
Observation	Salinitet (overflade)	6,9	10,9	7,9	0,5
Model		5,7	9,2	7,1	0,6
Observation	Salinitet (bund)	6,9	22,6	14,0	2,7
Model		6,7	23,0	12,5	2,2
Observation	Temperatur (overflade)	-0,3	23,8	9,7	5,8
Model		-0,4	23,3	9,6	6,2
Observation	Temperatur (bund)	-0,3	17,9	8,6	4,4
Model		-0,1	17,6	8,5	4,8

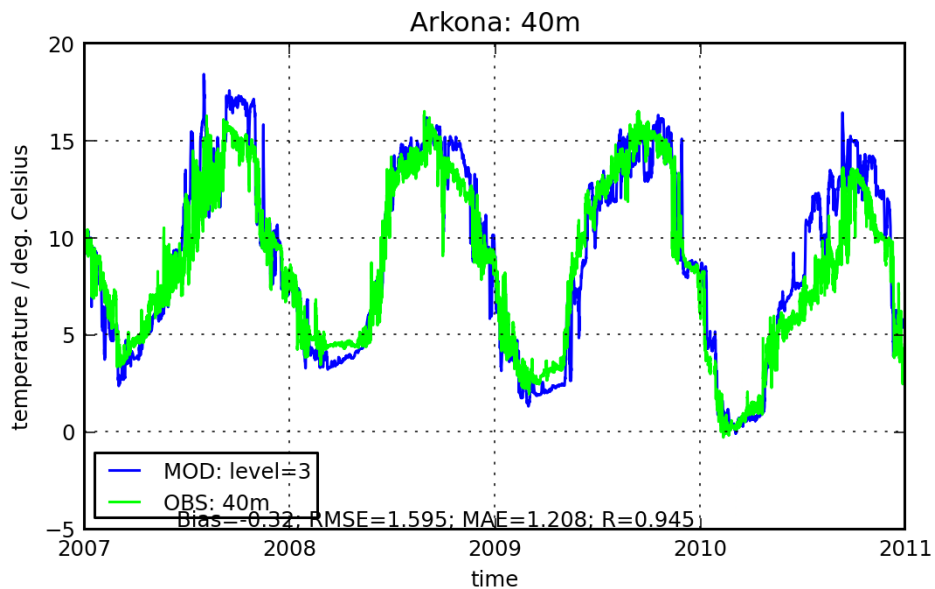
Tabel 5-3: Arkona: Statistik for salinitet (PSU) og temperatur (°C) ved overflade og bund for observationer og modelresultater. Der er benyttet timeværdier fra 2007-2012.

Af Tabel 5-3 ses, at der er en fin overensstemmelse mellem de statistiske parametre for simuleret og observeret salinitet. Der er en bias på 0,7 PSU for overfladen og 1,5 PSU for bunden. Det bemærkes, at standardafvigelsen er meget ens for både overflade og bund, og at standardafvigelsen er størst for bunden. For temperaturen gælder, at den statisti-

ske overensstemmelse er endnu bedre end for saliniteten. Dette skyldes sandsynligvis, at temperaturen er domineret af vertikale processer i forhold til horisontale – dvs. air/sea interaction dominerer over advektive processer. Dette gælder ikke for saliniteten. For Østersøen er nedbør og fordampning stort set i balance på årlig skala. Dvs. variationer i salinitet er næsten 100% domineret af advektive processer. Sammenholdes dette med, at den meteorologiske forcering er beskrevet med meget stor nøjagtighed, hvorimod ferskvandskilder (via floder) har betydelig større usikkerhed, giver det mening, at modellen er bedre til at beskrive temperatur end salinitet.

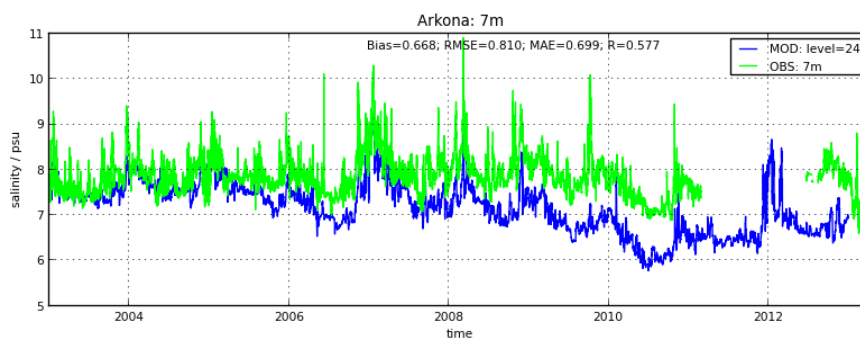


Figur 5-14: Observeret og simuleret overfladetemperatur (°C) i Arkona Bassinet.

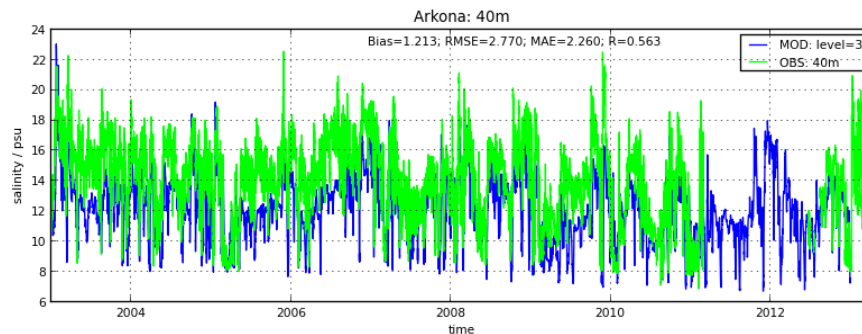


Figur 5-15: Observeret og simuleret bundtemperatur ($^{\circ}\text{C}$) i Arkona Bassinet.

Af Figur 5-14 og Figur 5-15 ses, at den forventede fine overensstemmelse mellem observerede og simulerede temperaturer er tydelig. For større dybder gælder, at advektive processer stiger i betydning, hvilket sandsynligvis forklarer den lidt dårligere statistik for bundlaget.



Figur 5-16: Observeret og simuleret overfladesalinitet (PSU) i Arkona Bassinet.



Figur 5-17: Observeret og simuleret bundsalinitet (PSU) i Arkona Bassinet.

Figur 5-16 og Figur 5-17 viser overflade- og bundsalinitet i Arkona Bassinet. For overfladelaget gælder, at der er en hvis drift. Dette skyldes sandsynligvis, at ferskvandstilførslen til Østersøen ikke er korrekt – dette stemmer også overens med, at model-saliniteten i den centrale Østersø driver, (Ulf Gräwe, personlig kommunikation). Det bemærkes, at der ikke er den samme drift i bundsaliniteten – hvilket er i overensstemmelse med, at dette salt har sin oprindelse i Nordsøen.

5.4 Bølger

5.4.1 Model set-up

Til simulering af de vindgenererede bølger er der anvendt *MIKE 21 SW*, som er en spectral vind-bølge model baseret på et ustruktureret modelnet. Med udgangspunkt i vindhastighed og –retning beregnes i hele modelområdet den signifikante bølgehøjde, bølgeperiode og bølgeretning med hensyntagende til følge:

- Bølgetilvækst som følge af vind
- Ikke-lineær bølge-bølge interaktion
- Energitab på grund af white-capping (bølgebrydning på åbent vand)
- Energitab på grund af bundfriktion
- Energitab på grund af bølgebrydning
- Refraktion og shoaling som følge af dybde variationer
- Bølger – strøm interaktion

Modellen dækker Østersøen fra syd for Lolland, sydlige Øresund inkl. Køge Bugt og mod nord til Finske Bugt/ Botniske Bugt, Figur 5-18.



Figur 5-18: Bølgemodelområde samt modelnet. Det gule polygon angiver forundersøgelsesområdet. Det grønne polygon centralt i havmølleparken angiver Energi-net.dk's friholdelsesområde omkring råstofområdet.

Modellen er drevet af vindfelter med en tidsligopløsning på 15 minutter, en horisontalopløsning på 1700 m og kalibreret mod målte bølgedata fra Baltic 2, Arkona og Darss.

For de tre målestationer er der målt og simuleret bølgedata sammenholdt for perioden 6. januar til 1. december 2012. Der er fundet en ganske god overensstemmelse mellem de to datasæt, se kvalitetsindeks i Tabel 5-4: . For nærmere beskrivelse henvises der til (NIRAS, 2013b).

Lokalitet	Baltic II			Darss		Arkona	
Quality Index	Hs	Tp	Hdir	Hs	Hdir	Hs	Hdir
RMS	0,21	0,62	18,01	0,26	47,55	0,18	28,05
Bias	-0,08	-0,34	12,80	-0,20	31,78	-0,04	17,08
AME	0,16	0,49		0,22		0,14	
CC	0,89	0,78	0,96	0,87	0,66	0,88	0,93
SI	0,21	0,14	0,09	0,27	0,23	0,23	0,16

Tabel 5-4: Modellerede bølgedata – kvalitetsindeks i middel for perioden 2012-06-01 til 2012-12-01 for signifikante bølgehøjder større end 0,5 m (Hs: signifikant bølgehøjde (m), Tp: peak bølgeperiode (sek.), Hdir: bølgeretning (grader)).

5.5 Metode til vurdering af potentielle påvirkninger på hydrografi

Vurderinger af påvirkninger er foretaget med udgangspunkt i "Vurderingsmetode - VVM af Kriegers Flak Havmøllepark" (NIRAS, 2013a).

Vurderingsmetoden beskriver, hvordan betydningen af projektets virkninger vurderes ved at sammenholde beskrivelser af aktiviteten eller kilden til påvirkning, typen af påvirkning og hvilken receptor, der er modtager af påvirkningen med en række kriterier for virkningens intensitet, vigtighed, sandsynlighed og varighed i henhold til VVM-Bekendtgørelsen. Ved kombination af disse fire faktorer nås frem til påvirkningsgraden.

Vurderinger af projektets virkninger omfatter potentielle påvirkninger i havmølleparkens tre faser; anlægsfasen, driftsfasen og afviklingsfasen. I indeværende rapport er der dog størst fokus på miljømæssige påvirkninger i driftsfasen, fordi såvel anlægsfasen som afviklingsfasen er korte i sammenligning med de tidskalaer, hvormed havmiljøet i Østersøen påvirkes.

Formålet med vurderingerne er desuden at foreslå mulige afværgeforanstaltninger. Ved afværgeforanstaltning forstås, at en forudsagt miljøeffekt kan undgås, mindskes eller kompenseres ved at gennemføre hensigtsmæssige ændringer i design, anlægsperiode eller driftsperiode.

Tabel 5-5: angiver dels en oversigt over hvilke begreber, der bruges for påvirkningsgrad, og dels en beskrivelse af, hvornår der forventes afværgeforanstaltninger for at mindske en given miljøpåvirkning.

Det er vigtigt at fastslå, at metoden aldrig kan stå alene, men skal suppleres med faglig viden og projektspecifikke vurderinger.

Påvirkningsgrad	Eksempler på dominerende effekter	Afværgeforanstaltning
Væsentlig påvirkning	Der forekommer påvirkninger, som har et stort omfang og/eller langvarig karakter, er hyppigt forekommende eller sandsynlige, og der vil være mulighed for irreversible skader i betydeligt omfang.	Påvirkning der anses for så alvorlig, at man bør overveje at ændre projektet eller gennemføre afværgeforanstaltninger for at mindske denne påvirkning.
Moderat påvirkning	Der forekommer påvirkninger, som enten har et relativt stort omfang eller langvarig karakter (f.eks. i hele anlæggets levetid), sker med tilbagevendende hyppighed eller er relativt sandsynlige og måske kan give visse irreversible, men helt lokale skader på eksempelvis bevaringsværdige kultur- eller naturelementer.	Påvirkning af en grad, hvor afværgeforanstaltninger overvejes.
Mindre påvirkning	Der forekommer påvirkninger, som kan have et vist omfang eller kompleksitet, en vis varighed ud over helt kortvarige effekter, og som har en vis sandsynlighed for at indtræde, men med stor sandsynlighed ikke medfører irreversible skader.	Påvirkning af en grad, hvor det er usandsynligt, at afværgeforanstaltninger er nødvendige.
Ubetydelig påvirkning og Neutral / uden påvirkning	Der forekommer småpåvirkninger, som er lokalt afgrænsede, ukomplicerede, kortvarige eller uden langtidseffekt og helt uden irreversible effekter. Eller der forekommer ingen påvirkning i forhold til status quo.	Påvirkninger der anses for så små, at de ikke er relevante at tage højde for ved implementering af projektet.

Tabel 5-5: Oversigt over sammenhængen mellem påvirkningsgrad og brug af afværgeforanstaltninger (NIRAS, 2013a).

