

Kriegers Flak Havmøllepark

Sedimentforhold
VVM-redegørelse
Teknisk baggrundsrapport
Januar 2015



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

Sedimentforhold og vandkvalitet

**VVM-redegørelse for Kriegers Flak
Havmøllepark**

Teknisk baggrundsrapport



Januar 2015

Udarbejdet af

TEB/EVJ/FLK/ISA/MWJ

Kontrolleret af ISA/MWJ/BSJ

Godkendt af MXJ

Version: Endelig

Indholdsfortegnelse

1.	Ikke teknisk resumé.....	1
2.	Indledning	7
3.	Projektbeskrivelse	8
3.1	Fysiske karakteristika ved Kriegers Flak	9
3.2	Hydrografiske forhold	10
3.3	Havmøller	10
3.4	Havmølleparkens layout.....	11
3.5	Fundamenter	13
3.6	Transformerplatforme	20
3.7	Søkabler.....	22
3.8	Demontering af havmølleparken.....	24
4.	Beskrivelse af potentielle påvirkninger og mulige effekter	26
4.1	Påvirkninger og effekter i anlægsfasen.....	26
4.2	Påvirkninger og effekter i driftsfasen.....	26
4.3	Påvirkninger og effekter i demonteringsfasen	27
4.4	Vurderinger af miljøpåvirkninger.....	27
5.	Metode	28
5.1	Definition af undersøgelsesområdet og nærområdet	28
5.2	0-alternativet.....	29
5.3	Worst case	29
5.4	Havbundsmorfologi.....	30
5.5	Kystmorfologi.....	30
5.6	Sedimentspredning /spild	30

5.7	Scour	30
5.8	Vandkvalitet	31
5.9	Metode til vurdering af potentielle påvirkninger.....	31
6.	Eksisterende forhold	33
6.1	Geologi og geomorfologi	33
6.2	Geologisk model	33
6.3	Havbundstopografi	37
6.4	Havbundssedimenter.....	39
6.5	Blokke	43
6.6	Kriegers Flak eksportkabelrute.....	45
6.7	Hydrografiske forhold.....	46
6.8	Sedimentspredning / havbundens mobilitet	47
6.9	Vandkvalitet	48
6.10	Salinitet.....	49
6.11	Kystmorfologi	49
7.	Vurderinger af påvirkninger i anlægsfasen	50
7.1	Sedimentspredning /spild.....	50
7.2	Vandkvalitet	63
7.3	Sammenfatning af vurderinger af påvirkninger i anlægsfasen	64
8.	Vurderinger af påvirkninger i driftsfasen	66
8.1	Kystmorfologi	66
8.2	Scour- og sedimentspredning	68
8.3	Vandkvalitet	69
8.4	Sammenfatning af vurderinger af påvirkninger i driftsfasen	71
9.	Vurderinger af påvirkninger i demonteringsfasen.....	74

10.	Kumulative effekter.....	76
10.1	Kystmorfologi.....	76
10.2	Scour	76
10.3	Vandkvalitet.....	77
11.	0-alternativet	79
12.	Afværgeforanstaltninger	80
12.1	Scourbeskyttelse.....	80
12.2	Nedspuling af kabler	80
13.	Eventuelle manglende oplysninger eller viden, der kan få betydning for vurderingerne	81
14.	Referencer	82

1. Ikke teknisk resumé

Det danske folketing indgik et energiforlig i 2012, som bl.a. betyder, 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.

Formålet med denne rapport er at kortlægge basistilstanden og vurdere projektets virkninger i relation til havbundsmorfologi (herunder lokal scour/erosion af havbundssedimentet), kystmorfologi, sedimentspredning og vandkvalitet for Kriegers Flak Havmøllepark. Resultater af undersøgelserne bruges bl.a. til at vurdere mængder af suspenderet sediment i vandfasen og tykkelsen af sedimentaflejringer på havbunden, som kan påvirke dyr og planter.

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. Derfor er der yderst vekslende forhold såvel i oceanet som i atmosfæren.

Grundlaget for vurderingerne af virkninger på havbundsmorfologi, kystmorfologi, sedimentspredning og vandkvalitet, er installation af havmøller med en kapacitet mellem 3 MW og 10 MW. Afhængigt af, hvilken møllestørrelse, der vælges, vil havmølleparken komme til at bestå af mellem 60 (+4 ekstra) og 200 (+3 ekstra) havmøller. De ekstra havmøller etableres for at kunne opretholde el-produktionen, hvis nogle af havmøllerne er ude af drift. Havmøllernes fundamenter vil være enten monopælfundamenter, jacketfundamenter, gravitationsfundamenter eller bøttefundamenter.

Der planlægges at blive etableret to AC-transformerplatforme. Én i den østlige del og én i den vestlige del af havmølleparken. Fundamenter til transformerplatformene vil være enten jacketfundament, flydende gravitationsbaseret struktur eller gravitationsbaseret struktur (hybridfundament).

Der vil blive installeret inter-array-kabler samt et ca. 42 km langt ilandføringskabel til Rødvig. Søkablerne graves eller spules ned i havbunden. Inter-array-kabler forbinder rækker af 8 – 10 havmøller indbyrdes, hvorefter rækken forbindes til transformerplatformen. Længden af inter-array-kablerne vil afhænge af størrelsen af havmøllerne og havmølleparkens layout.

Der vil blive tilsluttet to parallelle kabler fra offshore transformerplatformene til Rødvig. Nedgravning af de to parallelle kabler vil tidsmæssigt ske i forlængelse af hinanden.

Alle søkabler lægges ca. 1 meter under havbunden for at beskytte kablerne mod fiskeri, ankre etc. Den eksakte dybde afhænger af bundforholdene og den valgte metode. Kablerne etableres enten ved nedgravning eller spuling.

Havmølleparkens levetid forventes at være 25 år.

Baseret på viden om den eksisterende teknologi antages det, at demontering af havmølleparken vil omfatte følgende:

- Havmøllerne fjernes helt
- Fundamenter fjernes helt eller delvist til havbunds niveau
- Nedgravede inter-array-kabler fjernes helt
- Ilandføringskabler fjernes helt
- Kabellandingen fjernes helt
- Erosionsbeskyttelsen efterlades på havbunden

Worst case

Udgangspunktet for nærværende vurderinger af potentielle påvirkninger på sedimentforhold og vandkvalitet er at vurdere på en worst case-situation, der er defineret som scenariet med 203 stk. 3 MW havmøller, som etableres på gravitationsfundamenter. Et sådant scenarie vil give anledning til størst graveaktivitet samt til den største blokerings-effekt og dermed største potentielle effekt på hydrografien.

Potentielle påvirkninger

I anlægsfasen vil sedimentforhold og vandkvalitet kunne påvirkes af sedimentspredning pga. grave- og spuleaktiviteter ved etablering af havmøllernes fundamenter og søkablerne. Ved suspension af sediment kan der ske frigivelse af organiske stoffer, næringsstoffer og miljøfremmede stoffer til vandet, og til de områder, hvor sedimentet aflejres.

I driftsfasen vil møllefundamenterne hydrografisk set kunne ændre strømnings- og bølgemønstre. Dette vil potentielt medvirke til forøget opblanding og sedimentspredning. Den største påvirkning vil optræde i umiddelbar nærhed af havmøllerne. Fundamenterne vil også bidrage til øget lokal sedimentspredning, såfremt havbunden omkring fundamenterne ikke erosionsbeskyttes. Potentielle effekter af ændrede sedimentforhold og vandkvalitet i driftsfasen vil være ændringer i kystmorfologi, scour- og sedimentspredning (havbundsmorfologi).

Derudover vil der potentielt kunne forekomme kumulative påvirkninger som følge af kumulation med de tyske havmølleparker Baltic I og Baltic II samt råstofindvinding til Femern Bælt forbindelsen i et råstofområde, som er udlagt mellem den planlagte havmølleparks østlige og vestlige del.

I demonteringsfasen vil sedimentforhold og vandkvalitet kunne påvirkes af fjernelsen af havmøllernes fundamenter og søkablerne. Påvirkningerne vil være i form af suspension og spredning af sediment samt næringsstoffer, organisk stof og miljøfremmede stoffer.

Metode

De eksisterende forhold er kortlagt ved indsamling af eksisterende viden om de geologiske forhold på Kriegers Flak og langs kabelkorridoren, mens potentielle påvirkninger er belyst igennem modellering. Modelleringen giver mulighed for at estimere ændringer i sedimentationsforhold, herunder sedimentmængder i vandfasen og sedimentation på havbunden i forbindelse med gravearbejder samt spredning af sediment.

Sedimentspredninger er vurderet ved brug MIKE 3 PA, som er en sedimentspredningsmodel, der på baggrund af strømforholdene, vanddybden, kornstørrelser, faldhastigheder m.m. kan simulere flytningen af det spildte materiale i tid og rum.

Sedimentspild ved anlægsarbejdet er simuleret ved brug af en numerisk model til spredning af suspenderet materiale i tid og rum.

Modellering af sedimentspredning i mølleområdet er foretaget med udgangspunkt i det layout, der var gældende, da modelleringen blev foretaget. Der er siden da foretaget mindre justeringer af mølleopstillingen og antallet af havmøller, men disse ændringer vurderes ikke at have indflydelse på miljøvurderingernes konklusioner. Derfor er der ikke foretaget nye simuleringer på baggrund af det nye layout.

Eksisterende forhold

Kriegers Flak er en lavvandet banke, hvis overordnede geometri er blevet skabt af den seneste istid. Vanddybderne varierer fra 12-17 m i de centrale dele til 20-33 m ved kanten af flakket. De nedre lag består af kalkaflejringer fra Sen Kridt hvorpå der er aflejret glaciale og postglaciale sedimenter.

Havbunds sedimenterne består primært af sand, der er aflejret ved siden af og ovenpå morænelers aflejringer. Særligt ved morænelersaflejringerne forekommer der overfladenære blokke (meget store sten).

Koncentrationer af næringsstoffer, organisk materiale og miljøfremmede stoffer i sedimentet er lave.

Baggrundskoncentrationen af sediment i vandfasen vurderes at være under 5 mg/l.

Vurderinger af påvirkninger i anlægsfasen

For et optimistisk installationsprogram dvs. et program med flere parallelle anlægsoperationer med sedimentspild baseret på aktiviteter med mest muligt spild er det fundet, at dybdemidlede koncentrationer af sediment i vandfasen kun vil overstige 10 mg/l i korte perioder og kun i perioder på op til 12 timer i de områder, hvor påvirkningen er størst (indtil 5 km fra fundamentene/kablerne). 10 mg/l er en kritisk værdi, fordi det er den koncentration af sediment i vandfasen, som forventes at kunne påvirke dyr og planter negativt. Til sammenligning er baggrundskoncentrationen af sediment i de indre danske farvande typisk mindre end 5 mg/l.

Sedimentaflejringer er beregnet til at være mindre end 15 mm i projektområdet og dette da kun for mindre områder (under 1 % af området), hvor kun ét er beliggende uden for projektområdets afgrænsning.

Spredning af organisk materiale, næringssalte og miljøfremmede stoffer er vurderet at ville ske over en lang periode, dette medfører meget lave koncentrationer, da den momentane påvirkning er lav og over store områder, og således vurderet til ikke at påvirke vandkvaliteten negativt.

Samlet vurderes afgravningerne i anlægsfasen at give anledning til ubetydelige negative påvirkninger på vandkvaliteten, sedimentforholdene og kystmorfologien.

Vurderinger af påvirkninger i driftsfasen

Havmølleparken vil medføre, at en del af bølgeenergien reflekteres og diffrakteres omkring fundamentene. Derudover reduceres bølgeenergien i området, da havmøllerne blokerer for vinden og reducerer vindhastighederne på havmølleparkens læside. Udvikling af scour vil forekomme, såfremt overgangen mellem fundament og havbund ikke beskyttes. Der vil også kunne forekomme scour på kanten af en evt. scourbeskyttelse. Den tidlige udvikling i dybde og udbredelse afhænger af havbundstypen samt bølge- og strømforhold, hvor førstnævnte er den styrende faktor, mens ændringerne i strømmen er af sekundær betydning grundet de meget lave strømhastigheder.

Til kvantificering af ændringerne i bølgeklimaet er der anvendt den numeriske bølgemodel MIKE21 SW, som er en spektral bølgemodel, der er udviklet af DHI. Modellen beregner bølgehøjder og -retning som funktion af dybdeforholdene og vinden.

De foranledigede ændringer i bølgeklimaet er lokale og af en størrelse, som er mange gange mindre end den naturlige variation. Påvirkningen af bølgeklimaet er i studiet vedr. hydrografiske forhold kvantificeret til at være ubetydelig. Der forventes derfor ikke at

ville være negative effekter for nærområdet og de omkringliggende kyster pga. tilstedeværelsen af havmølleparken.

Etableres der fundamenter uden scourbeskyttelse, vil der lokalt kunne opstå fordybninger omkring fundamenterne på flere meters dybde tæt på fundamentet aftagende til naturlig havbund 20 til 30 meter fra center af fundament som kan foranledige en mindre negativ påvirkning.

Ændringer i vandkvaliteten pga. ændringer af opblandingsforholdene vurderes at være ubetydelige, idet der ikke forventes betydende ændringer i opblandingsforholdene.

Vurderinger af påvirkninger i demonteringsfasen

Fjernelse af kabler vil foregå ved gravning/spuling, eller ved at kablerne trækkes op af havbunden. Påvirkninger af sedimentforhold og vandkvalitet vil være mindre eller i værste fald af samme størrelsesorden som påvirkningerne i anlægsfasen (ubetydelig / uden påvirkning).

Udlagt scourbeskyttelse omkring fundamenterne vil efter 25 år være i ligevægt med den omkringliggende havbund og derfor have ubetydelig negativ påvirkning til at være neutral i forhold til sedimentforholdene og vandkvaliteten.

Vurderinger af kumulative påvirkninger

Kombinationen af spild fra indvindingsaktiviteter af råstoffer til Femern Bælt forbindelsen og anlægsaktiviteter i den danske havmøllepark på Kriegers Flak vil ikke forårsage påvirkninger af sedimentkoncentrationer og sedimentaflejringen uden for nærområdet. Der er lave koncentrationer af næringssalte og miljøfremmede stoffer (stoffer, som ikke forekommer naturligt i vandmiljøet, primært tungmetaller og TBT fra skibsmaling) og organisk materiale i det opgravede sediment, og det vurderes, at den kumulative påvirkning af vandkvaliteten vil være ubetydelig.

Fundamenterne og havmøllerne i både Kriegers Flak Havmøllepark, samt de tyske og den svenske vil samlet set dæmpe bølgerne i et større område, end hvis der kun var én havmøllepark. Effekten er dog lokal og meget lille. Samlet vurderes den kombinerede dæmpning at medvirke til en ubetydelig negativ påvirkning.

Der vil derfor ikke være nogen kumulative effekter på scourudviklingen som følge af råstofindvinding eller tilstedeværelsen af de to tyske havmølleparker Baltic I og Baltic II, da scour er et lokalt fænomen. Der vil derfor heller ikke være nogen betydende effekter på hverken havbundsmorfologien eller de omkringliggende kyster.

Forurening med næringsstoffer, organisk materiale og miljøfremmede stoffer i suspenderet sediment i forbindelse med graveaktiviteter forventes at være ubetydelig, da der kun er lave koncentrationer i sedimentet.

Afværgeforanstaltninger

Idet det vurderes, at der ikke vil forekomme moderate eller væsentlige påvirkninger af sedimentforhold og vandkvalitet, er der ikke behov for at iværksætte afværgeforanstaltninger med henblik på at nedbringe negative påvirkninger af sedimentforhold og vandkvalitet.

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.

Formålet med denne rapport er at kortlægge basistilstanden og vurdere projektets virkninger i relation til havbundsmorfologi (herunder lokal scour/erosion af havbundssedimentet), kystmorfologi, sedimentspredning og vandkvalitet for Kriegers Flak Havmøllepark.

Etablering af havmølleparken vil påvirke strøm- og bølgeforholdene i og omkring de offshore konstruktioner. Dette kan give anledning til ændringer i opblandingen af vandsøjlen over vanddybden (ilt og salinitet) og i sedimentspredningen på havbunden og langs de nærliggende kyster. Ændringerne i de hydrografiske forhold samt sedimentspild under gravearbejde kan ligeledes medføre ændrede vandkvalitetsforhold. Desuden vil spild fra gravearbejder i anlægsfasen kunne skygge eller aflejre sediment, som kan påvirke flora og fauna. De potentielle påvirkninger på flora og fauna er beskrevet og vurderet i særskilte rapporter vedrørende havbundstyper, flora og fauna samt fisk og fiskeri.

Påvirkningerne vil være afhængige af fundamenttype, antal havmøller m.m. som beskrevet i den tekniske beskrivelse, kapitel 3.

Miljøvurderingerne omfatter påvirkninger i havmølleparkens tre faser: anlægsfasen, driftsfasen og demonteringsfasen.

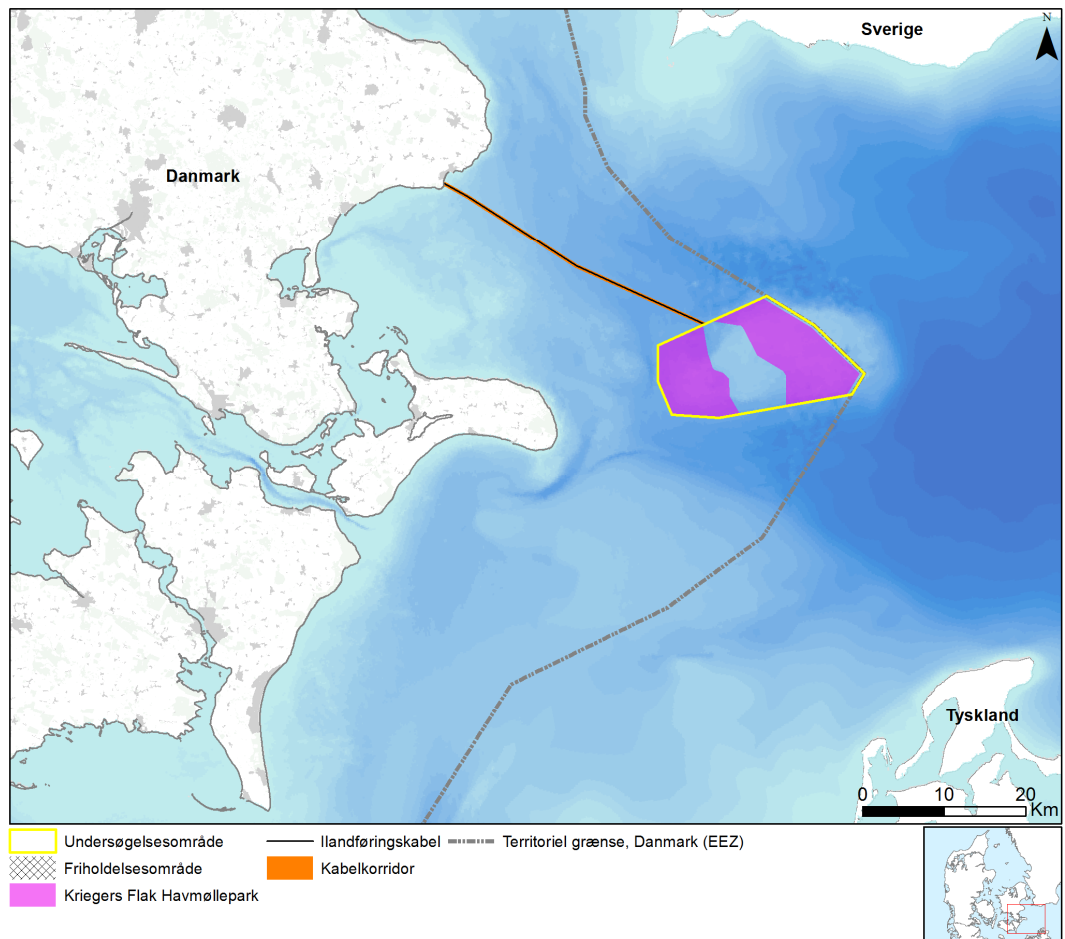
3. Projektbeskrivelse

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 og en vestlig del med mulighed for 400 MW på den østlige del og 200 MW på den vestlige del. Til etablering af 200 MW havmøller kan der benyttes et areal på op til 44 km².