Ud over ovennævnte begreber vurderes også kumulative effekter, hvorved forstås overvejelser om en samlet virkning (kumulation) af flere lignende projekter eller anlæg.

5.5.1 Kumulative effekter

Kumulative effekter akkumuleres gradvist over tid, og virker forstærkende på andre ting. De kumulative effekter kan være samspillet med andre udviklinger i området, således at man kan vurdere anlæggets miljømæssige påvirkning som en helhedsbetragtning i forhold til områdets miljømæssige bæreevne.

I forbindelse med vurderingen af de kumulative forhold skal ikke blot eksisterende forhold tages i betragtning, men også arealanvendelse og aktiviteter som følge af allerede eksisterende – udnyttede og u-udnyttede – tilladelser til projekter. De kumulative vur-

deringer inkluderer derfor de tyske havmølleparker Baltic I, som er etableret ca. 40 km SV for Kriegers Flak, og Baltic II, som er under konstruktion på Kriegers Flak. Planer om etablering af en havmøllepark på den del af Kriegers Flak er sat i bero, og projektet indgår derfor ikke i vurderingerne af de kumulative effekter.

5.5.2 Definition af worst case-scenarier til miljøvurderinger

Potentielle påvirkninger af de hydrografiske forhold vil være forårsaget af tilstedeværelsen af fundamenterne på havmøller og offshore transformerplatforme.

Det specifikke havmølleprojekt er endnu ikke projekteret. Derfor er miljøvurderingerne foretaget med udgangspunkt i en worst case-situation, der er det tekniske projekt, som vil medføre størst mulig miljøbelastning.

Der er vurderet på et worst case-scenarie med 200 (+3) stk. 3,0 MW havmøller. Dette begrundes med, at jo flere havmøller, jo større blokering af strøm og bølger og jo større bliver opblandingen af vandmasserne. Det forventes, at der bliver opstillet tre ekstra havmøller i forhold til kapaciteten på 600 MW (ved 3,0 MW, i alt 203 havvindmøller), således at der kan opretholdes en kapacitet på 600 MW – også selv om tre havmøller er ude af drift. Disse indgår ikke i modelleringen, fordi beslutningen om at tilføje ekstra havmøller i den tekniske projektbeskrivelse blev truffet, efter at simuleringerne var gennemført.

Møllefundamenter

Hvad angår møllefundamenter vurderes det, at gravitationsfundamenter og monopæle vil forårsage omtrent de samme påvirkninger på de hydrografiske forhold, fordi blokeringen af strøm og bølger og den forøgede opblanding, som fundamenterne forårsager, er i samme størrelsesorden. I simuleringerne er modstanden fra fundamenterne lagt ind i modellen som pælestrukturer med en diameter på 6 m for scenariet med 200 (+3) 3,0 MW havmøller. Ved gravitationsfundamenter er den nederste og brede del af fundamenterne delvist nedgravet, og de vil kun i mindre grad end monopælene give anledning til påvirkninger, fordi den største påvirkning forventes at ske i den øverste del af vand søjlen, hvor der er den største strømhastighed. Tværsnitsarealerne (arealet vinkelret på fundamentet, som vandet strømmer forbi) for en monopæl og et gravitationsfundament vil være af samme størrelsesorden. F.eks. vil en 6 m (diameter) monopæl på 20 m vand have et tværsnitsareal på 120 m², mens et typisk gravitationsfundament lig det der blev opført nord for Sprogø (3,0 MW havmølle) på 20 m vand ligeledes vil have et areal over havbunden på 120m² (bundplade med en diameter på 18 m til 1,55m over havbunden, et skaft med en diameter på 4,8 m og en ice cone med et areal på 3,7 m²).

Til vurderingen af havmølleparkens påvirkninger på bølgeklimaet er modstanden fra fundamentene lagt ind i modellen som pælestrukturer med en diameter på 6 m, da modelopløsningen i det planlagte mølleparkområde er ca. 100 m. Parametriseringen af fundamentene i bølgemodellen følger (DHI, 2012).

I den meteorologiske model er summen af den elektriske og turbulente energiproduktion fjernet fra vindhastighedens middelstrømning inden for havmølleparken i hvert tidskridt.

Metoden udtrykker således blot, at der fjernes energi fra middelstrømningen svarende til summen af vindenergiproduktionen og generering af turbulent energi.

Ud over den horisontale melding af energidrænet fra havmøllerne sker der en opblanding over 3 vertikale lag i hvert tidsskridt, hvilket approksimativt ækvivalerer rotorarealet og den opblanding, som turbulensen skaber målt over tidsskridtet under typiske forhold.

Det skal dog pointeres, at beregningen af energiproduktionen fra havmøller, som befinder sig i læ af andre møller, forudsætter, at opblandingen faktisk finder sted. I modsat fald bliver energiproduktionen overestimeret, og der fjernes reelt mere energi, end den en ufuldstændig opblanding skaber. Da man må forvente, at der i praksis ikke altid sker en fuldstændig opblanding, er det rimeligt at antage, at metoden overestimerer energidrænet.

Transformerplatforme

Der installeres to HVAC transformerplatforme i havmølleparken. Fundamentet for HVAC platformene er enten jacket eller hybrid.

Vurderingerne er foretaget på et scenarie, hvor der anvendes fundamenter af hybridtypen, fordi denne type platform har et større volumen end gravitationsfundamenter. En kasse på ca. 21 x 24 m og en højde, som omtrent dækker hele vanddybden, vil give den største påvirkning sammenlignet med jacketfundamenter, idet hybridtypen dækker det største areal og dermed giver størst blokering af vandgennemstrømning og bølger samt størst opblanding. Modelteknisk er dette håndteret ved, at der på de to positioner for transformerstationerne er indlagt en cirkulær struktur med en diameter på 30 m.

Da orienteringen af platformen ikke er kendt, regnes der konservativt, og derfor benyttes den største længde, svarende til 4 stk. 3,0 MV møller med monopæl diameter på 6 m. Højden på platformen betyder, at den stort set optager hele vanddybden. Den geometriske udformning på 'Hybrid' platformen betyder, at C_d (dragkoefficienten) er ca. dobbelt så stor som for en cylinder. Alt i alt betyder det, at et HVAC-fundament har samme effekt som ca. 8 stk. 3,0 MV havmøller med monopælfundament.

5.5.3 0-alternativet

For at kunne foretage en miljøvurdering er det nødvendigt med et sammenligningsgrundlag. I vurderingerne sammenlignes med 0-alternativet, der defineres som den situation, hvor havmølleparken ikke etableres.

6. Eksisterende forhold

6.1 Salinitet og lagdeling

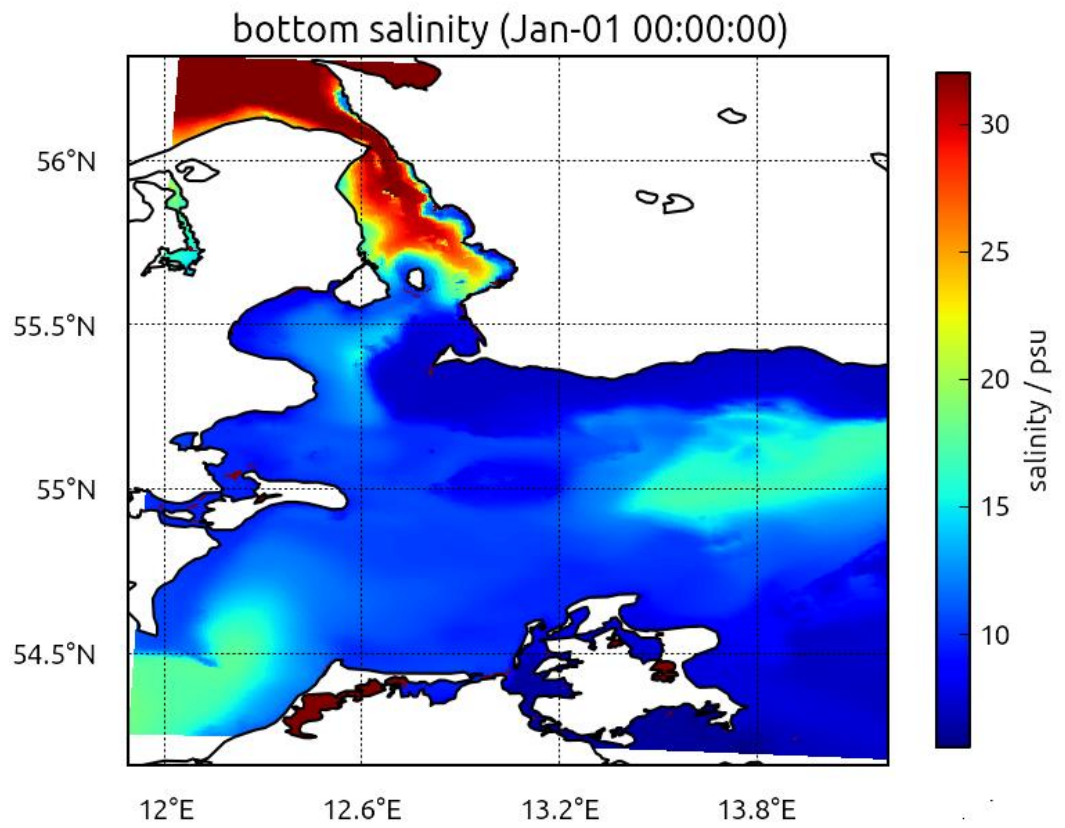
Kriegers Flak ligger centralt på transportvejen for vandudveksling (og tilhørende stoftransport) mellem Nordsøen og Østersøen. Tilførslen af salt (og ilt) fra Nordsøen er helt essentiel for det marine miljø i Østersøen, og ændringer i disse tilførsler kan have konsekvenser for miljøet i Østersøen på lange tidskalaer. Bundvandets karakteristika i Østersøen skyldes intermitterende tilførsel af vand med høj salinitet gennem Bælthavet. Den intermitterende karakter skyldes en lang række forskellige faktorer, som er observeret og beskrevet gennem mange år. Under et kaldes de 'Baltic Inflows' (se f.eks. Reissmann, et al., (2009) samt referencer heri).

Ferskvandsoverskuddet for Østersøen passerer også forbi Kriegers Flak på sin vej nordpå gennem Bælthavet. Dette vand er karakteriseret ved lav salinitet og vil derfor typisk foregå som en overfladestrøm.

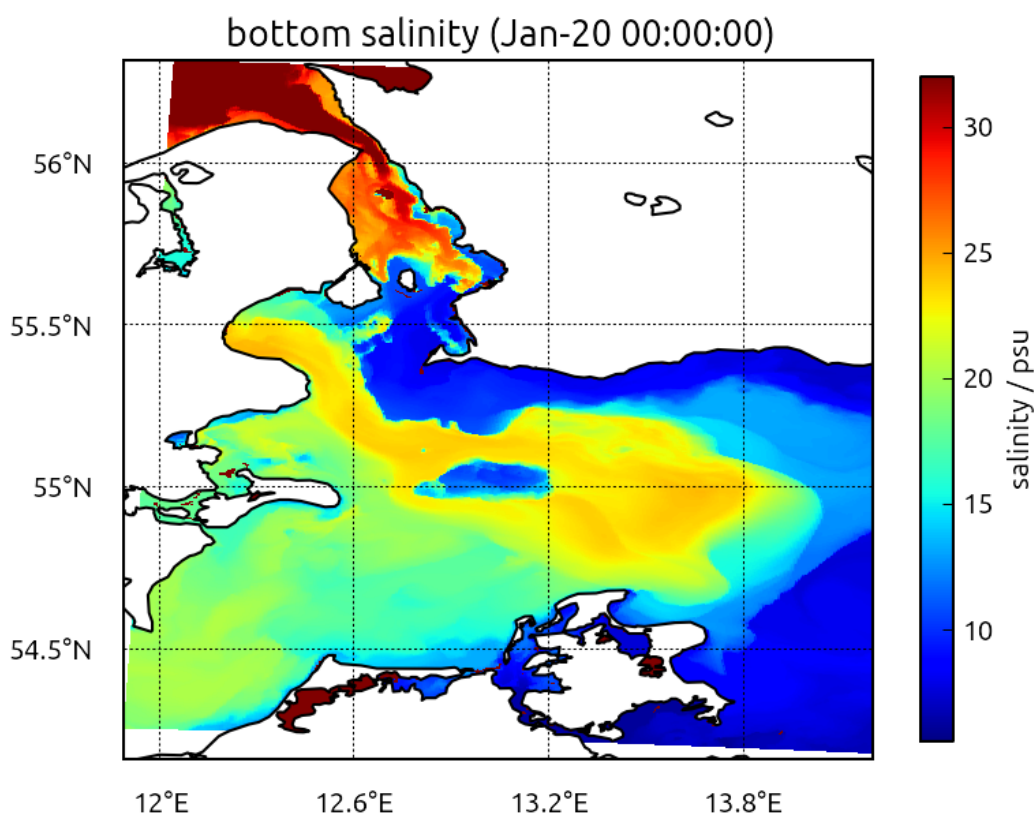
Indstrømning af højsalint vand manifesterer sig ved såkaldte tunge bundstrømme, hvorunder de rigtige forhold, vand med høj salinitet, presses sydpå ned gennem Kattegat og videre ind i Øresund, Storebælt (og i mindre grad Lillebælt), indtil det støder på fysiske barrierer ved henholdsvis Drogden (ca. 7 m dyb) og Darss (ca. 15 m dyb). Hvis ophobningen af højsalint vand bliver stor nok, vil vandet, som er tungt, til sidst strømme over Drogden og Darss og fortsætte som en tung bundstrøm videre ind mod Østersøen.

Specielt tunge bundstrømme gennem Øresund har en tendens til at løbe nord om Kriegers Flak og hvis de er tilstrækkeligt kraftige helt omslutte flakket (Burchard, et al., 2005). Dette skyldes Kriegers Flaks bathymetri. Flakket har en vandybde på omkring 20 m som mod vest er afgrænset af ca. 30 m dybt vand og mod nord, syd, øst med ca. 40 m dybt vand. Det betyder, at hvis tykkelsen af det højsaline bundlag ikke når op til ca. 20 m under havoverfladen, vil Kriegers Flak ikke blive direkte berørt af indstrømninger af højsalint bundvand. Som et eksempel på den vertikale saltfordeling se Figur 5-4.

På Figur 6-1 og Figur 6-2 er vist simuleret bundsalinitet i området omkring Kriegers Flak for henholdsvis 1. og 20. januar 2003. Som det tydeligt ses, er der på disse blot 20 dage sket en total forandring af forholdene. Fra en situation den 1. januar 2003, hvor størstedelen af den vestlige Østersø var karakteriseret af saliniteter på omkring 10 PSU, var der for dybder større end ca. 25 m den 20. januar 2003 omkring 20 PSU. Det bemærkes, at på selve flakket er saliniteten stort set uændret. Dette er omtalt nærmere i afsnit 7.2, hvor påvirkninger i driftsfasen undersøges.



Figur 6-1: Bundsaliniteten (PSU) i området ved Kriegers Flak den 1. januar 2003. Bemærk at højsalint vand kun findes nord for Drogden og i mindre grad vest for Gedser.



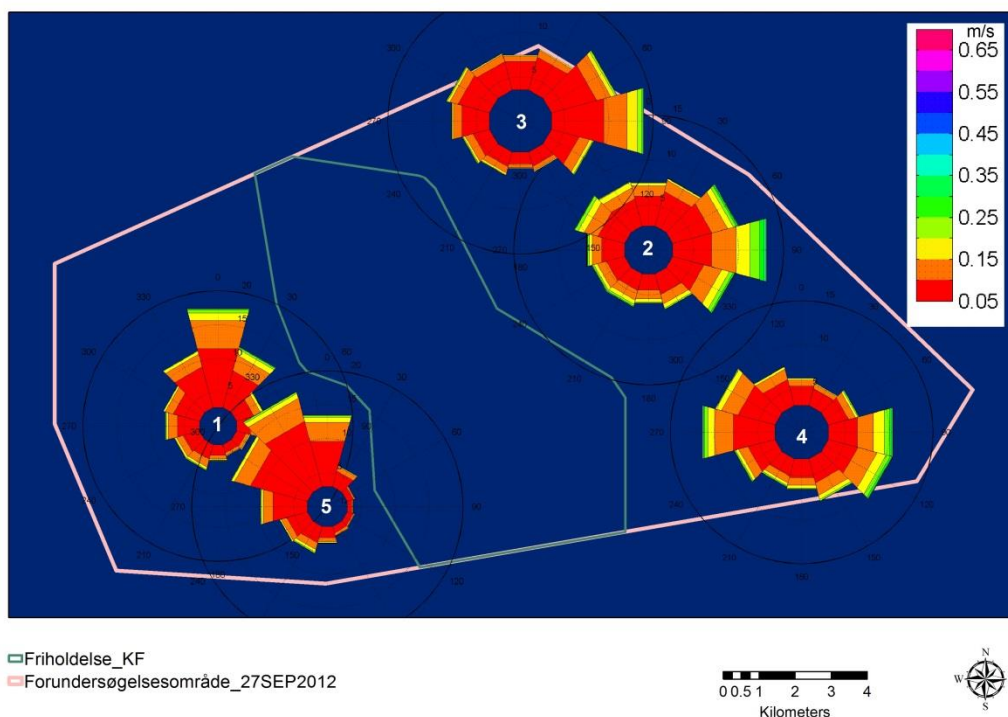
Figur 6-2: Bundsaliniteten (PSU) i området ved Kriegers Flak den 20. januar 2003. I modsætning til den 1. januar 2003 (Figur 6-1) er der nu områder med saliniteter på over 20 PSU i store dele af området. Bemærk også, at bundsaliniteten på Kriegers Flak (den blå 'ø' i det højsaline område) er stort set upåvirket af saltvandsindbruddet.

6.2 Strøm

Strømmen henover flakket varierer som funktion af vanddybden og positionen. Den dybdemidlede simulerede strømhastighed overstiger under normale forhold ikke 0,4 m/s. I situationer med kraftig vind kan strømmen dog nå op til 0,9 m/s i overfladen, 0,52 m/s ved bunden og i middel over dybden 0,66 m/s. I 98% af tiden er strømhastigheden under 0,25 m/s.

Variationen i strømrretning og -hastighed i forundersøgelsesområdet på Kriegers Flak er illustreret på Figur 6-3 for fem udvalgte positioner, der er fordelt, så de repræsenterer de forskellige dybdeforhold og eventuelle horisontale variationer. I den vestlige del af forundersøgelsesområdet dominerer de nordlige retninger, mens der er en fremher-

skende vestlig strøm i den nordøstlige del, og den sydøstlige del af området er præget af både østlig og vestlig strøm.

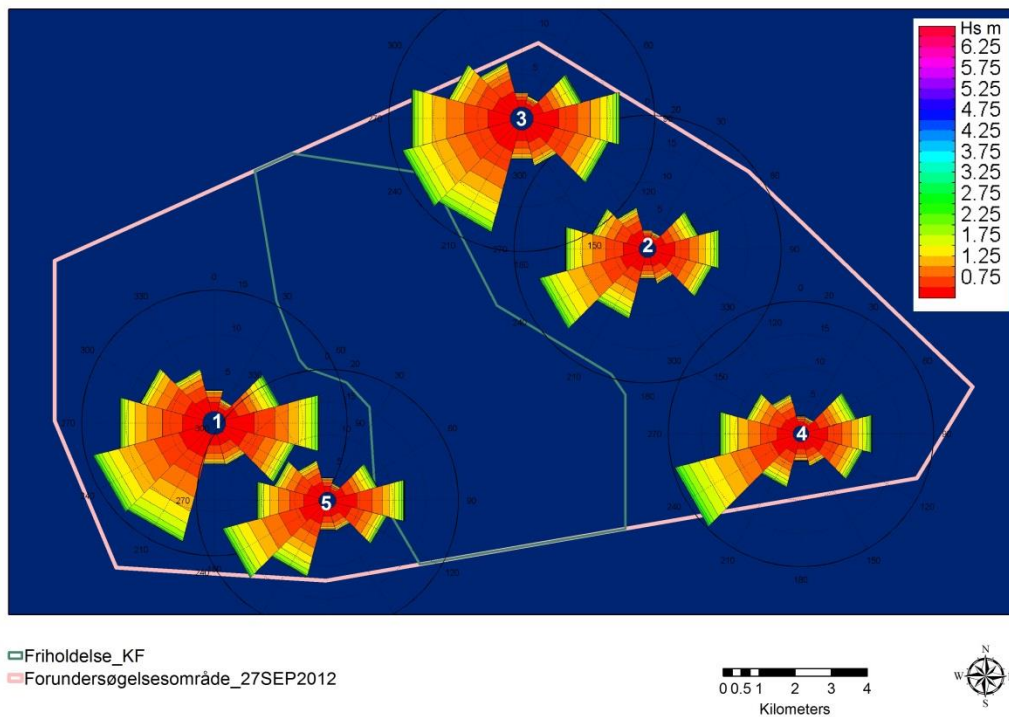


Figur 6-3 Forundersøgelsesområdet på Kriegers Flak med markering af strømroser over en 10-årig periode på fem udvalgte positioner. Det lyserøde polygon viser forundersøgelsesområdet, og det lyseblå polygon centralt i forundersøgelsesområdet angiver Energinet.dk's restriktionsområde omkring råstofområdet.

6.3 Bølger

I mere end 50% af tiden er den simulerede signifikante bølgehøjde på Kriegers Flak mindre end 0,79 m; om vinteren er den signifikante bølgehøjde 0,95 m og om sommeren 0,63 m. Den dominerende bølgeretning er sydvest mere end 20% af tiden efterfulgt af bølger fra øst med 14% af tiden (Figur 6-4). Sidstnævnte bidrager med den største andel af bølge over 3 m givet af det større fetch. Bølger over 2 m forekommer i 3% af tiden og for 1 m i 30% af tiden. Variationen i bølgeklimaet over forundersøgelsesområdet er beskeden og ligger inden for +/-0.1 m for de betragtede fem positioner.

Bølgeperioderne er korte og afspejler, at de er vindgenererede. Dønninger forekommer sjældent og da kun for signifikante bølgehøjder mindre end 0,5 m. De højeste signifikante bølgehøjder i den 10-årige periode ligger omkring 5 m og den 50 årige signifikante bølgen er estimeret til 5,5 m.



Figur 6-4 Forundersøgelsesområdet på Kriegers Flak med markering af bølgeroser over en 10-årig periode for fem udvalgte positioner. Det lyserøde polygon viser forundersøgelsesområdet, og det lyseblå polygon centralt i forundersøgelsesområdet angiver Energinet.dk's restriktionsområde omkring råstofområdet.

7. Vurderinger af påvirkninger

7.1 Anlægsfasen

7.1.1 Salinitet og lagdeling

Det forventes ikke, at der vil være nogen påvirkning af forhold vedr. salinitet og lagdeling i anlægsfasen, da det udelukkende er havmøllernes fundamenter, der giver anledninger til ændringer. Mulige ændringer vil være størst i slutningen af anlægsfasen, hvor der er opstillet flest havmøller, og ændringerne er dermed sammenlignelige med ændringerne i driftsfasen. Det forventes ikke, at der vil kunne detekteres ændringer i den korte tid, anlægsfasen varer.

7.1.2 Strøm og bølger

Det forventes ikke, at anlægsaktiviteterne vil have nogen indvirkning på bølgeklimaet og/eller vandgennemstrømningen gennem Bælthavet og på vandmiljøet i Østersøen. Dette skyldes, at de ændringer i opblandingen, der kan ske, er meget små, og skal virke over meget lang tid for at kunne have en effekt i Østersøen og i lokalområdet på Kriegers Flak.

7.2 Driftsfasen

7.2.1 Salinitet, lagdeling og vandtransport gennem Bælthavet

Det er undersøgt, om havmølleparken vil forårsage ændringer i bundsaliniteten i et tværsnit i Arkona Bassinet, som det tunge bundvand passerer på vej ind i den centrale Østersø. Ændringer i blandingsforholdene mellem det højsaline bundvand og det mindre salte overfladevand på grund af havmølleparken vil komme til udtryk i fordeling af det salte vand, der transporteres ind i Østersøen.

Denne analyse er kompliceret, idet der vil forekomme variationer i saliniteten, som ikke nødvendigvis skyldes tilstedeværelsen af havmølleparken, men udelukkende, at positionen af en hvirvel til et givet tidspunkt er lidt forskellig mellem de to modelkørsler. Der er derfor fortaget en statistisk analyse, som fokuserer på specielt fordelingen af de høje saliniteter og eventuelle forskelle mellem de to modelkørsler.

Den vertikale salinitetsfordeling på Kriegers Flak er et resultat af ferskvandstilførslen fra Østersøen, tilførslen af salt fra Nordsøen, samt den blandingsenergi fra bølger, variationer i bathymetri, blokeringer osv., der er til rådighed.