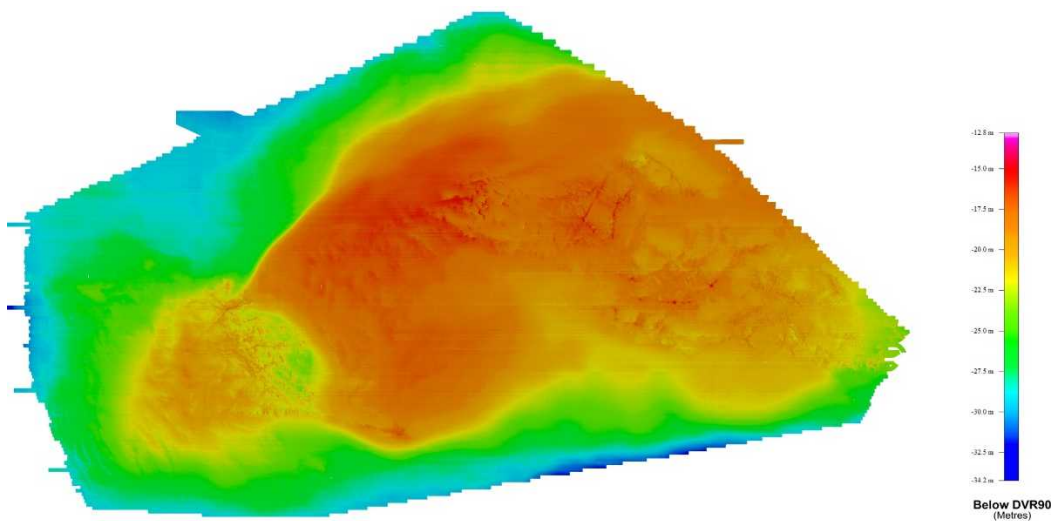
Den planlagte placering af havmølleparken på Kriegers Flak fremgår af Figur3-1.



Figur3-1: 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 restriktionsområde, 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 undersøgelsesområdet Figur 3-2.



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

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.

3.3 Havmøller

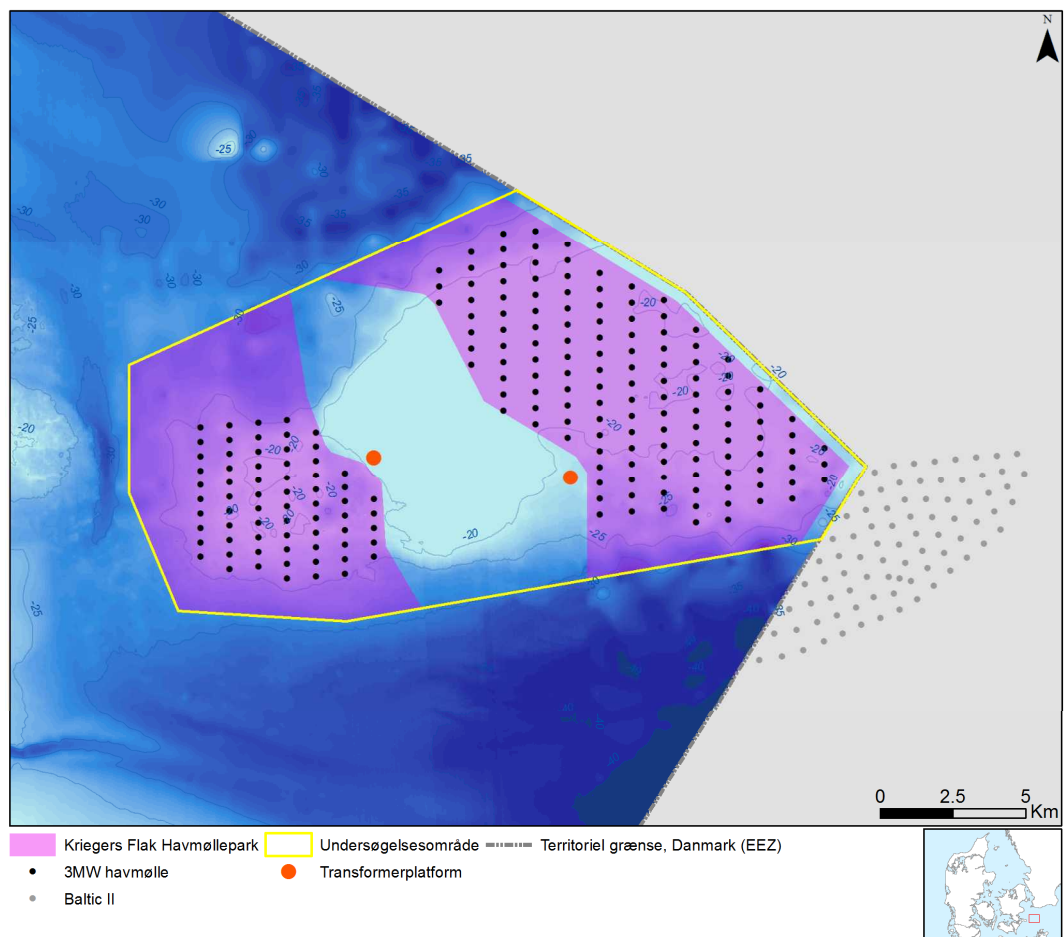
Den installerede kapacitet på Kriegers Flak er begrænset til 600 MW. Udgangspunktet for nærværende tekniske projektbeskrivelse, som danner grundlag for vurdering af virkninger på miljøet er, at kapaciteten af hver enkelt havmølle vil være mellem 3 og 10 MW. Afhængigt af, hvilken møllestørrelse, der vælges,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

I forbindelse med udarbejdelsen af den tekniske projektbeskrivelse er der indsamlet oplysninger om aktuelle havmøller fra forskellige producenter. Den tekniske projektbeskrivelse tager udgangspunkt i de mindste og største mølletyper, som er aktuelle for Krie-

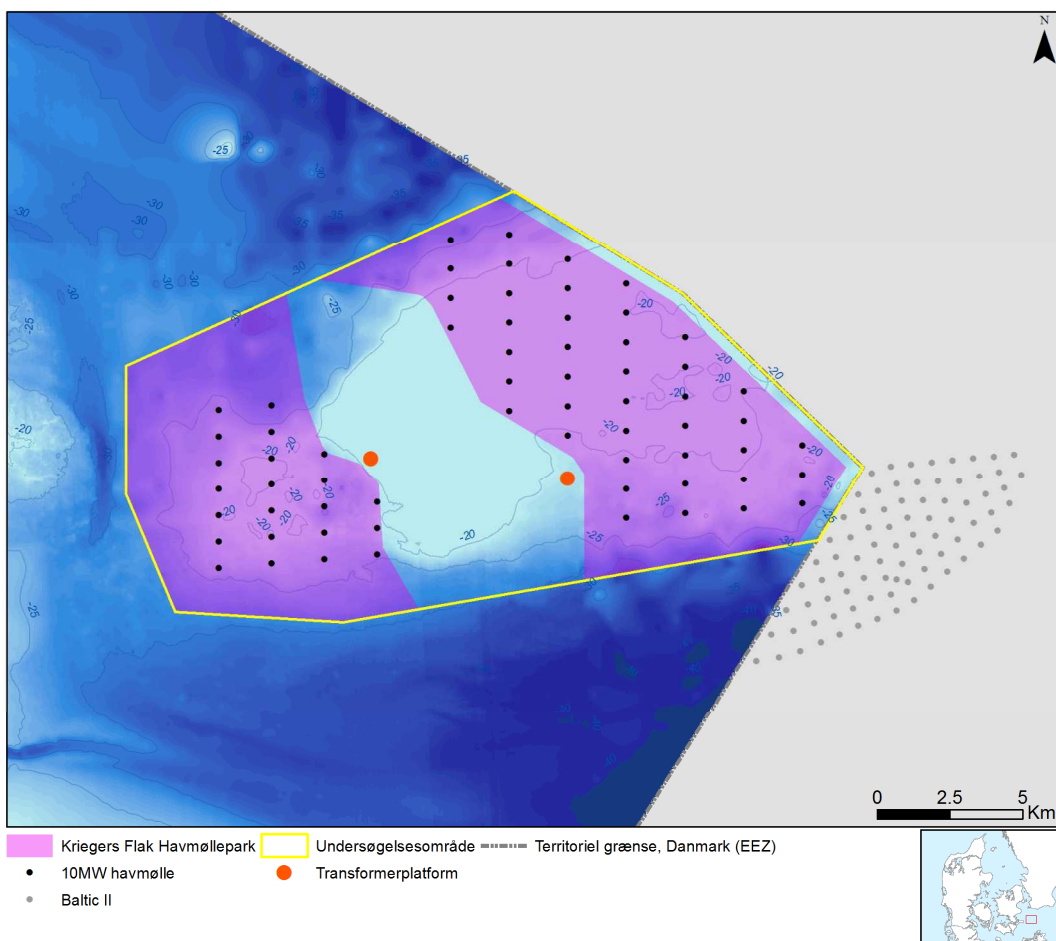
gers Flak-projektet. Derved sikres det, at alle havmølletyper mellem 3 MW og 10 MW uanset mølleproducent er indeholdt i projektbeskrivelsen.