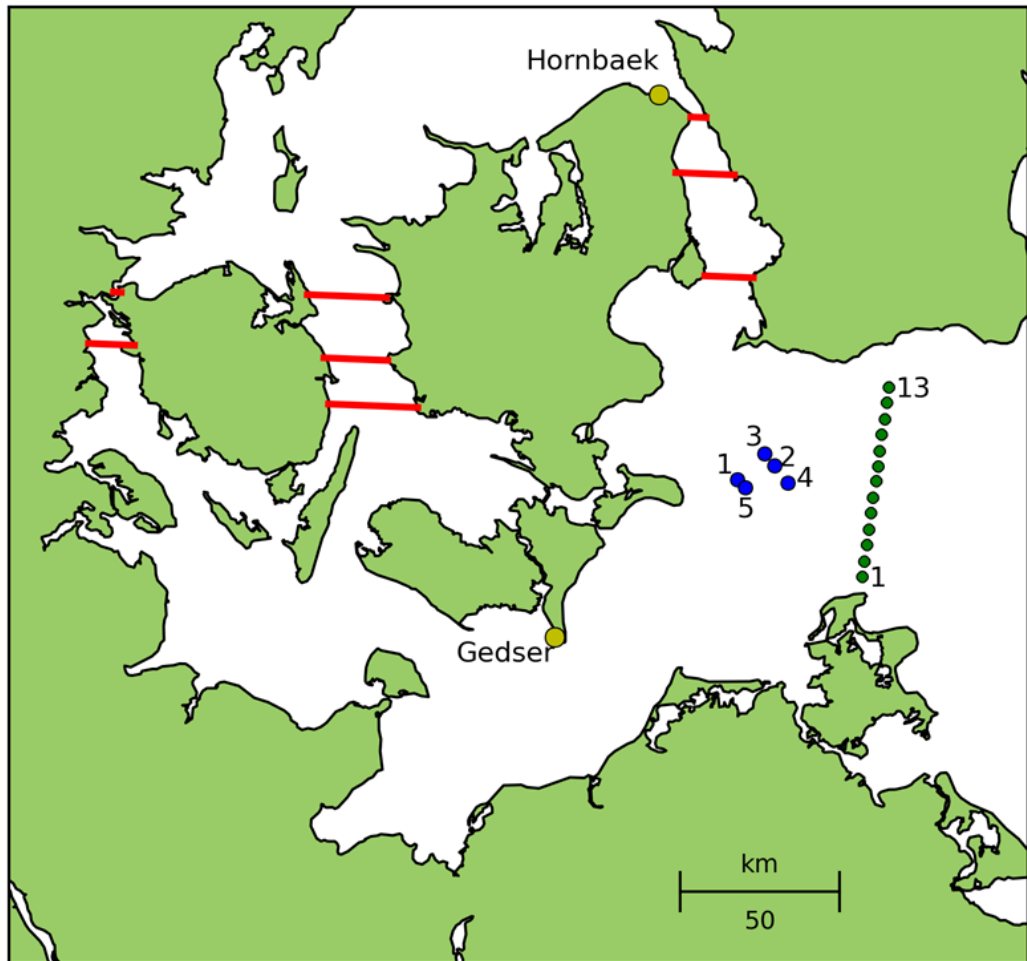
Det er undersøgt, om vandtransporten gennem Bælthavet ændres af tilstedeværelsen af havmøllerne. I tilfælde af, at vandtransporten ikke ændres, vil eventuelle ændringer i

den vertikale salinitetsfordeling stamme fra den introducerede ekstra blandingsenergi på grund af havmølleparken. Dette forudsætter dog, at vandet på flakket er lagdelt. Hvis den vertikale salinitetsfordeling på Kriegers Flak er homogen, vil yderligere blandingsenergi ikke ændre på forholdene.

Blokering af vandtransport gennem Bælthavet

Blokeringseffekten fra havmøllernes fundamenter er vurderet ved at sammenligne vandtransporten gennem Bælthavet i referencekørslen med vandføringen, når havmølleparken er inkluderet.

I forbindelse med den hydrodynamiske modellering er data gemt for hver time for den lokale dybdemidlede hastighed (u,v) langs et antal transekter. Til beregning af vandføring er der brugt et antal transekter: Tre for Storebælt, tre for Øresund og to for Lillebælt, se Figur 7-1. For hvert transekt integreres (dybdemidlet) strømhastighed gange vanddybde over transektets bredde til en samlet nordgående vandføring (m^3/s) for transektet. For hvert bælt beregnes middelværdien over de to eller tre transekter for bæltet. Endelig summeres vandføringerne for de tre bæltter til en samlet øjeblikkelig vandføring gennem stræderne.



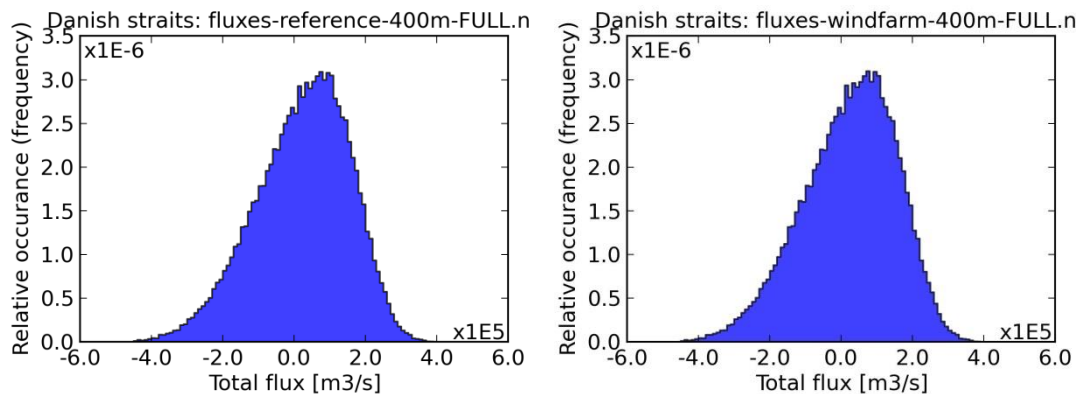
Figur 7-1 Placering af transekter til konsekvensberegning vedr. vandføring (røde linjer); datapunkter til konsekvensberegninger på Kriegers Flak (blå cirkler); og til konsekvensberegning på salinitet/indstrømning til Østersøen (grønne cirkler). Tidvandsstationer (gule cirkler).

Middelværdi og spredning af vandføringen er udregnet fra de øjeblikkelige værdier hver time gennem 10-års simulering, se Tabel 7-1. Det ses, at middelværdi og spredning har en relativt stor årlig variation: De årlige middelværdier varierer med i størrelsesordenen plus/minus 20-30%. Til sammenligning er middelvandføringen over ti år ændret med mindre end 0.02% i havmøllepark-set-up i forhold til referencekørslen. Denne ændring i middelvandføring er negligeabel og kan lige så godt tilskrives tilfældigheder (forskellige udfald af den samme stokastiske proces) som tilstedeværelsen af en havmøllepark. Det bemærkes i øvrigt, at vandføringen for beregningerne inkl. møllepark har en svagt højere spredning (og dermed tilsvarende højere varians) end referencekørslen. Dette indikerer, at møllerne ikke vil reducere den overordnede vandudveksling mellem Østersøen og det nordlige Kattegat.

Fordelingen af vandføringen er undersøgt i nærmere detaljer, se Figur 7-2. Der ses ingen markant forskel på den statistiske fordeling af vandføringen i de to scenarier.

Reference-set-up								
	Storebælt		Øresund		Lillebælt		Total	
	Middel	Std. dev.	Middel	Std. dev.	Middel	Std. dev.	Middel	Std. dev.
2003	8.215,0	84.244,9	6.915,6	35.993,9	1.222,6	15.465,8	16.353,3	130.090,3
2004	12.605,4	88.607,7	9.200,9	37.445,2	1.955,2	15.977,5	23.761,6	136.469,8
2005	15.358,8	85.012,7	9.863,6	35.749,1	2.148,3	15.354,4	27.370,7	130.760,3
2006	1.0087,7	77.071,4	7.902,1	32.350,7	1.409,5	14.669,4	19.399,3	11.8127,2
2007	11.300,7	93.216,9	7.810,5	39.611,3	1.882,1	16.446,9	20.993,3	14.3218,3
2008	15.260,9	89.173,4	8.546,9	37.955,6	2.128,6	16.013,7	25.936,5	137.994,5
2009	14.315,4	80.802,9	8.987,3	34.621,4	2.081,2	15.005,9	25.383,8	125.146,9
2010	11.922,7	79.945,9	10.015,9	33.054,6	1.730,5	15.157,1	23.669,1	122.761,5
2011	7.533,8	88.842,6	6.024,6	38.234,6	1.138,9	15.993,3	14.697,4	137.497,2
2012	13.828,8	85.022,8	8.751,9	35.578,1	1.982,8	15.652,1	24.563,5	130.527,3
Alle	12.043,9	85.365,2	8.402,2	36.146,7	1.768,1	15.586,6	22.214,2	131.528,7
Havmøllepark-set-up								
	Storebælt		Øresund		Lillebælt		Total	
	Middel	Std. dev.	Middel	Std. dev.	Middel	Std. dev.	Middel	Std. dev.
Alle	12.044,7	85.367,76	8.399,6	36.146,1	1.766,8	15.586,8	22.211,1	131.530,3

Tabel 7-1: Statistik (middelværdi og standardafvigelse) for vandføring gennem de danske stræder 2003-2012 for reference-set-up og havmøllepark-set-up for hvert af de danske bæltter og samlet. Alle tal er i enhed (m³/s).



Figur 7-2 Fordeling af vandføring (histogram) for ti år simulering for reference-set-up (venstre) og havmøllepark-set-up (højre).

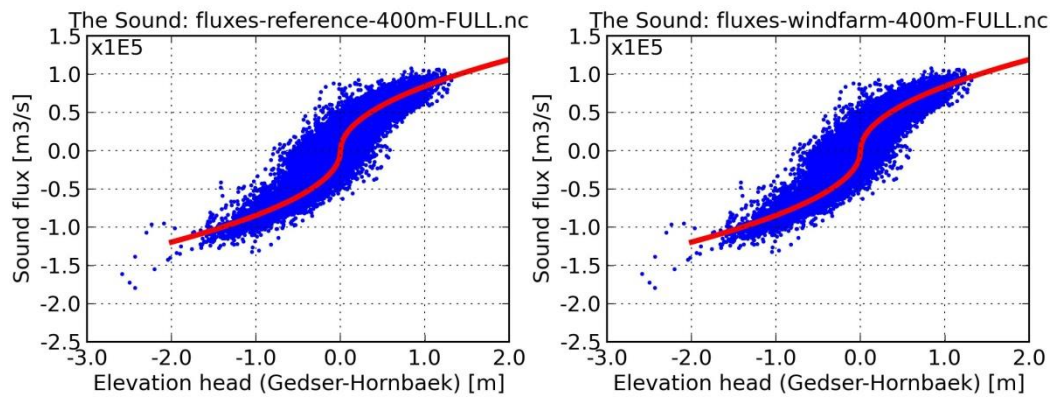
Beregning af modstandstal

Til kvantificering af vandføring og modstand i de danske bæltter bruges ofte den såkaldte Gedser-Hornbæk-relation, som er et specialtilfælde af Mannings formel:

$$\Delta h = K_f \cdot Q \cdot |Q|$$

I Gedser-Hornbæk-relationen betegner Δh vandstandsforskellen mellem Gedser og Hornbæk og Q vandføringen (positiv nordgående, ud af Østersøen). Det bemærkes, at formlen langt fra er eksakt, og kun bør bruges approksimativt og i begrænset omfang. Konkret uddrages vandføring (Q) og vandstands forskel (Δh) af modelresultaterne – for hver simuleret time. Data afsættes i et scatter-plot, se Figur 7-3, og mindste kvadraters metode bruges til at bestemme den bedste værdi for modstandstallet K_f baseret på de konkrete modeldata.

Figur 7-3 viser typiske scatter-plot med sammenhørende værdier af Q og Δh (blå datapunkter). Med rød streg er vist Gedser-Hornbæk-relationen med den K_f , som er fundet ved mindste kvadraters metode på datasættet. I Tabel 7-2 er vist beregnet K_f for hvert af de tre bæltter og samlet. For referencekørslen ses det, at der er nogen variabilitet fra år til år. Over ti års simulering ses der ingen signifikant forskel på beregnet modstand i bæltterne for simuleringerne med - og uden havmølleparken i de undersøgte områder, jf. Figur 7-1.



Figur 7-3 Eksempel på beregning af modstandstal (Gedser-Hornbæk-relationen) for Øresund over ti års simulering. Scatter-plot over beregnede vandføringer sammen med vandstandsfor-skel mellem Gedser og Hornbæk. Reference-set-up (venstre) og havmøllepark- set-up (højre). For begge simuleringer beregnes $K_f=1.405e-10 \text{ s}^2/5^3$.

Reference-set-up				
År	Storebælt	Øresund	Lillebælt	Total
2003	2,110e-11	1,457e-10	6,387e-10	9,843e-12
2004	2,027e-11	1,394e-10	6,493e-10	9,319e-12
2005	2,011e-11	1,404e-10	6,491e-10	9,354e-12
2006	2,024e-11	1,488e-10	5,688e-10	9,794e-12
2007	1,880e-11	1,313e-10	6,375e-10	8,791e-12
2008	2,003e-11	1,308e-10	6,726e-10	9,059e-12
2004	2,027e-11	1,394e-10	6,493e-10	9,319e-12
2005	2,011e-11	1,404e-10	6,491e-10	9,354e-12
2006	2,024e-11	1,488e-10	5,688e-10	9,794e-12
2007	1,880e-11	1,313e-10	6,375e-10	8,791e-12
2008	2,003e-11	1,308e-10	6,726e-10	9,059e-12
2009	2,332e-11	1,497e-10	6,603e-10	10,49e-12
200	2,364e-11	1,624e-10	6,716e-10	10,79e-12
2011	2,105e-11	1,354e-10	6,955e-10	9,507e-12
2012	2,027e-11	1,393e-10	6,109e-10	9,348e-12
Alle	2,068e-11	1,405e-10	6,473e-10	9,525e-12
Havmøllepark-set-up				
	Storebælt	Øresund	Lillebælt	Total
Alle	2,068e-11	1,405e-10	6,474e-10	9,525e-12

Tabel 7-2: Beregnet modstandstal (K_f) for vandføring gennem de danske stræder 2003-2012 for reference-set-up og havmøllepark-set-up for hvert af de danske bæltter og samlet. Alle tal er i enhed [s^2/m^5].

Påvirkning af saliniteten i den vestlige Østersø

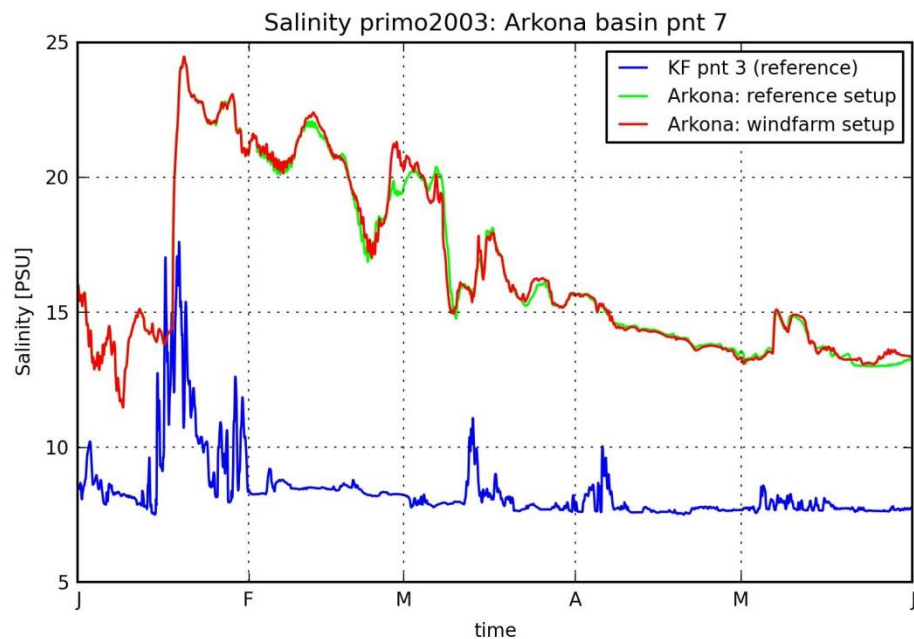
For at undersøge effekten på salttilførslen til Østersøen, udtages modeldata fra en række punkter på tværs af Arkona Bassinet, se grønne punkter på Figur 7-1. A priori forventes det, at der kan være en del variation i saliniteten, såvel mellem referencekørsel og havmøllepark-set-up, som mellem nabopunkter. Dette skyldes, at hvirvler på skala med den interne Rossby radius (et par kilometer for dette område) optræder stokastisk. Det vil sige, at de konkrete placeringer af hvirvler til et bestemt tidspunkt ikke kan bestem-

mes præcist. Netop fordi den konkrete modelopsætning er nøjagtig nok til at medtage disse hvirvler og deres afledte effekter, vil der være et element af tilfældighed i resultaterne. Hvis præcist den samme model køres to gange med præcist den samme forcering og med kun svagt forskellige initial-betingelser, så vil hvirvlerne ikke nødvendigvis optræde på nøjagtigt samme sted og tid i de to kørsler. Selv om hvirvlerne i de to kørsler følger samme stokastiske proces, vil der være tale om to (uafhængige) udfald af processen.

For at undersøge påvirkningen fra Kriegers Flak Havmøllepark af tilstrømningen af salt til Østersøen, er der udvalgt en række punkter med 5 km's mellemrum over et tværsnit på 60 km af den dybere del af Arkona Bassinet, se Figur 7-1. Punkterne 1 og 13 er placeret på "kanterne" af bassinet, hvor der er ca. 34 m dybt, mens der for de øvrige punkter (2-12) er dybder på mellem 42 m og 47 m. Vand med høj salinitet passerer forbi dette tværsnit på vej ind i Østersøen, og tværsnittet kan derfor bruges som indikator for ændringer i tilstrømningen af højsalint vand.

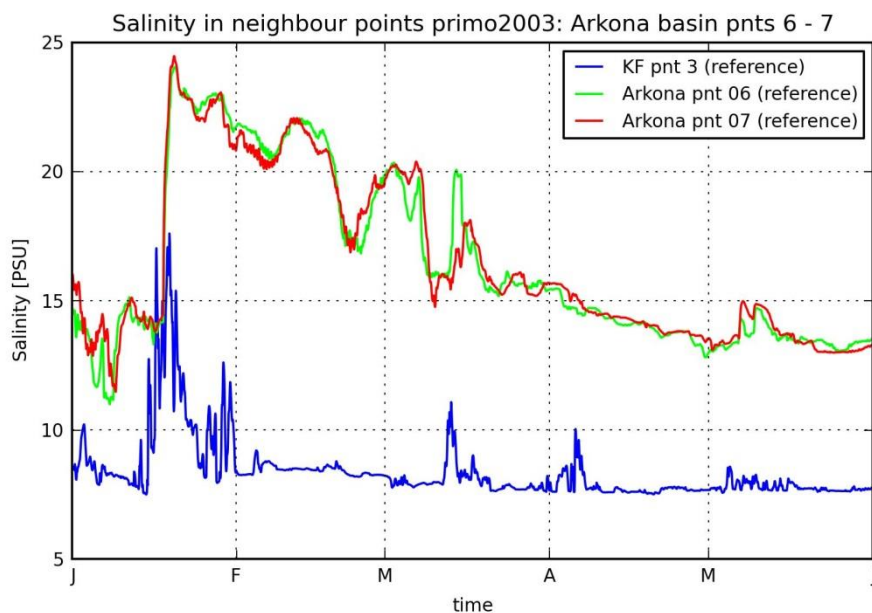
Enkelthændelser – indbrud af salt til Østersøen

Det kraftigste saltindbrud til Østersøen i perioden 2003-2012 fandt sted i januar 2003. og viser bundsalinitet i Arkona Bassinet (pkt. 7,) sammenholdt med bundsaliniteten på Kriegers Flak (pkt. 3) i første del af 2003. Punkterne er valgt efter maksimal salinitet. Det bemærkes umiddelbart, at de højeste saltkoncentrationer på Kriegers Flak er ca. 5 PSU lavere end de højeste i Arkona Bassinet. Med andre ord, er de tungeste saltklasser slet ikke passeret over Kriegers Flak, og bliver derfor ikke blandet af havmølleparken, hvilket også fremgår af Figur 6-1 og Figur 6-2. På Figur 7-4 kan det bemærkes, at der er forskel på reference- og havmøllepark-situationerne, også for saltklasser, som ikke forekommer på Kriegers Flak, f.eks. $S > 19$ PSU. Disse forskelle skyldes, at reference-situationen og situationen med havmøllepark hver repræsenterer et udfald af en stokastisk proces, og at de stokastisk betingede hvirvler kan være placeret forskelligt i de to tilfælde. Det bemærkes af figuren, at der ikke er en ensidig trend mod f.eks. lavere bundsalinitet i havmøllepark-kørslen i forhold til reference-kørslen.



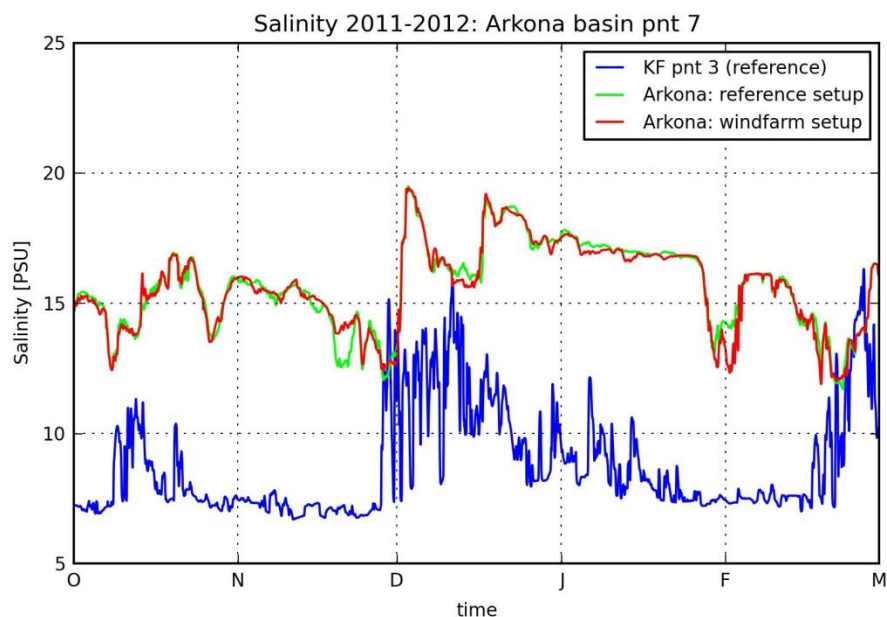
Figur 7-4 Bundsalinitet (2m over bund) (PSU) for Arkona pkt. 7 (reference-set-up og havmøllepark-set-up) og for Kriegers Flak pkt. 3 (se Figur 7-1) for perioden 1./1.-2003 til 1./5.-2012.

Figur 7-5 viser, som et eksempel på den store variabilitet, bundsaliniteten i to nabopunkter i Arkona Bassinet. Sammenlignet med Figur 7-4 ses det, at der er betydeligt større variabilitet mellem to nabopunkter inden for den samme kørsel (reference set-up) end mellem de to forskellige set-up (reference og havmøllepark). I det konkrete tilfælde er der en forskel på op til 3.58PSU på bundsalinitet i de to punkter, som er adskilt af blot 5 km og ligger i nogenlunde den samme dybde.



Figur 7-5: Bundsalinitet (2 m over bund) (PSU) for Arkona nabopunkter pkt. 6 og pkt. 7 (reference-set-up) og for Kriegers Flak pkt. 3 (se Figur 7-1) for perioden 1./1. 2003 til 1./6. 2012.

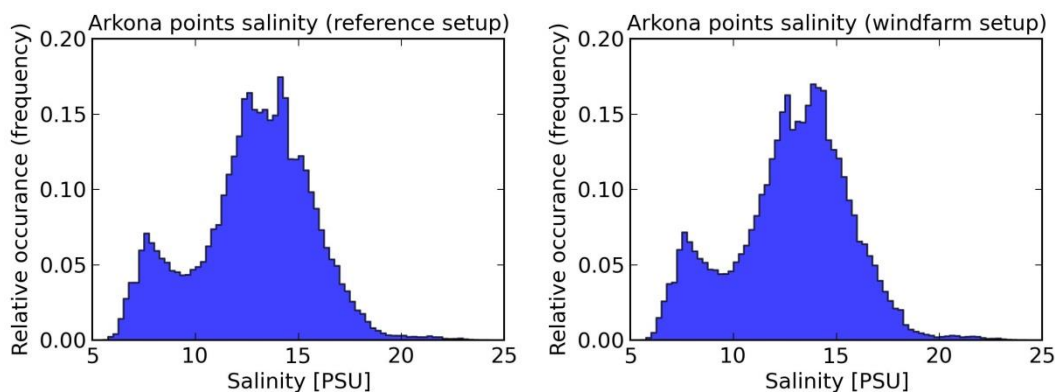
I slutningen af 2011 og starten af 2012 var der en periode med en række mindre saltindstrømninger til Østersøen. Tidsserier af saliniteten på Kriegers Flak og Arkona Bassinet er givet på Figur 7-6. Det bemærkes, at de maksimale saliniteter i Arkona Bassinet er betydeligt lavere end for det store indbrud i januar 2013 (Figur 7-4 og Figur 7-5). Indbruddene illustreret på Figur 7-4 og Figur 7-5 er vigtige for økologien i Østersøen, men vil ikke være medvirkende til at ventilere de dybeste bassiner. Denne type indbrud forekommer hyppigere end de meget kraftige indbrud, og det er problematisk, hvis bygningen af mølleparken resulterer i forringelse af disse indbruds effekt. I Figur 7-6 er der dog ikke tegn på, at det anvendte havmøllepark-set-up har lavere maksimal salinitet for denne type indbrud end det er tilfældet i reference-kørslen.