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 udarbejdet. Det endelige parklayout kan ændres, da dette bestemmes af den kommende koncessionshaver. Mulige parklayouts for 3 MW og 10 MW havmøller fremgår af Figur 3-3 og Figur 3-4.



Figur 3-3: Muligt parklayout med 3 MW havmøller opdelt på den østlige (400 MW) og vestlige del (200 MW) af Kriegers Flak (lilla polygoner). Den gule linje angiver forundersøgsområdet. De to røde prikker 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 MW havmøller opdelt på den østlige (400 MW) og vestlige del (200 MW) af Kriegers Flak (lilla polygoner). Den gule linje angiver forundersøgelsesområdet. De to røde prikker markerer placeringen af transformerplatforme. I det sydøstlige hjørne af kortet vises havmøllerne i den tyske havmøllepark Baltic II.

3.5 Fundamenter

Der er i den tekniske projektbeskrivelse taget udgangspunkt i fire typer af havmøllefundamenter og disse danner rammen fra vurderingerne af virkninger på miljøet

De fire typer er:

- Monopælfundament
- Gravitationsfundament
- Jacketfundament
- Bøttefundament

3.5.1 Monopæle af stål

En monopæl er en simpel konstruktion, der består af et stålrør, som rammes ned i havbunden. Pæleramning kan vanskeliggøres af dybereliggende lag af groft grus eller sten. I sådanne tilfælde kan det være nødvendigt at bore for. For at undgå en eventuel forskel i diameter på monopæl og mølletårn installeres et overgangsstykke af stål mellem de to dele. Overgangsstykket fastgøres til toppen af monopælen med injektionsmørtel. Injektionsprocessen er beskrevet nærmere i næste afsnit.

Overgangsstykket på monopæle fastgøres med injektionsmørtel, som er et cementbaseret produkt, der anvendes til fastgørelse af pæle over hele verden. Injektionsmørtel består af et bindemiddel (her Ducorit®), som blandes med kvartssand eller bauxit for at opnå styrke og stivhed af produktet. Injektionsmørtel er ifølge CLP for cement klassificeret som et stof, der er til fare for mennesker (H315/318/335), men som ikke betragtes som et miljøproblem. Det injektionsmørtel, der skal bruges i havmøllerne på Kriegers Flak, vil være i overensstemmelse med relevante miljøstandarder.

Injektionsmørtelen vil enten blive blandet i store tanke ombord på jack up-plattformen eller på land og derefter transporteret til installationsstedet. Mørtelen vil typisk blive pumpet gennem præinstallerede rør, der skal sikre, at mørtelen bliver indført direkte mellem monopælen og overgangsstykket. Dette vil sikre, at spild af mørtel til det omgivende miljø minimeres, men noget mørtel kan dog frigives som en diffus emission i løbet af processen. Med et worst case-skøn på 5 % spild, bliver det op til 160 t for hele projektet.

Størrelsen af monopælene vil afhænge af de lokale forhold i området. Typiske mål for monopæle, som forventes anvendt i Kriegers Flak Havmøllepark er vist i Tabel 3-1.

MONOPÆL	3 MW	3,6 MW	4 MW	8 MW	10 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
Pælelængde	50-60 m	50-60 m	50-60 m	50-70 m	60-80 m
Vægt pr. pæl	300-700 t	300-800 t	400-900 t	700-1.000t	900-1.400 t
Nedramningsdybde under havbunds niveau	25-32 m	25-32 m	26-33 m	28-35 m	30-40 m
Total vægt (alle havmøller) (203/170/154/79/64 monopæle)	60.900- 142.100 t	51.000- 136.000 t	61.600- 138.600 t	55.300- 79.000 t	57.600- 89.600 t
OVERGANGSSTYKKE					
Længde	10-20 m	10-20 m	10-20 m	15-25 m	15-25 m
Ydre diameter (baseret på en konisk monopæl)	3,5-5,0 m	3,5-5,0 m	4,0-5,5 m	5,0-6,5 m	6,0-8,0
Vægt pr. pæl	100-150 t	100-150 t	120-180 t	150-300 t	250-400 t
Volumen af injektionsmørtel pr. pæl	15-35 m ³	15-35 m ³	20-40 m ³	25-60 m ³	30-70 m ³
Total vægt (alle havmøller) (203/170/154/79/64 overgangsstykker)	20.300- 30.450 t	17.000- 25.500 t	18.480- 27.720 t	11.850- 23.700 t	16.000- 25.600 t
EROSIONSBEKYTTELSE					
Volumen pr. fundament	2.100 m ³	2.100 m ³	2.500 m ³	3.000 m ³	3.800 m ³
“Foot print” (pr. fundament)	1.500 m ²	1.500 m ²	1.575 m ²	1.650 m ²	2.000 m ²
Mængde erosionsbeskyttelse (alle havmøller) (203/170/154/79/64 monopæle)	426.300 m ³	357.000 m ³	385.000 m ³	237.000 m ³	243.200 m ³
Totalt areal af erosionsbeskyttelse (alle havmøller) (203/170/154/79/64 monopæle)	304.500 m ²	255.000 m ²	242.550 m ²	130.350 m ²	128.000 m ²

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.*

Anlæg af monopæle

Det forventes ikke, at installation af monopæle kræver meget forarbejde, men fjernelse af forhindringer som f.eks. større sten på havbunden kan være nødvendig. Der kan udlægges et filterlag før pæleramningen, og efter installation af monopælen kan et andet lag erosionsbeskyttelse lægges oven på filterlaget. Erosionsbeskyttelse af nærliggende kabler kan også være nødvendig.

Anlæg af monopæle vil foregå fra enten et jack up-fartøj eller fra et flydende fartøj, der er udstyret med en-to kraner og rammeudstyr. Andet udstyr, herunder boreudstyr, kan blive anvendt, hvis nedramningen viser sig at være vanskelig. Derudover vil det være nødvendigt med flere hjælpe-fartøjer, bl.a. jack up-fartøj, støttefartøj, slæbebåd, sikkerhedsfartøj og et fartøj til mandskabsoverførsel.

Nedramning af hver enkelt monopæl vil typisk tage 4 til 6 timer. Installation af en monopæl og fastgørelse af overgangsstykket med injektionsmørtel vurderes at vare 1-2 dage.

3.5.2 Gravitationsfundament af beton

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.

Inden et gravitationsfundament placeres på havbunden, fjernes det øverste lag sediment og erstattes med sten for at sikre en stabil understøttelse af betonfundamentet, en såkaldt skærvepude. Dybden af udgravningen og størrelsen af skærvepuden afhænger af fundamentets design. Et "stålskørt", der trænger ned i havbunden, installeres ofte omkring fundamentet for at reducere evt. afretningsarbejder af havbunden og efterfølgende efterfyldning med sten under fundamentfladen. Dette forventes udført som beskrevet herunder, afhængigt af bundforholdene:

- Fjernelse af det øverste af havbunden ned til faste aflejringer. Gravearbejdet vil typisk foregå med en gravemaskine installeret om bord på en pram. Det afgravede materiale vil blive lastet på splitpramme.
- Det afgravede materiale vil blive erstattet med grus eller sten for at etablere et stabilt underlag for gravitationsfundamentet. Grus placeres i afgravningen for at danne et fast plant underlag.

Omfanget af klargøring af havbunden afhænger af bundforholdene. Herunder er angivet omfanget ved en gennemsnitlig udgravningsdybde på 2 m for alle fundamentpositioner, Tabel 3-2. Dog forventes der store variationer inden for havmølleparkens areal, og blød

bund forventes flere steder. Til slut beskyttes gravitationsfundamenterne (og måske nærtliggende kabler) mod erosion med et filterlag og armeringssten.

	3 MW	3,6 MW	4 MW	8 MW	10 MW**
Areal af udgravning (ca.)	23-28m	23-30m	27-33m	30-40m	35-45m
Afgravet materiale (pr. fundament)	900-1.300m ³	1.000- 1.500m ³	1.200- 1.800m ³	1.500- 2.500m ³	2.000- 3.200m ³
Volumen af afgravet materiale (203/170/154/79/64 havmøller)*	182.700- 263.900m ³	170.000- 255.000m ³	184.800- 277.200m ³	118.500- 197.500m ³	128.000- 204.800m ³
volumen af anbragte sten (per fundamenter) – stenbed	90-180m ³	100-200 m ³	130-230 m ³	200-300 m ³	240- 400m ³
Totalt volumen af anbragte sten (203/170/154/79/64 havmøller)	18.270- 36.540m ³	17.000- 34.000m ³	20.020- 35.420m ³	15.800- 23.700m ³	15.360- 25.600m ³
Scourbeskyttelse (pr. fundament)	600-800m ³	700-1,000m ³	800-1,100m ³	1.000- 1.300m ³	1.100- 1.400m ³
Foot print (pr. fundament)	800-1.100m ²	900-1.200m ²	1,000- 1.400m ²	1,200- 1.900m ²	1,500- 2.300m ²
Total scourbeskyttelse (203/170/154/79/64 havmøller)	121.800- 162.400m ³	119.000- 170.000m ³	123.200- 169.400m ³	79.000- 102.700m ³	70.400- 89.600m ³
Totalt foot print (203/170/154/79/64 havmøller)	162.400- 223.300m ²	153.000- 204.000m ²	154.000- 215.600m ²	94.800- 150.100m ²	96.000- 147.200m ²

*Tabel 3-2: Omfang af klargøring af havbunden ved en gennemsnitlig dybde på 2 m. * I tilfælde af en afgravningsdybde på mellem 4 og 8 m for 20 % af møllelokaliteterne vil det totale afgravede volumen omtrent fordobles. ** Meget usikkert estimat.*

En afgravning med en gennemsnitsdybde på 2 m vil kunne udføres på omkring tre dage pr. fundament. Det vil tage yderligere ca. tre dage at genfylde med sten. Gravearbejdet vil typisk foregå med en gravemaskine installeret ombord på en pram.