Figur 7-6: Bundsalinitet (2m over bund) (PSU) for Arkona pkt. 7 (reference-set-up og havmøllepark- set-up) og for Kriegers Flak pkt. 3 (se Figur 7-1) for perioden 1./10. 2011 til 1./3. 2012.

Statistik og maksimal salinitet

For mere præcist at vurdere, om havmølleparken vil påvirke saliniteten af det indstrømmende vand i Østersøen, er det nødvendigt at sammenligne statistiske parametre for de to set-ups (eksisterende forhold (reference) og en situation med havmølleparken).



Figur 7-7: Salinitetsfordeling (PSU) 2 m over bunden i Arkona. Data for de 10 års simulering og 13 punkter i Arkona Bassinet. Reference-set-up (venstre) og havmøllepark-set-up (højre).

Figur 7-7 viser fordelingen af salinitet nær bunden i de 13 punkter vist som histogram. Data er udtaget for hver time og for hvert af de 13 punkter over alle de ti års simulering. Figurerne viser en tydelig top (høj frekvens) nær 8 PSU, hvilket svarer til overfladevand, dvs. velblandede forhold. Dette optræder oftest ved det nordligste punkt (markeret med "13" i Figur 7-1), idet det dybereliggende indstrømmende vand tvinges mod syd af Coriolis-effekten. Den kraftigste top (hyppigst forekommende salinitet) for både reference- og havmøllepark-kørsler er dog i intervallet 12-16PSU. Der er nogen forskel på histogrammerne i dette område, men det tilskrives den statistiske variabilitet inden for hver af de to set-ups stokastiske fordeling. Der er for dette område tale om for området almindeligt forekommende værdier, som ikke er af særlig interesse for indstrømning af højsalint vand. Som omtalt ovenfor er ventilering af de dybere dele af Østersøen primært afhængig af de højere saliniteter, f.eks. >17 PSU. Derfor er det den "lange hale" af sjældent forekommende høje saliniteter, som er af interesse og som bør sammenlignes. Forskellen for de høje saltklasser fremgår ikke tydeligt af Figur 7-7 Derfor er de højeste saliniteter udregnet.

I Tabel 7-3 ses det, at der ikke er store forskelle mellem percentilerne for havmøllepark- og referencekørslerne. Der er en tendens til en lidt højere forekomst af højsalint vand i havmøllepark-set-up for percentilerne 95,000% - 99,935% (op til S=22.839 PSU), men en lidt lavere forekomst for de allerøverste saltklasser (over 99,935% eller 22,8 PSU). Der er dog tale om meget små forskelle, som kan relateres til meget få enkelt-hændelser, og som næppe er statistisk signifikante. For at understrege dette forhold, er der opregnet, hvor mange timer (over 10 års simulering), at bundsaliniteten i hvert punkt i Arkona Bassinet overskrider de høje saltklasser 23,0, 23,5 og 24,0 PSU. Det ses, at der dels er tale om få døgn, og især at forskellen i forekomst mellem de to kørsler maksimalt er fire (4) timer, hvilket ikke kan betegnes som signifikant (Tabel 7-4).

Percentil	Salinitet	
	Reference	Havmøllepark
95,000	17,0	17,0
97,500	17,8	17,8
99,000	19,0	19,0
99,500	20,5	20,7
99,900	22,5	22,5
99,935	22,8	22,8
99,950	23,0	23,0
99,990	23,8	23,7

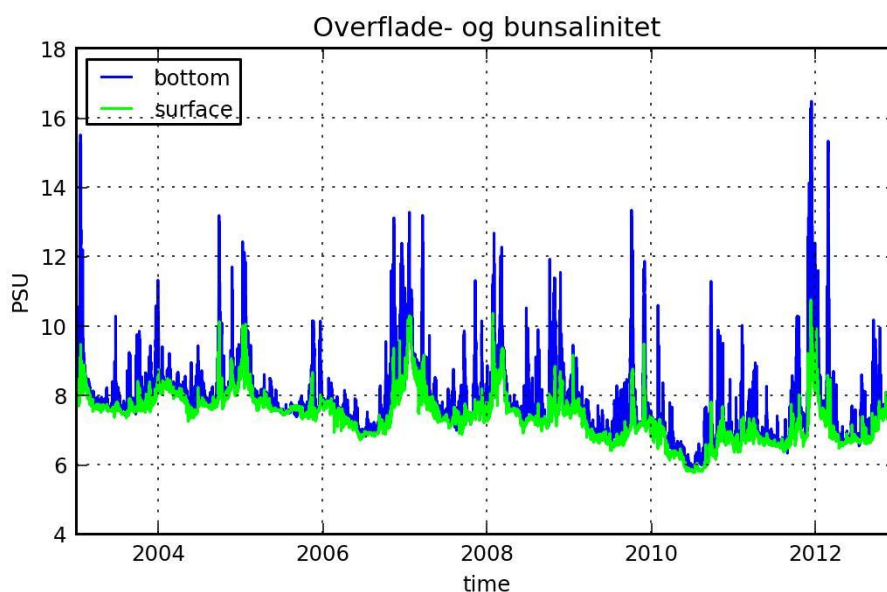
Tabel 7-3: Percentiler (%) for salinitet nær bunden for de 13 punkter i Arkona Bassinet (se Figur 7-1) i perioden 2003-2012 for reference- set-up og havmøllepark-set-up.

Pkt.	Reference			Havmøllepark			Reference-Havmøllepark		
	S=23,0	S=23,5	S=24,0	S=23,0	S=23,5	S=24,0	S=23,0	S=23,5	S=24,0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	33	13	0	31	12	0	-2	-1	0
4	70	25	0	70	22	0	0	-3	0
5	97	25	0	97	25	0	0	0	0
6	66	32	11	64	32	7	-2	0	-4
7	76	38	29	72	38	28	-4	0	-1
8	94	45	29	94	46	27	0	1	-2
9	66	10	0	70	11	0	4	1	0
10	7	0	0	7	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabel 7-4: Antal timer (over 10 års simulering, 2003-2012) hvor bundsaliniteten er større end et vist niveau S [PSU], for hvert af de 13 punkter i Arkona (se Figur 7-4) for hhv. reference- set-up, havmøllepark-set-up og forskellen i forekomst.

Lagdeling på Kriegers Flak

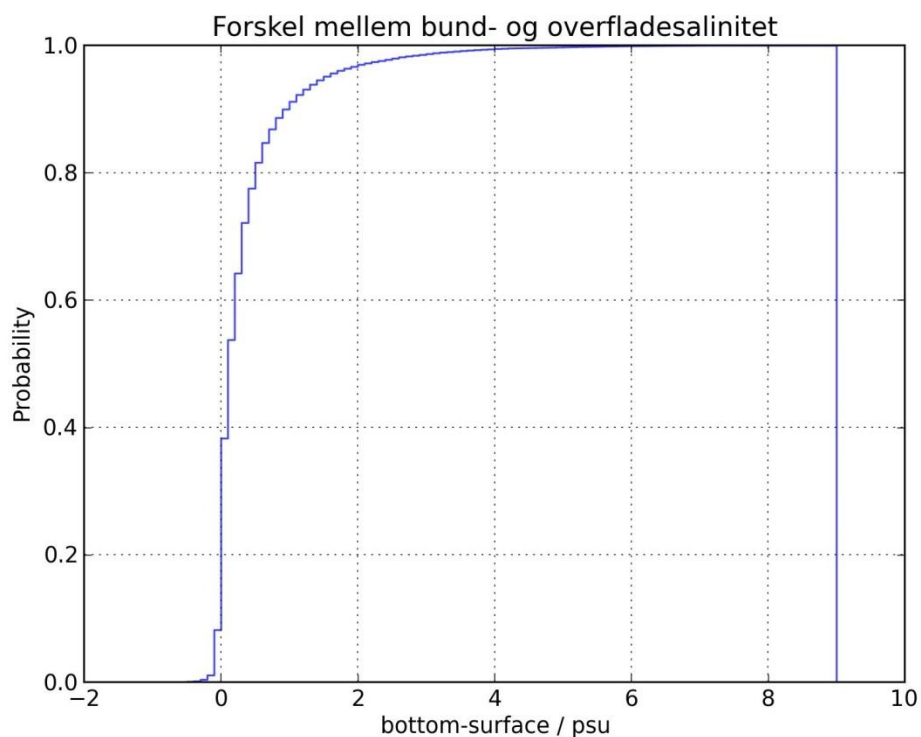
Som tidligere nævnt er en nødvendig forudsætning for ændret lagdeling på Kriegers Flak - og dermed mulighed for ændringer i vandmiljøet i Østersøen - dels ekstra blandings-energi dels en lagdeling, som rent faktisk kan blandes. Spørgsmålet er, hvorvidt de tunge bundstrømme fra Nordsøen ind i Østersøen rent faktisk kan observeres på selve flakket, eller hvorvidt vandsøjlen er homogen. Da der ikke er foretaget observationer på flakket, foretages analysen ved at benytte modeldata fra referencekørslen.



Figur 7-8: Overflade- og bunsalinitet (PSU) på Kriegers Flak over en 10-årig -periode for referencekørslen (2003-2012).

Som det ses af Figur 7-8 er der for langt den største del af perioden kun ganske lille forskel mellem saliniteten i overfladelaget og bundlaget. Ydermere er de perioder, hvor der er signifikant forskel, alle af meget kort varighed. Det betyder, at eventuel ekstra blanding kun vil optræde i meget begrænsede perioder, og effekten på den lokale lagdeling må forventes at være meget lille.

For yderligere at illustrere dette forhold er der i Figur 7-9 vist et histogram, hvor sandsynlighedsfordelingen for forskellen mellem bund- og overflade fremgår. Som det fremgår af Figur 7-8, er der i langt den overvejende del af tilfældene en lille forskel mellem overflade og bund. Der er benyttet timeværdier over en 10-årig-periode, så i alt 87.672 datapunkter er til rådighed. For 90% af perioden er forskellen mindre end 1 PSU.



Figur 7-9: Histogram over forskellen på bund- og overfladesalinitet (PSU). Det bemærkes, at for 90% af tiden er forskellen under 1 PSU.

Opsummering af vurderinger af påvirkninger af salinitet, lagdeling og vandtransport gennem Bælthavet pga. tilstedeværelsen af havmøllerne:

- Beregninger af vandføringen indikerer, at tilstedeværelsen af havmøllerne ikke vil påvirke vandudvekslingen mellem Østersøen og Kattegat
- Beregninger af saltindstrømningen til Østersøen viser, at havmølleparken ikke vil medføre lavere saliniteter i Østersøen
- Der forventes ingen eller kun en meget lille effekt på den lokale lagdeling på Kriegers Flak

Samlet set vurderes påvirkningerne af vandgennemstrømning til Østersøen, salinitet og lagdeling at være ubetydelige - mindre.

7.2.2 *Vurdering af påvirkninger fra fundamenter til transformersplatforme*

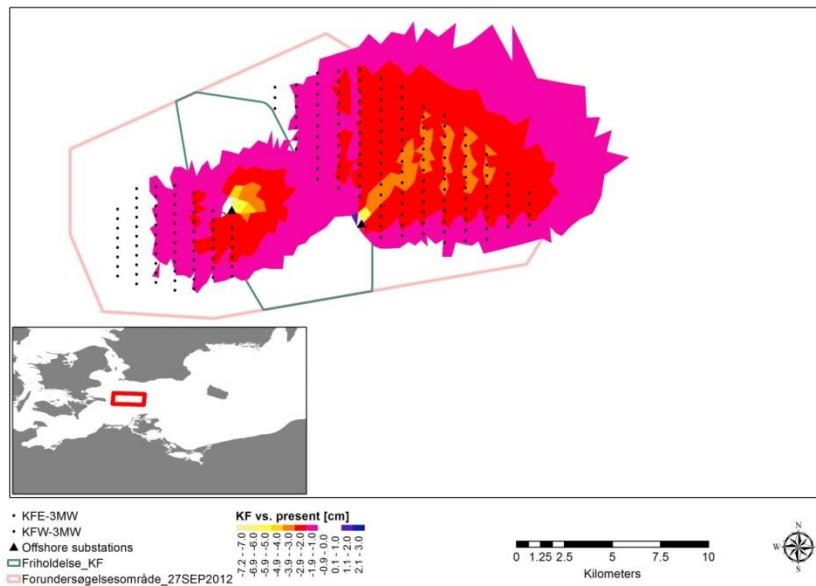
Der installeres 2 HVAC transformersplatforme i havmølleparken. Den samlede påvirkning af fundamenter til transformersplatforme på de hydrografiske forhold svarer til påvirkningen fra 16 stk. 3,0 MW havmøller med monopælfundament, jf. afsnit 5.5.2. Dvs., at påvirkningen fra de to transformersplatforme svarer til ca. 8% af påvirkningen fra 200 (+3) installerede 3 MV havmøller.