Det afgravede materiale vil blive lastet på splitpramme. Afgravning til ét gravitationsfundament forventes at producere mellem 5 og 10 pramlastninger. Dette svarer til 835-1.670 og 375-750 lastninger for havmølleparken afhængig af antal/størrelse af havmøllerne. Hvis udnyttelse af det afgravede materiale ikke er mulig, vil det blive deponeret til havs ved såkaldt "klapning".

Ballastmaterialet er sædvanligvis marint sand, som transporteres til mølleområdet vha. en pram. Et alternativ til sand kan være et tungere ballastmateriale som f.eks. mineralerne olivene og norit (ikke giftige materialer), som har en højere massefylde en sand. Derved er der mulighed for at reducere fundamentets størrelse. Ballastmateriale kan enten pumpes ind eller installeres i ballastkamrene ved brug af gravemaskiner.

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

GRAVITATIONSFUNDAMENT	3 MW	3,6 MW	4 MW	8 MW	10 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
Vægt af beton pr. fundament	1.300-1.800 t	1.500-2.000 t	1.800-2.200 t	2.500-3.000 t	3.000-4.000 t
Total vægt af beton (alle havmøller)	263.000-364.000 t	254.000-338.000 t	274.000-335.000 t	193.000-230.000 t	186.000-248.000 t
BALLAST					
Type	Sand	Sand	Sand	Sand	Sand
Volumen pr. enhed	1.300-1.800 m ³	1.500-2.000 m ³	1.800-2.200 m ³	2.000-2.500 m ³	2.300-2.800 m ³
Total volumen (m ³) (203/170/154/79/64 havmøller)	263.900-365.400 m ³	255.000-340.000 m ³	277.200-338.800 m ³	158.000-197.500 m ³	147.720-179.200 m ³

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

Installation af gravitationsfundamenterne vil sandsynligvis ske fra et jack up-fartøj med hjælp fra slæbebåde og støttefartøjer. Fundamenterne vil enten blive transporteret til anlægsområdet på pramme eller blive slæbt ved hjælp af flydere. Ved ankomst til anlægsområdet vil fundamenterne blive sænket ned på de forberedte skrævepuder og fyldt med ballast.

Det forventes, at der under gravearbejdet vil ske et spild af sediment til vandsøjlen. Det anslås, at dette spild i værste fald vil udgøre op til 5 % af det afgravede materiale. Dette svarer til op til 200 m³ pr. fundament. Spildet vil være fordelt over de tre dage, gravearbejdet foregår.

3.5.3 Jacketfundamenter

Afhængigt af bundforholdene kan det være nødvendigt at afgrave havbunden forud for installation af jacketfundamenter, f.eks. hvis der er meget blød havbund pga. sandbanke.

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

På toppen af gitterkonstruktionen monteres et overgangsstykke i stål. Overgangsstykket forbinder gitterkonstruktionen med mølletårnet. Platformen selv forventes at have en dimension på ca. 10 x 10 m, og gitterkonstruktionen mellem 20 x 20 m og 30 x 30 m mellem benene.

Fastgørelse af jacket med pæle i havbunden kan gøres på flere måder:

- Pæleramning inde i benene
- Pæleramning gennem pæle vedhæftet til benene
- "For-ramning" med en midlertidig pæl

Jacketfundamentets ben vedhæftes til pælene med cement af velkendte og veldefinerede materialer, som anvendes i offshore-industrien. Der anvendes en pæl pr. ben på jacketfundamentet.

Ved installation monteres jackets med såkaldte "mudmats" ved bunden af hvert ben. Mudmats er store konstruktioner, som normalt er lavet af stål. De anvendes midlertidigt for at forebygge, at jacketfundamentet synker ned i blødt sediment. Normalt vil pæleramning og placering af mudmats foregå vha. et jack up-fartøj, som er transporteret til havmølleområdet. Mudmats efterlades på havbunden, når jackets er monteret, selv om de i det væsentlige er overflødige efter installation af funderingspælene. Størrelsen af mudmats afhænger af vægten af jackets, havbundens bæreevne samt lokale bølge- og strømforhold.

Erosionsbeskyttelse af funderingspæle og kabler afhænger af bundforholdene. På sandbund er erosionsbeskyttelse nødvendig for at forebygge, at konstruktionen undermineres. Erosionsbeskyttelse består af naturlige sorterede sten eller sprængt klippe.

Størrelsen af jacketfundamenter vil afhænge af de lokale forhold, hvor fundamenterne installeres (Tabel 3-4).

JACKETS	3 MW	3,6 MW	4 MW	8 MW	10 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
Pælelængde	40-50 m	40 - 50 m	40 - 50 m	50-60 m	60-70 m
Pælediameter	1.200 – 1.500 mm	1.200 – 1.500 mm	1.300 – 1.600 mm	1.400 – 1.700 mm	1.500 – 1.800 mm
Erosionsbeskyttelse volumen (per fundament)	800 m ³	1.000 m ³	1.200 m ³	1.800 m ³	2.500 m ³
'Foot print' areal (pr. fundament)	700 m ²	800 m ²	900 m ²	1.300 m ²	1.600 m ²
Total mængde erosionsbeskyttelse (203/170/154/79/64 havmøller)	162.400 m ³	170.000 m ³	184.800 m ³	142.200 m ³	160.000 m ³
Total 'foot print' areal (m ²) (203/170/154/79/64 havmøller)	142.100 m ²	136.000 m ²	138.600 m ²	102.700 m ²	102.400 m ²

Tabel 3-4: Dimensioner for jacketfundamenter. * Meget usikkert estimat.

Normalt vil pæleramning og placering af "mudmats" foregå vha. et jack up-fartøj, som er transporteret til havmølleområdet.

3.5.4 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.

Bøttefundamenterne kan bugseres direkte til anlægsområdet af to slæbebåde, og placeres af en kran på et jack up-fartøj.

Fundamenterne kan også installeres på jack up-fartøjet direkte på havnen og transporteres af slæbebåde til anlægsområdet.

Installation af bøttefundamenter kræver ikke forudgående klargøring af eller dykkere på stedet. Derudover er der kun et begrænset – eller ikke noget behov for at anvende erosionsbeskyttelse på bøttefundamenter.

3.6 Transformertplatforme

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 højspændingsvekselsstrømlatform forventes at være 30-35 m over havoverfladen.

Kablerne fra havmøllerne vil blive ført gennem J-rør til HVAC-platformene, hvor de vil blive forbundet til mellemspændingskomponenter (33 kV), som er forbundet med højspændingstransformerplatformene.

De to HVAC-platforme vil blive forbundet med et 220 kV søkabel.

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

3.6.1 Fundamenter til transformerplatforme

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. Fundamenterne vil have J-rør til begge kabler med en diameter på 300-400 mm og et ilandføringskabel med en diameter op til 700-800 mm.

Jacketfundament

Størrelsen af jacketfundamentet vil blive tilpasset de lokale forhold, hvor fundamentet installeres. Eksempler på dimensioner er angivet i Tabel 3-5.

Ved installation monteres jackets med mudmats ved bunden af hvert ben. Mudmats anvendes midlertidigt for at forebygge, at konstruktionen synker ned i blødt sediment. Den funktionelle levetid af disse mudmats er begrænset, da de i det væsentlige er overflødig efter installation af funderingspælene. Størrelsen af mudmats afhænger af vægten af jackets, jordbundens bæreevne og lokale forhold.

Jacketfundament	HVAC-platform
Afstand mellem benene ved havbunden	20 x 23 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 3-5: Dimensioner på jacketfundament ved HVAC-platforme.

Gravitationsbaseret struktur

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

Installation af en platform med jacketfundament vil ske med et stort kranfartøj med en løftekapacitet på minimum 2000 tons. Det vil tage 4-6 dage at installere fundament og overdel med arbejde døgnet rundt.

Klargøring af havbunden før et gravitationsfundament installeres starter med fjernelse af det øverste af havbunden ned til faste aflejringer. Dette foregår med en gravemaskine på et skib eller vha. et gravefartøj. Det afgravede materiale vil blive lastet på splitpramme for efterfølgende klappning på et udpeget areal. Et mindre fundamentspild (et konservativt skøn er 5 %) må forventes ved anlægsarbejdet.

Det afgravede materiale vil blive erstattet med grus eller sten for at etablere et stabilt underlag for gravitationsfundamentet, en såkaldt skærvepude. Til slut beskyttes fundamentet mod erosion med filterlag og armeringssten.

	HVAC-plattform
Størrelse af udgravning	30 x 40 m
Mængde af udgravet materiale	2.400 m ³
Sten i udgravning (ca.)	2.000 m ³
Erosionsbeskyttelse	1.800-3.000 m ³

Tabel 6: Omtrentlige mængder af afgravet materiale, sten og erosionsbeskyttelse ved installering af et gravitationsfundament med en gennemsnitlig udgravningsdybde til jacketfundament på 2 m (HVAC-plattform).

3.7 Søkabler

3.7.1 Inter-array-kabler

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

Ved transformersplatformen installeres inter-array-kablerne sandsynligvis i såkaldte J-rør, som fører kablerne op i transformersplatformen, hvor kablerne forbindes med højspændingsdelen af transformeren.

Længden af inter-array-kablerne vil afhænge af størrelsen af havmøllerne og havmølleparkens layout.

Installation af inter array-kablerne inddeles i følgende operationer:

- Installation mellem havmøllerne
- Forbindelse til transformersplatforme
- Forbindelse til havmøller

Afhængigt af havbundsforholdene vil kablerne enten blive jettede eller dækket med sten for beskyttelse. Jetting udføres med en ROV (Remote Operate Vessel), som placeres over kablet. Mens jettingen udføres, flyttes ROV'en fremad, og kablet falder ned i renden i havbunden.

Inter array-kablerne graves ca. 1 meter ned i havbunden som beskyttelse mod fiskeaktiviteter, ankre osv. Gravedybden kan variere og afhænger af bundforholdene og det valgte graveudstyr.

Søkabler graves sandsynligvis ned vha. en kombination af to teknikker:

- 1) Forgravning af kabelruten med en gravemaskine
- 2) Jetting med enten en ROV eller en manuelt styret spulemaskine, som fluidiserer en rende, som kablet placeres i.

Når kablerne er installeret, vil renden naturligt blive fyldt op med sediment pga. strømmen.

3.7.2 Ilandføringskabler

Ilandføringskablet forbinder den 600 MW store havmøllepark på Kriegers Flak med det danske elnet fra offshore transformerplatformene på Kriegers Flak til ilandføring syd for Rødvig. Afstanden fra offshore transformerplatformene til de mulige ilandføringspunkter er ca. 42 km.

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

Søkablerne fra transformerplatformene til ilandføringspunktet ved Rødvig vil på det meste af strækningen være parallelle med en afstand på ca. 100 m mellem de to kabler. Tæt på stranden (ca. de sidste 500 m) vil afstanden mellem søkablerne være ca. 30 – 50 m.

Kriegers Flak, hvor kablerne skal installeres, består af blødt (sand) og hårdt (ler/kalk) sediment. Det forventes, at ilandføringskablet lægges på havbunden i ét stykke og placeres i ca. en meters dybde.

Beskyttelse af kablerne mod eksponering som resultat af sedimentomlejring i det kystnære område vil foregå vha. HDD (Horizontal Directional Drilling). Den specifikke type af installation vil afhænge af bundforholdene.

Nedspuling vil blive udført i én operation, som er uafhængig af udlægningen af kablerne. Det forventes, at kablet placeres i en rute uden om store sten. Hvis der skal flyttes sten, vil disse blive placeret lige ved siden af kabeltracéet, men inden for det område, der er omfattet af det geofysiske survey.

Det forventes, at op til 50 % af havbunden langs kabeltracéet er hårdbund. Her vil den forgravede rende være 1-2 meter dyb og 0,7 – 1,5 m bred.

Gravearbejdet kan udføres vha. en gravemaskine, som placeres på et skib eller en pram, eller det kan foregå vha. plov. Det suspenderede sediment vil sedimentere i nærheden af kabelrenden. For-gravning vil kunne foregå et år før kabelinstallationen.

Efter at kabelrenden er lavet, installeres ilandføringskablet vha. et kabelskib eller en pram, som er selvbevægende eller styres vha. ankre eller slæbebåde. Det kan blive nødvendigt at oprense kabelrenden, lige før kablet skal installeres, og der vil som oftest også være behov for at spule kablet yderligere ned i sedimentet efter installationen.

I forbindelse med nedspuling af kablet vil der foregå en sedimenttransport med strømmen væk fra kabelrenden. Dette har indflydelse på mængden af det sediment, som skal tilbagefyldes i renden efter kabellægningen. Genopfyldning kan foregå med naturligt sediment. Grundlæggende vil spuling foregå som en kontinuert proces. Der kan dog være områder, hvor spulingen foretages mere end én gang pga. havbundsforholdene. På Kriegers Flak-projektet er det estimeret, at spuling af ilandføringskabler vil vare 3-4 måneder, når man ser bort fra vejrlig.

Det skal bemærkes, at spuling i særlige tilfælde kan udføres vha. dykker. Dybden af kabelrenden kan i sådanne tilfælde være reduceret til mindre end 1 meter, afhængigt af den specifikke situation og havbundsforholdene.

3.8 Demontering af havmølleparken

Levetiden af havmølleparken forventes at være 25 år. Det forudsættes, at to år før udløb af havmøllernes levetid skal koncessionshaver indsende en demonteringsplan. Uanset demonteringsmetoden skal denne være i overensstemmelse med best practice og alle gældende lovkrav vedrørende demontering på det pågældende tidspunkt.

Formålet med demonteringsprocessen er at minimere både de kortsigtede og langsigtede effekter på miljøet, samt at sikre sikkerheden til søs. Baseret på viden om den eksisterende teknologi antages det, at demontering af havmølleparken vil omfatte følgende:

- Havmøllerne fjernes helt
- Strukturer fjernes helt eller delvist til havbunds niveau
- Nedgravede inter-array-kabler fjernes helt
- Ilandføringskabler fjernes helt
- Kabellandingen fjernes helt
- Erosionsbeskyttelsen efterlades på havbunden

Optagning af nedgravede kabler

Ved optagning af nedgravede kabler vil processen for optagning grundlæggende være modsat kabellægningsprocessen. Materiellet anvendes modsat, kablerne oprulles på skibe eller skæres i 1,5 lange stykker, så snart det er taget op. Disse stykker transporteres vha. skibe til bortskaffelse i passende ordning for genbrug, genanvendelse eller bortskaffelse på land.

Nedtagning af fundamenter

Fundamenterne nedbrydes helt eller delvist. På nedrivningstidspunktet forventes strukturerne at have udviklet sig til naturlige stenrev, og fjernelse forventes at påføre større skade på naturen, end hvis de forbliver på stedet. Genbrug eller fjernelse af fundamenter skal aftales med myndighederne i forbindelse med godkendelse af demonteringsplanen.

Erosionsbeskyttelse

Erosionsbeskyttelsen vil sandsynligvis blive efterladt på stedet og en større del af erosionsbeskyttelsen forventes at være sunket ned i havbunden. Det forventes også, at erosionsbeskyttelsen vil fungere som naturlige stenrev og at fjernelse vil påføre større skade på naturen end hvis de forbliver på stedet. Genbrug eller fjernelse af erosionsbeskyttelsen skal aftales med myndighederne i forbindelse med godkendelse af demonteringsplanen.

4. Beskrivelse af potentielle påvirkninger og mulige effekter

De potentielle påvirkninger og effekter på havbundsmorfologi, kystmorfologi samt sediment- og vandkvalitetsforholdene ved etablering af en havmøllepark på Kriegers Flak beskrives i det følgende.

4.1 Påvirkninger og effekter i anlægsfasen

Potentielle påvirkninger i anlægsfasen skyldes spild fra diverse graveaktiviteter i anlægsfasen, medførende en øget koncentration af suspenderet sediment og aflejring af sediment, som overstiger normale niveauer i området. Suspensionen af sediment fra anlægsaktiviteternes sedimentspild vil også kunne påvirke turbiditeten og medføre øgede koncentrationer af næringssalte, miljøfremmede stoffer og organisk materiale i vandet og på havbunden, hvor sedimentet aflejres, hvorved iltforholdene kan påvirkes lokalt.

Forhøjede sedimentkoncentrationer samt skyggeeffekt, øget netto-sedimentation samt tilførsler af næringssalte og miljøfremmede stoffer kan potentielt påvirke flora og fauna i det påvirkede område.

4.2 Påvirkninger og effekter i driftsfasen

I driftsfasen vil fundamenternes og havmøllernes tilstedeværelse potentielt forøge strømningsmodstanden og ændre bølgemønstret. Dette skyldes den friktion, der introduceres på vand og vind, når en del af bølgeenergien reflekteres og diffrakteres omkring fundamentene, og når havmøllerne blokerer for vinden og reducerer vindhastighederne og dermed bølgeenergien i området. Dette kan medvirke til forøget opblanding og sedimentspredning. Den største påvirkning vil optræde i umiddelbar nærhed af havmøllerne. Fundamentene vil også bidrage til øget lokal sedimentspredning, såfremt havbunden omkring fundamentene ikke erosionsbeskyttes.

Såfremt havmølleparken medfører ændringer i vandskiftet i tilstødende hav- og kystområder, vil dette potentielt kunne medføre ændringer i vandkvaliteten i form af ændringer i koncentrationer af næringsstoffer, organisk stof og miljøfremmede stoffer.

Potentielle effekter af ændrede sedimentforhold og vandkvalitet i driftsfasen er ændringer i kystmorfologi, scour- og sedimentspredning samt vandkvalitet, som skyldes tilstedeværelsen af havmøllernes fundamenter. En ændring af den tilgængelige strøm- og bølgeenergi kan potentielt ændre transporten af sediment, og dermed påvirke kystmorfologien af nærliggende kystlinjer.

4.3 Påvirkninger og effekter i demonteringsfasen

Nedtagning af havmøller og fjernelse af søkabler vil potentielt medføre de samme påvirkninger af sediment- og vandkvalitetsforholdene, som anlægsaktiviteterne medfører.