Det er vurderet, at påvirkningen på de hydrografiske forhold i driftsfasen fra havmøller på Kriegers Flak er ubetydelig - mindre (Afsnit 7.2). Da påvirkningen pga. opstilling af transformersplatforme i værste fald vil svare til ca. 8% af den samlede påvirkning fra havmølleparken, vurderes det at give anledning til en meget lille eller ubetydelig negativ påvirkning af de hydrografiske forhold ved Kriegers Flak og i den vestlige Østersø.

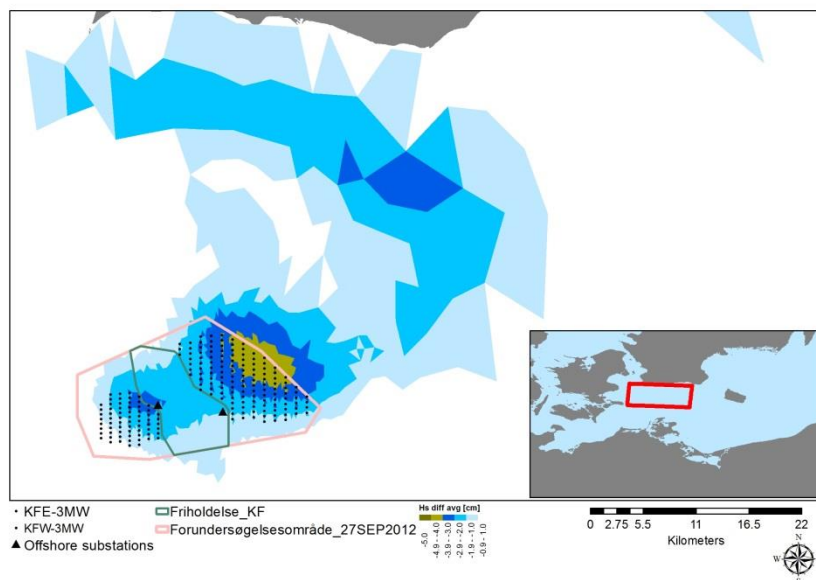
7.2.3 *Vurdering af påvirkning på bølgeklimate*

Til vurdering af påvirkningerne på bølgeklimate er de eksisterende forhold og de fremtidige forhold med 3,0 MW-scenariet (monopæle) sammenlignet for stormen den 8. januar 2005, hvor de højeste bølger er simuleret i havmølleparken i den 10-årige periode; maksimal bølgehøjde på ca. 7,5 m. Ved at undersøge ekstreme forhold vil man få en indikation af, hvor langt væk fra havmølleparken eventuelle påvirkninger kan forekomme.

Etablering af havmøller og transformersplatforme vil medføre en reduktion i vindhastigheden og den signifikante bølgehøjde op til 30 kilometer nedstrøms havmølleparken, Figur 7-11. Ligeledes vil fundamenterne bidrage til en reduktion af bølgerne lokalt og umiddelbart nedstrøms fundamenterne. Altså vil der være en umiddelbar dæmpning (reduktion i bølgehøjden) givet af fundamenterne efterfulgt af mindre vindenergi til at vedligeholde og opbygge bølgefeltet nedstrøms havmølleparken. Bølgedæmpningen på grund af havmøllernes og transformersplatformenes fundamenter er estimeret til at være mindre end 6% tæt på fundamenterne aftagende til 1% 30 km nedstrøms havmølleparken. Dette svarer til en maksimal reduktion i bølgehøjden på mindre end 10 cm for de højeste bølger og 5 cm for en gennemsnitsbølge (0,8m), der forekommer i forundersøgesområdet, jf. Figur 7-10 og , Figur 7-11. Effekten er lokal og sker stort set inden for forundersøgesområdet. Reduktionen i en gennemsnitsbølge 30 km fra forundersøgesområdet er omkring 1 cm, hvilket er mange gange mindre end den naturlige variation. Modellering af en ekstrem hændelse og en middelsituation viser altså, at ændringer i bølgehøjden vil være marginale og af samme størrelsesorden for de to scenarier. Overordnet set vil havmølleparken medføre mindre til ubetydelig påvirkning af bølgeforholdene lokalt omkring Kriegers Flak.



Figur 7-10 Reduktionen i den maksimale signifikante bølgehøjde (cm) som følge af 200 stk. 3,0 MW havmøller med monopælfundamenter under stormen den 8. januar 2005 (simuleret ekstrem hændelse).



Figur 7-11 Reduktionen i den signifikante bølgehøjde (cm) som følge af 200 stk. 3,0 MW havmøller med monopælfundamenter for en middel-hændelse, den 16. juli 2005.

7.3 Afviklingsfasen

Idet der stadig mangler praktiske erfaringer med afvikling af en større offshore-havmøllepark, er det skønsomt vanskeligt at kvantificere en påvirkning. Men det er vurderet, at i tilfælde af en komplet nedbrydning af havmølleparken vil varigheden være omtrent den samme som anlægsfasen og så kortvarig, at den samlede indflydelse på hydrografien vil være negligabel.

7.4 Vurdering af kumulative effekter

7.4.1 Hydrografi

Den metode, der er benyttet til at beregne påvirkningen af det marine miljø inddrager direkte effekten fra en specifik havmøllepark ved at inddrage oplysninger om havmølleparken – placering af møller, diameter af fundamenter og dybdeforhold – og bruge disse til at parametrisere den forøgede opblanding i de styrende ligninger. Metoden er kvantitativ og giver mulighed for at lave en sammenligning mellem resultater med - og uden havmøllepark – samt selvfølgelig forskellige havmøllepark-konfigurationer. Vurderingen af indflydelsen af de tyske havmølleparker Baltic I og Baltic II er foretaget kvalitativt.

Baltic I er beliggende sydvest for Kriegers Flak i en afstand på ca. 40 km. Baltic I ligger på 'Storebæltsruten' for vandudvekslingen mellem Nordsøen og Østersøen – dvs. det salte bundvand der passerer Baltic I er kommet gennem Storebælt. For Kriegers Flak gælder, at det salte bundvand er kommet gennem Øresund. Den forøgede opblanding i havmølleparkerne giver anledning til vil derfor ikke have indflydelse på hinanden.

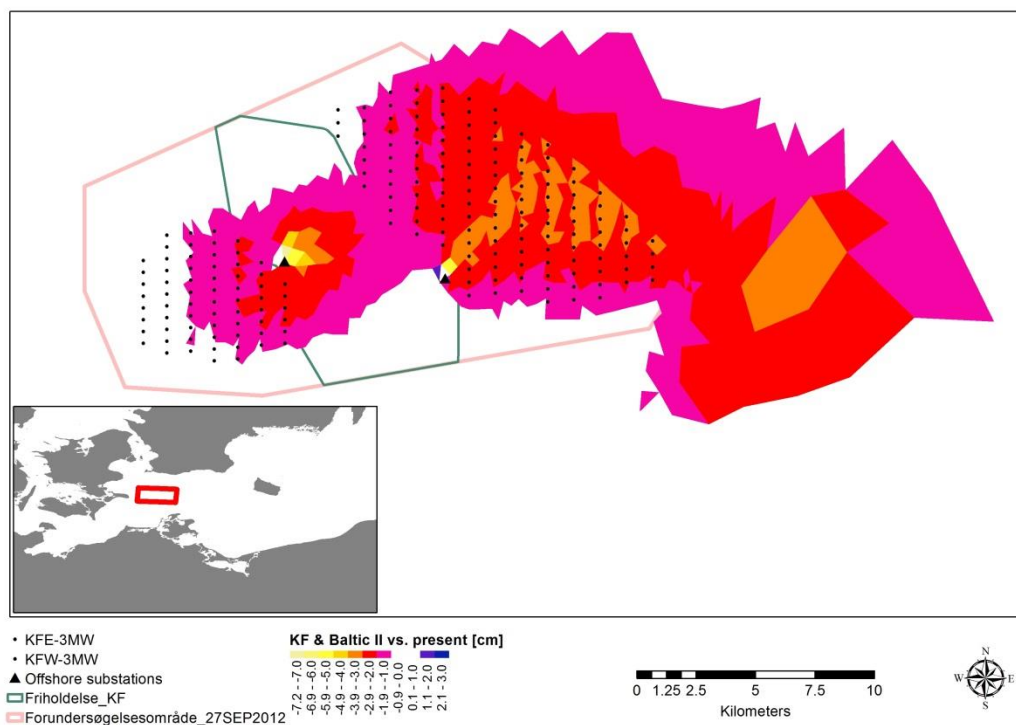
Baltic II er beliggende umiddelbart øst for Kriegers Flak Havmøllepark, som er beregnet i denne rapport, og må antages at have stort set samme beregningsforudsætninger som denne. Den væsentligste faktor er, at havmøllerne er placeret på vanddybder, der ligger over de dybder, hvor det salte vand strømmer ind i Østersøen. Da hele Kriegers Flak-området ikke er en del af transportmekanismen for højsalint vand gennem Bælthavet til Østersøen, har det ikke nogen væsentlig betydning for de hydrografiske forhold, om der opstilles flere havmølleparker på flakket. Derfor vurderes der ikke at være nogen kumulative påvirkninger i relation til Baltic II.

7.4.2 Bølger

Afstanden på ca. 40 km til Baltic I gør, at der ingen kumulerede effekt er på bølgerne. Baltic II er derimod beliggende relativt tæt på og i det foreslået 3,0 MW scenariet for Kriegers Flak vil de havmøller der står tættest stå med en afstand på 1,3 km.

Til vurdering af den kumulative effekt er effekten af fundamentene beregnet for situationen med Kriegers Flak 3,0 MW scenariet, Baltic II og kombinationen af Kriegers Flak 3,0 MW scenariet og Baltic II, hvorefter den kumulerede effekt er bestemt.

Resultatet af den samlede reduktion i den signifikante bølgehøjde for stormen den 8. januar 2005 viser en større udbredelse end for situationen med 3,0 MW scenariet på Kriegers Flak, men betragtes den kumulerede effekt i forhold til hhv. beregningen med 3,0 MW scenariet alene og Baltic II alene, er der ingen kumulerede effekter parkerne imellem (Figur 7-12).



Figur 7-12 Reduktionen i den maksimale signifikante bølgehøjde (cm) som følge af 200 stk. 3,0 MW havmøller med monopælfundamenter på Kriegers Flak og de 39 monopæle og 41 jackets på Baltic II under stormen den 8. januar 2005.

7.5 Sammenfatning af vurderinger

Påvirkninger fra havmølleparken på de hydrografiske forhold vil primært skyldes tilstedeværelsen af havmøller, mens transformerplatformenes indflydelse vil være langt mindre end havmøllernes indflydelse og vurderes at være ubetydelige.

Miljøvurderingerne af foretaget på et worst case scenarie med opstilling af 200 stk. 3,0 MW havmøller med monopælfundamenter. Det forventes, at der bliver opstillet tre ekstra havmøller i forhold til kapaciteten på 600 MW (ved 3,0 MW, i alt 203 havmøller), så-

ledes at der kan opretholdes en kapacitet på 600 MW – også selv om tre havmøller er ude af drift. Disse indgår ikke i modelleringen, fordi beslutningen om at tilføje ekstra havmøller i den tekniske projektbeskrivelse blev truffet, efter at simuleringerne var gennemført.

Anlægsfasen

Der vurderes, at der kun er ubetydelig eller slet ingen påvirkning af de hydrografiske forhold i anlægsfasen, da påvirkninger udelukkende forårsages af tilstedeværelsen af havmøllernes og transformerplatformenes fundamenter. En eventuel påvirkning vil øges efterhånden, som havmøllerne opstilles, men vil ikke kunne detekteres i så kort en periode, som anlægsfasen varer.

Driftsfasen

Der er foretaget en række analyser, der tilsammen gør det muligt at vurdere havmøllernes eventuelle påvirkninger af de miljømæssige forhold i overgangsområdet mellem Nordsøen og Østersøen, og den for Østersøen helt essentielle tilførsel af salt (og ilt).

Analyse af den vertikale salinitetsfordeling viser, at i langt den største del af tiden er den vertikale salinitetsfordeling på Kriegers Flak homogen - og yderligere vil blandingsenergien ikke kunne påvirke lagdelingen og dermed saltransporten ind i Østersøen. Der vil altså ikke være nogen påvirkning af lagdelingen i Østersøen pga. opførelse af havmølleparken.

Den statiske fordeling af bundsaliniteten i et transekt på tværs af vandets vej ind i Østersøen vurderes kun at være marginalt forskellig for de to simuleringer – og kun ved meget høje saliniteter, som kun optræder ganske få timer ud af de samlede 10 års simuleringer.