4.4 Vurderinger af miljøpåvirkninger

Vurderingerne i denne rapport omhandler følgende:

- Potentielle påvirkninger i anlægsfasen forårsaget af graveaktiviteter og installation af kabler medførende sedimentspild (suspension af sediment i vandfasen, skyggevirksomhed samt sedimentation).
- Potentielle påvirkninger i driftsfasen forårsaget af tilstedeværelsen af havmøllernes og transformerplatformenes fundamenter medførende scourudvikling ændrede opblandingsforhold samt ændringer i kystmorfologi.
- Potentielle påvirkninger i demonteringsfasen forårsaget af nedrivning af fundamenter og optagning af kabler medførende sedimentspild medførende suspension af sediment i vandfasen, skyggevirksomhed samt sedimentation.
- Potentielle kumulative påvirkninger forårsaget af kumulation med andre projekter og medførende ændringer af kystmorfologi, scour og vandkvalitet.

5. Metode

Kortlægning af den eksisterende viden om sedimentforhold og vandkvalitet er foregået ved gennemgang af litteratur samt på baggrund af analyse af sedimentprøver fra forundersøelsesområdet.

Vurderingerne er foretaget med udgangspunkt i en fremskrevet situation, hvor havmølleparken vil være i drift senest i år 2021 og konstrueres i en periode på 2-2½ år forinden da. De potentielle påvirkninger er belyst igennem modellering. Modelleringen giver mulighed for at bestemme ændringer i sedimentationsforhold, skygning i forbindelse med gravearbejder og spredning af sediment.

Modellering af sedimentspredning i mølleområdet er udført med udgangspunkt i det opstillingsmønster for havmøllerne, som var gældende på det tidspunkt, arbejdet blev udført. Der er siden da ændret i mølleparkens layout, idet enkelte havmøller i mølleparkens østlige del er flyttet få hundrede meter mod vest, fordi de var placeret tættere på EEZ-grænserne til Sverige og Tyskland end 500 m. Derudover gives der mulighed for at etablering af ekstra havmøller for at sikre, at en tilstrækkelig strømproduktion opretholdes i perioder, hvor havmøller er ude af drift. Ved 3 MW havmøller gives mulighed for at etablere i alt 203 stk. havmøller, mens der ved 10 MW havmøller gives mulighed for at etablere 64 stk. havmøller. Det vurderes, at disse projektændringer ikke giver anledning til ændringer i vurderingerne af påvirkninger af sedimentforhold og vandkvalitet, og der er derfor ikke gennemført nye simuleringer.

Vurderingerne af påvirkningerne er foretaget som beskrevet i "Vurderingsmetode VVM Kriegers Flak Havmøllepark" (NIRAS, 2013a).

5.1 Definition af undersøelsesområdet og nærområdet

Undersøelsesområdet

Undersøelsesområdet er defineret som det område, der er inkluderet i modelleringen af sedimentforhold. Området afgrænset af Møn i vest, Tyskland i syd, Bornholm i øst, det sydlige Sverige og Øresund i Nord. Dette er begrundet i at de finere sedimentfraktioner har relativt lave faldhastigheder og derfor i situationer med høje strømhastigheder vil kunne blive spredt over store afstande.

Nærområdet

Nærområdet er bestemt ud fra det område, hvor aktiviteterne i forbindelse med anlægsfasen kommer til at foregå. Nærområdet er defineret som området, der er udlagt til havmølleparken og transformerplatformene samt kabelruten (en korridor på +/- 300 m).

5.2 0-alternativet

For at kunne lave en vurdering er det nødvendigt med et sammenligningsgrundlag, det såkaldte "0-alternativ", som er en situation, hvor havmølleparken ikke etableres.

5.3 Worst case

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

Hvad fundamenter angår, vil gravitationsfundamenter give de største gravemængder og dermed størst sedimentspredning.

3 MW havmøller er anvendt som worst case, da dette scenarie indeholder det maksimale antal havmøller og vil give de største afgravningsmængder. Dog vil de samlede afgravningsmængderne for gravitationsfundamenter for de forskellige mulige typer af havmøller (fra 3 MW – 10 MW) være af samme størrelsesorden.

For inter-array-kabler er det ikke afgørende, hvilken mølletype, der vurderes på, da større havmøller blot betyder større afstand mellem havmøllerne og samlet set omtrent samme kabellængde som ved flere, mindre havmøller. Længden af kabel, der skal nedlægges (enten graves eller nedspules) resulterer dermed i et materialespild i samme størrelsesorden for både store og små havmøller.

Både inter-array-kablerne og eksportkablet forventes enten at skulle spules eller graves/pløjes ned. For inter-array-kablerne, hvor havbunden hovedsageligt består af moræner, vil der i worst case-situationen skulle anvendes en spulemetode, hvor alt sediment potentielt kommer i suspension. Derfor er det valgt at lade nedspuling af inter-array-kablerne foregå med 100 % sedimentspild som worst case. Langs eksportkablet er havbunden i overvejende grad sand, og der kan graves, pløjes eller spules med en metode, hvor havbunden fluidiceres. Disse metoder vil i værste fald give et sedimentspild på 100 %. Derfor er der regnet med et sedimentspild på 100 % ved nedspuling af eksportkablet.

Mht. scour vurderes worst case at være bedst repræsenteret ved kombination af hhv. monopæle og gravitationsfundamenter idet der erfaringsmæssigt kan forventes udvikling af de dybeste huller omkring monopæle, mens der for gravitationsfundamenter erfaringsmæssigt kan forventes den største arealmæssige udbredelse.

5.4 Havbundsmorfologi

Havbundsmorfologien beskrives med udgangspunkt i de foreliggende geofysiske undersøgelser samt eksisterende baggrundslitteratur.

5.5 Kystmorfologi

Indvirkninger på kystmorfologien vil grundet havmølleparkens placering kun kunne forårsages af eventuelle ændringer i bølgeforholdene. For situationer med - og uden havmølleparken sammenholdes bølgeklimate. Påvirkningen er vurderet ved brug af bølgemodellen MIKE 21 SW, som er udviklet af DHI.

5.6 Sedimentspredning /spild

For visse af de valgte fundamenttyper vil der i anlægsfasen eventuelt skulle afgraves eller bores i forbindelse med installation. Begge aktiviteter kan give anledning til spild af sediment. Ligeledes vil nedlægning af inter-array-kabler og eksportkabler også give anledning til spild af sediment. Sedimentspredninger er vurderet ved brug MIKE 21/3 PA, som er en sedimentspredningsmodel, der på baggrund af strømforholdene, vanddybden, kornstørrelser, faldhastigheder m.m. kan simulere flytningen af det spildte materiale i tid og rum. MIKE 21/3 PA er beregner transporten for en partikel givet af strøm, dispersion og faldhastigheden, hvor strømmen interpoleres til den aktuelle position ud fra beregningsnettet i den hydrodynamiske model (GETM). Modellen kan regne på flere sedimentfraktioner på samme tid med mulighed for tidslig variation i kildestyrke og position, både horisontalt og vertikalt. Allesammen forhold, som gør modellen velegnet til beregning af spildfaner fra graveaktiviteter, der typisk foregår fra en punktkildemed en relativ smal spildfane i nærfeltet. Mike 21/3 PA er en lagransk model, som til forskel fra en ulersk model, ikke af et grid, men holder styr på hver partikel horisontalt og vertikalt.

5.7 Scour

Udvikling af scour vil forekomme, såfremt overgangen mellem fundament og havbund ikke beskyttes. Der vil også kunne forekomme scour på kanten af en evt. scourbeskyttelse. Den tidlige udvikling i dybde og udbredelse afhænger af havbundstypen samt bølger og strøm.

Vurderingen af udviklingen af scour er foretaget med udgangspunkt i eksisterende viden (empiriske formler, som er direkte afhængige af dimensionerne på fundamentet).

5.8 Vandkvalitet

For anlægsfasen vurderes indvirkningen på vandkvaliteten på baggrund af sediment-spredningsberegninger via det samlede spild og indholdet af organiskstof, evt. skyggeeffekter og sedimentation.

I driftsfasen er det fundamenternes indvirkning på strømmen og bølgerne, som kan forårsage øget erosion omkring fundamentene og evt. indvirke på opblandingen mellem de forskellige vandlag. Den øgede erosion omkring fundamentene, for det tilfælde at der ikke er foretaget scourbeskyttelse, er vurderet baseret på empiriske formler.

5.9 Metode til vurdering af potentielle påvirkninger

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 demonteringsfasen. I indeværende rapport er der dog størst fokus på miljømæssige påvirkninger i driftsfasen, fordi såvel anlægsfasen som demonteringsfasen 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, anlægsmetode, anlægsperiode eller driftsperiode.

Tabel 5-1: 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 5-1: Oversigt over sammenhængen mellem påvirkningsgrad og brug af afværgeforanstaltninger.

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

6. Eksisterende forhold

6.1 Geologi og geomorfologi

Kriegers Flak er en lavandet, submarin banke, beliggende i den sydlige del af Østersøen øst for Møn (se også kapitel 3). Prækvartæroverfladen består af kalkaflejringer fra Sen Kridt, som er overlejret af glaciale og postglaciale sedimenter (Vattenfall Vindkraft AB, 2009).

Det glaciale landskab ved Kriegers Flak er domineret af meterhøje NV-SØ gående morænehøjderygge i den NØ og SV del af området (Sweden Offshore Wind AB, 2004; Vattenfall Vindkraft AB, 2009). Det antages, at Kriegers Flaks overordnede geometri med de glaciale højderygge blev dannet ved glaciotehtonisk deformation, og de mellemliggende fordybninger blev fyldt med senglaciale og holocæne sedimenter (Rambøll, 2013a). Således er der på læsiden af moræneryggen blevet aflejret sand og grus som følge af oddedannelser under Littorina transgressionen (Vattenfall Vindkraft AB, 2009; Jensen et al., 2011). Disse områder er en stadig kilde til erosion og transport af sand og grus til andre områder (Vattenfall Vindkraft AB, 2009; Jensen et al., 2011).