Endelig viser en analyse af havmølleparkens blokering af gennemstrømningen af vand til Østersøen er så minimal, at der ikke kan påvises nogen ændring. Påvirkningen af salttilførslen til Østersøen er derfor vurderet at være lokal inden for et nærområde til havmølleparken i den vestlige Østersø og meget lav.

Indvirkningen på bølgeklimate er lokal og vil selv i en stormsituation påvirke den signifikante bølgehøjde med mindre end 6% tæt på fundamentene aftagende til 1% 30 km nedstrøms havmølleparken, og påvirkningsgraden vil være mindre.

Afviklingsfasen

Påvirkninger af de hydrografiske forhold i afviklingsfasen vurderes at være ubetydelige, da påvirkninger udelukkende forårsages af tilstedeværelsen af havmøllernes og transformerplatformenes fundamenter. En eventuel påvirkning vil aftage, efterhånden, som havmøllerne nedtages, og påvirkningen vil ikke kunne detekteres i så kort en periode, som afviklingsfasen varer.

Kumulative effekter

Samlet set vurderes de kumulative effekter af etablering af de tre havmølleparker vil medføre ubetydelig - eller en mindre negativ påvirkning på de hydrografiske forhold i form af meget små lokale ændringer i de hydrografiske forhold og af bølgeforsørene som følge af reducerede vindfelter i læsiden af havmøllerne.

Vurderingerne for havmølleparkens tre faser er opsummeret i nedenstående tabeller (Tabel 7-5 til Tabel 7-7).

Påvirkninger i anlægsfasen					
Vurdering af aktivitet	Grad af forstyrrelse	Vigtighed	Sandsynlighed	Varighed	Påvirknings-grad
Påvirkninger af de hydrografiske forhold, herunder strøm og bølger, af anlægsaktiviteterne	Lav - Ingen	Lokal	Høj	Midlertidig (< 5 år)	Mindre - Ubetydelig
Argument	Anlægsaktiviteter forventes ikke at medføre påvirkninger. Eventuelle påvirkninger vil ikke kunne detekteres i så kort en periode, som anlægsfasen varer.	Påvirkningen sker i havmølleområdet og nærområdet til denne	Projektet realiseres med høj sandsynlighed	Anlægsfasen forventes at vare 1-2 år.	

Tabel 7-5: Vurderinger af påvirkninger af de hydrografiske forhold i anlægsfasen for Kriegers Flak Havmøllepark.

Påvirkninger i driftsfasen					
Vurdering af aktivitet	Grad af forstyrrelse	Vigtighed	Sandsynlighed	Varighed	Påvirkningsgrad
Påvirkning af <u>vandgenemstrømning</u> , <u>salinitet</u> og <u>lagdeling</u> pga. øget opblanding og reduceret blandingsenergi som følge af havmøllenes fundamenter	Lav	Lokal	Høj	Permanent (>5 år)	Mindre - ubetydelig
Argument	Kun marginale ændringer i forhold til referencekørslen	Påvirkningen sker i havmølleområdet og nærområdet til denne	Projektet realiseres med høj sandsynlighed	Påvirkningen sker i hele mølleparkens levetid	
Påvirkningen af <u>bølge-klimaet</u> ved Kriegers Flak pga. reduceret vindenergi pga. havmøllerne	Lav	Lokal	Høj	Permanent (>5 år)	Mindre - ubetydelig
Argument	Kun en meget lille ændring i forhold til referencekørslen. I en stormsituation kan den signifikante bølgehøjde ændres mindre end 0,6% i op til 2,5 km og 0,2% i en afstand af 6 km fra havmølleparken	Påvirkningen sker i lokalområdet Kriegers Flak	Projektet realiseres med høj sandsynlighed	Byggeriet vil bestå i mange år.	

Tabel 7-6: Vurderinger af påvirkninger af de hydrografiske forhold i driftsfasen for Kriegers Flak Havmøllepark.

Påvirkninger i afviklingsfasen					
Vurdering af aktivitet	Grad af forstyrrelse	Vigtighed	Sandsynlighed	Varighed	Påvirkningsgrad
	Lav – ingen	Lokal	Høj	Midlertidig (1-5 år)	Ubetydelig / uden
Argument	Anlægsaktiviteter forventes ikke at medføre påvirkninger. Eventuelle påvirkninger vil ikke kunne detekteres i så kort en periode, som anlægsfasen varer.	Påvirkningen sker i havmølleområdet og nærområdet til denne	Projektet realiseres med høj sandsynlighed	Afviklingsfasen forventes at vare mindre end 5 år.	

Tabel 7-7: Vurderinger af påvirkninger af de hydrografiske forhold i afviklingsfasen for Kriegers Flak Havmøllepark.

Kumulative påvirkninger					
Vurdering af aktivitet	Grad af forstyrrelse	Vigtighed	Sandsynlighed	Varighed	Påvirkningsgrad
Påvirkning af <u>vandgenemstrømning til Østersøen, salinitet og lagdeling</u> pga. øget opblanding og reduceret blandingsenergi pga. kummulation med Baltic I og Baltic II	Lav - ingen	Lokal	Høj	Permanent (>5 år)	Mindre - ubetydelig
Argument	Salt bundvand, som passerer Baltic I kommer gennem Storebælt. For Kriegers Flak kommer det salte bundvand gennem Øresund. Den forøgede opblanding, havmølleparkerne giver anledning, til vil ikke have indflydelse på hinanden. Kriegers Flak-området ikke er en del af transportmekanismen for højsalint vand til Østersøen. Derfor har opstilling af flere havmølleparker på Kriegers Flak ingen betydning for de hydrografiske forhold	Påvirkningen sker i havmølleområdet og nærområdet til denne	Det danske projektet realiseres med høj sandsynlighed, og Baltic II er under opførelse.	Byggeriet vil bestå i mange år.	
Påvirkninger af bølgeforhold pga. kummulation med Baltic I og Baltic II	Lav - ingen	Lokal	Høj	Permanent (>5 år)	Mindre
	Beregnet kumuleret effekt med Baltic II viser ingen forskel i forhold til effekt af Kriegers Flak Havmøllepark alene.	Påvirkningen sker i havmølleområdet og nærområdet til denne	Det danske projektet realiseres med høj sandsynlighed, og Baltic II er under opførelse.	Byggeriet vil bestå i mange år.	

Tabel 7-8: Vurderinger af kumulative påvirkninger af de hydrografiske forhold i driftsfasen for Kriegers Flak Havmøllepark.

8. Afværgeforanstaltninger

Da det er vurderet, at påvirkning på de hydrografiske forhold har ubetydelig - mindre betydning, er der ikke behov for at iværksætte afværgeforanstaltninger for at minimere påvirkningerne.

9. Eventuelt manglende oplysninger eller viden, der kan få betydning for vurderingen

Vurderingen af den forøgede opblanding af vandsøjlen er udført under antagelse af monopæle med cirkulært tværsnit. Hvis der anvendes ikke-cirkulære tværsnit, vil påvirkningen principielt kunne blive større. I det benyttede beregningsscenarie er der dog foretaget konservative valg: 1) beregning er foretaget baseret på 3,0 MV havmøller, dvs. større blokeringsareal end for 10,0 MV havmøller, 2) for 3,0 MW havmøller er valgt maksimal monopældiameter.

10. Referencer

- Burchard & Bolding. (2002). *Burchard, H., & Bolding, K. GETM -- a general estuarine transport model. Scientific Documentation.* European Commission.
- Burchard et al. (2005). Burchard, H., Lass, H. U., Mohrholz, V., Umlauf, L., Sellschopp, J., Fiekas, V., et al. Dynamics of medium-intensity dense water plumes in the Arkona Basin. *Ocean Dynamics*, 391-402.
- DHI. (2012). *MIKE21, Spectral Waves Module.* DHI.
- Energinet.dk. (2014). Kriegers Flak Teknisk projektbeskrivelse for storskala havvindmølleparken (600 MW) på Kriegers Flak.
- Femern. (March 2014).
<http://www.femern.dk/forside/forberedelsesfasen/myndighedsgodkendelse/danmark/godkendelse-i-danmark>. Hentet fra
<http://www.femern.dk/forside/forberedelsesfasen/myndighedsgodkendelse/danmark/godkendelse-i-danmark>
- Gräwe, U. (Marts 2013). (K. Bolding, Interviewer)
<http://energinet.dk>. (u.d.).
<http://www.getm.eu>. (u.d.).
- Jerlov. (1968). *Jerlov, N. G. Optical Oceanography.* Elsevier.
- Kondo. (1975). Kondo, J. Air-sea bulk transfer coefficients in diabatic conditions. *Boundary Layer Meteorology*, 91-112.
- NIRAS. (2013a). Vurderingsmetode - VVM af Kriegers Flak Havvindmøllepark.
- NIRAS. (2013b). MetOcean Kriegers Flak.
- NIRAS. (u.d.). Vurderingsmetode VVM af Kriegers Flak Havmøllepark. 2013.
- Rambøll. (2013). *Kriegers Flak OWF Geophysical Survey Result.*
- Reissmann et al. (2009). Reissmann, J. H., Burchard, H., Feistel, R., Hagen, E., Lass, H. U., Mohrholz, V., et al. Vertical mixing in the Baltic Sea and consequences for eutrophication – A review. *Progress in Oceanography*, 47-80.

11. Bilag 1

11.1 Verifikation af salinitet og temperatur

Kiel Lighthouse

Der er udført observationer ned til 13 meters dybde ved Kiel Lighthouse. Modelbathymetrien angiver en dybde på 12.8 m – men indenfor ganske få hundrede meter varierer dybden i modellen fra 10.5 m til 18.5 m.

	Variabel	Min	Max	Middel	Std. dev.
Observation	Salinitet	10,2	21,1	16,1	2,4
Model	(overflade)	7,6	19,8	14,9	2,0
Observation	Salinitet	10,8	25,7	18,1	2,4
Model	(bund)	12,4	21,9	16,6	1,6
Observation	Temperatur	-0,8	23,5	9,9	6,1
Model	(overflade)	-1,0	23,2	9,9	6,3
Observation	Temperatur	0,2	21,2	9,1	4,8
Model	(bund)	-0,8	20,8	9,6	5,9

Tabel 11-1: Kiel Lighthouse: Statistik for salinitet (PSU) og temperatur (°C) ved overflade og bund for observationer og modelresultater.

Fehmern

Der er fortaget observationer ned til en dybde på 23 m. Modellen har en dybde på 28.5 m men generelt er dybden relativt konstant indenfor en radius a 1 km.

	Variabel	Min	Max	Middel	Std. dev.
Observation	Salinitet (overflade)	6,3	23,8	13,8	3,3
Model		6,1	21,0	11,4	3,0
Observation	Salinitet (bund)	9,4	28,9	21,4	3,4
Model		11,0	21,1	19,6	2,7
Observation	Temperatur (overflade)	-0,7	22,7	9,7	6,00
Model		-0,9	23,1	19,6	2,7
Observation	Temperatur (bund)	0,06	17,78	8,33	3,89
Model		0,42	18,06	9,00	5,05

Tabel 11-2: Fehmern: Statistik for salinitet (PSU) og temperatur (°C) ved overflade og bund for observationer og modelresultater.

Darss Sill

Der er fortaget observationer ned til en dybde på 19 m hvilket svarer meget godt til dybden fra modellen på godt 20 m. Dybden varierer kun lidt i nærområdet.

	Variabel	Min	Max	Middel	Std. dev.
Observation	Salinitet (overflade)	6,7	17,5	8,8	1,3
Model		5,8	18,1	7,8	1,2
Observation	Salinitet (bund)	7,4	23,8	13,3	3,4
Model		6,5	20,1	11,1	2,6
Observation	Temperatur (overflade)	-0,5	23,1	9,6	5,0
Model		-0,6	23,9	9,4	6,1
Observation	Temperatur (bund)	-0,3	19,3	8,8	4,7
Model		-0,1	19,5	8,6	5,2

Tabel 11-3: Darss Sill: Statistik for salinitet (PSU) og temperatur (°C) ved overflade og bund for observationer og modelresultater.

Oder Bank

Der er kun foretaget observationer i 3 og 12 m dybde. Modellen har en dybde på knap 15 m og kun en lille variation i nærområdet.

	Variabel	Min	Max	Middel	Std. Dev.
Observation	Salinitet	3,4	9,1	7,2	0,6
Model	(overflade)	2,2	8,2	6,5	0,7
Observation	Salinitet	5,6	10,5	7,5	0,5
Model	(bund)	5,1	10,0	6,9	0,6
Observation	Temperatur				
Model	(overflade)	-0,5	24,2	9,6	7,0

Tabel 11-4: Oder Bank: Statistik for salinitet (PSU) og temperatur (°C) ved overflade og bund for observationer og modelresultater.