Under tidligere transgressioner, højstande og regressioner blev de glaciale højderygge ved Kriegers Flak eroderet af bølger og strømme. Det eroderede materiale blev transporteret og genaflejret på kyster og i bassiner (Rambøll, 2013a).

Generelt er de mere finkornede sedimenter blevet eroderet væk, hvilket betyder, at de overfladenære sedimenter består af moræneler dækket af grovere sedimenter, primært fint til groft sand med sten på den centrale del af Kriegers Flak (Vattenfall Vindkraft AB, 2009).

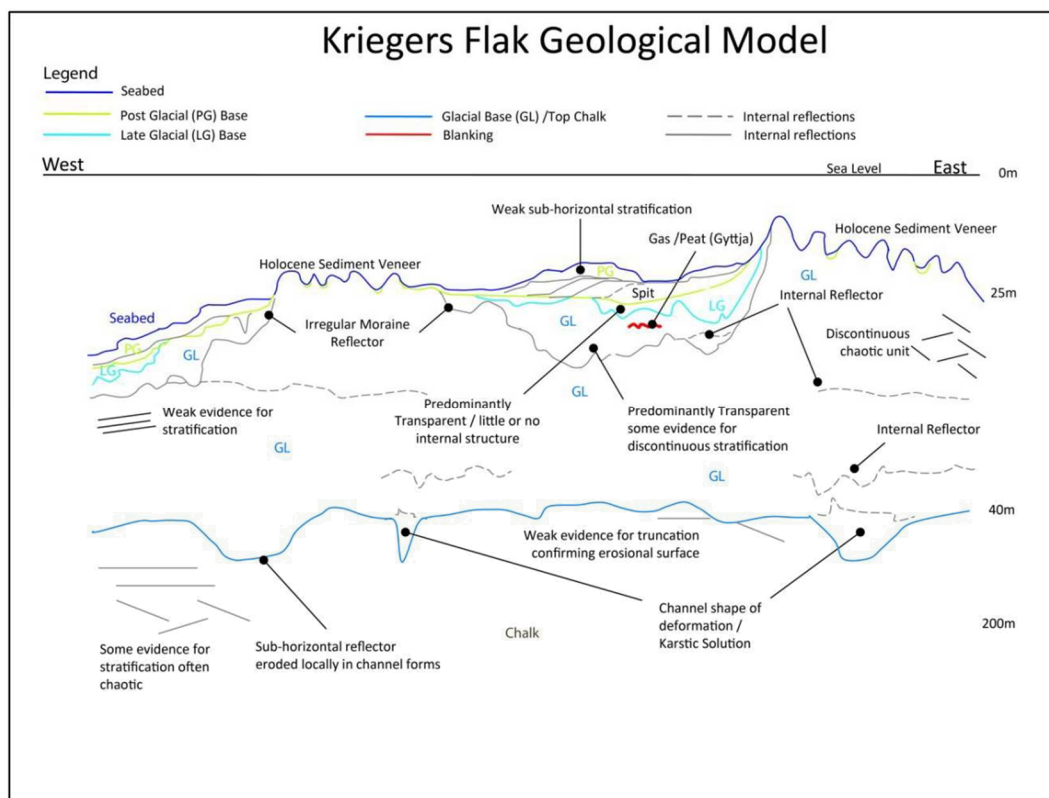
Særligt på den danske del af flakket er overfladesedimenterne præget af sand med lokale indslag af grus og sten. Bølgeripper og stedvise megarrubber kan også forefindes. Dynede områder findes i den nordvestlige del. Den centrale del er præget af residualbund på moræne og den nordlige del menes at indeholde residualbund på kvartært ler og tørv (Jensen et al., 2011).

6.2 Geologisk model

På baggrund af de indsamlede seismiske og geotekniske data er der udarbejdet en geologisk model for Kriegers Flak (Rambøll, 2014). I alt er der tolket fire horisonter, som har gjort det muligt at inddele den geologiske lagserie ned til kalken i tre enheder, jævnfør Tabel 6-1 og Figur 6-1.

Enhed	Beskrivelse		Dybde til bunden af enheden (meter under havniveau)	Tykkelse af enhed (meter)
	Alder	Sedimenttyper		
Postglacial (PG)	Postglacial	Marint sand og organisk sand	15,5-32,5 m	0-11 m
Senglacial (LG)	Senglacial	Glaciolacustrine ferskvandsaflejringer, soliflukteret sand og smeltevands ler og sand	17,9-41,1 m	0-14 m
Glacial (GL)	Glacial - Øvre Weichsel	Smeltevands ler, silt og sand samt till	33,2-140,8 m	0-109 m
	Sandnes – interstadial	Organisk ler og tørv		
	Glacial - Weichsel	till		
Kridt	Kridt	Kalksten	Ej observeret	Ej observeret

Tabel 6-1: Geologiske enheder fundet ved Kriegers Flak (Rambøll, 2014).



Figur 6-1: Geologisk forståelsesmodel for Kriegers Flak (Rambøll, 2014).

Kridt

Basis af kridt-enheden (Chalk) kendes ikke ud fra de geofysiske og geotekniske data. Kalkoverfladen derimod, er kendt og svarer til basis for den glaciale enhed (GL) (Figur 6-1). Dybden til kalkoverfladen i området varierer mellem 33-141 meter under havniveau. Den øvre del af Kridt-enheden består af mudderet hvid kalksten med mange inde-sluttede flintesten.

Glacial

Basis af glacial-enheden (GL) er beskrevet ovenfor. Enheden er aflejret under Weichsel Istiden og er den mægtigste af de tre post kretassiske enheder med mægtigheder på mellem 0-109 m og går i dagen flere steder, som det bl.a. kan ses på Figur 6-1. Uden for kanalerne er enheden typisk 10-40 m tyk. Enheden består af smeltevandsler, silt og sand samt till. Desuden er der truffet organisk ler og tørv, som formodes at stamme fra Sandnes Mildningen.

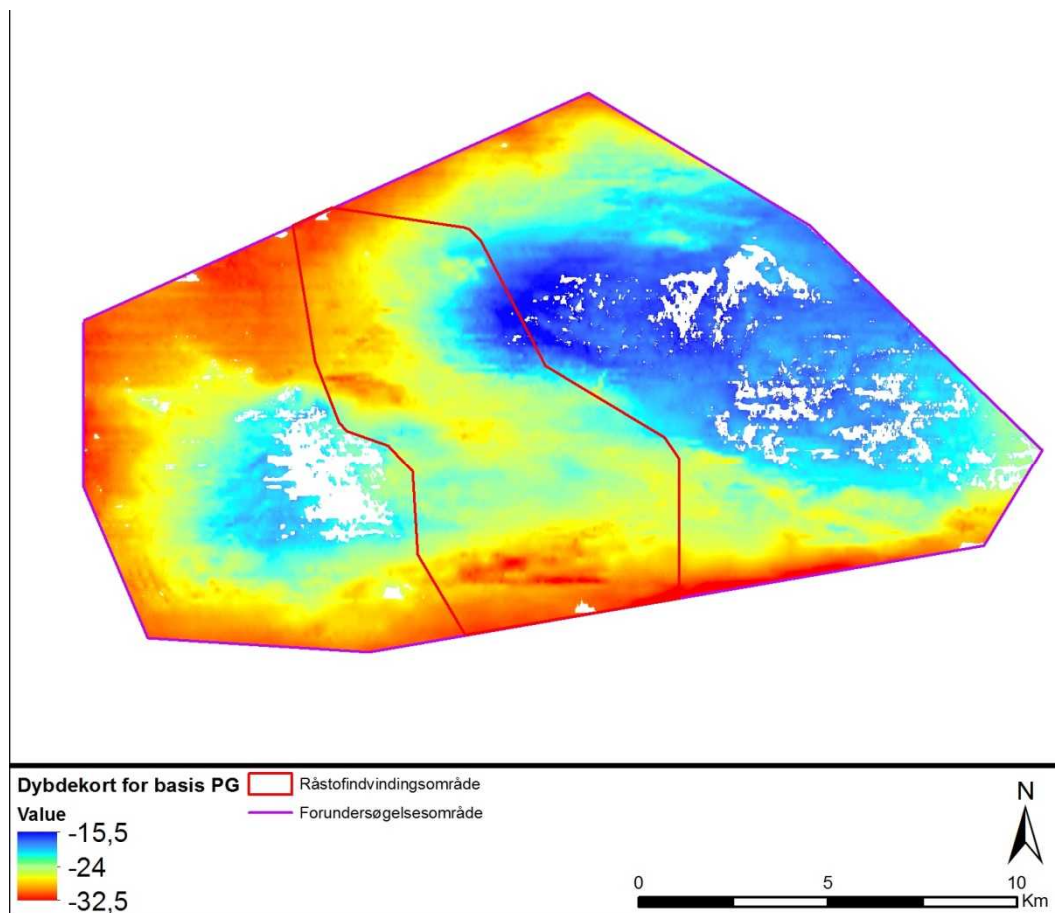
Senglacial

Senglacialenheden (LG) er af pleistocæn alder. Senglacialenheden ses som fyld aflejret i lavninger oven på den irregulære/undulerende glaciale overflade. Enheden mangler i den central/vestlige del og i den østlige del af områder, hvor de glaciale till-aflejringer går i dagen (Figur 6-1). Enheden træffes mellem 18-41 meter under havniveau og tykkelsen varierer mellem 0-14 m, hvoraf de største mægtigheder findes i den sydlige del af området. Senglacialenheden består af sortererede sedimenter, herunder glaciolacustrine ferskvandsaflejringer, soliflukteret sand og smeltevandsler og sand, som blev aflejret i et peri-glacialt miljø foran en tilbagesmeltende gletsjer. Sedimenterne er derfor mindre konsoliderede end de underliggende till-aflejringer, da de ikke er blevet påvirket af en større ismasse.

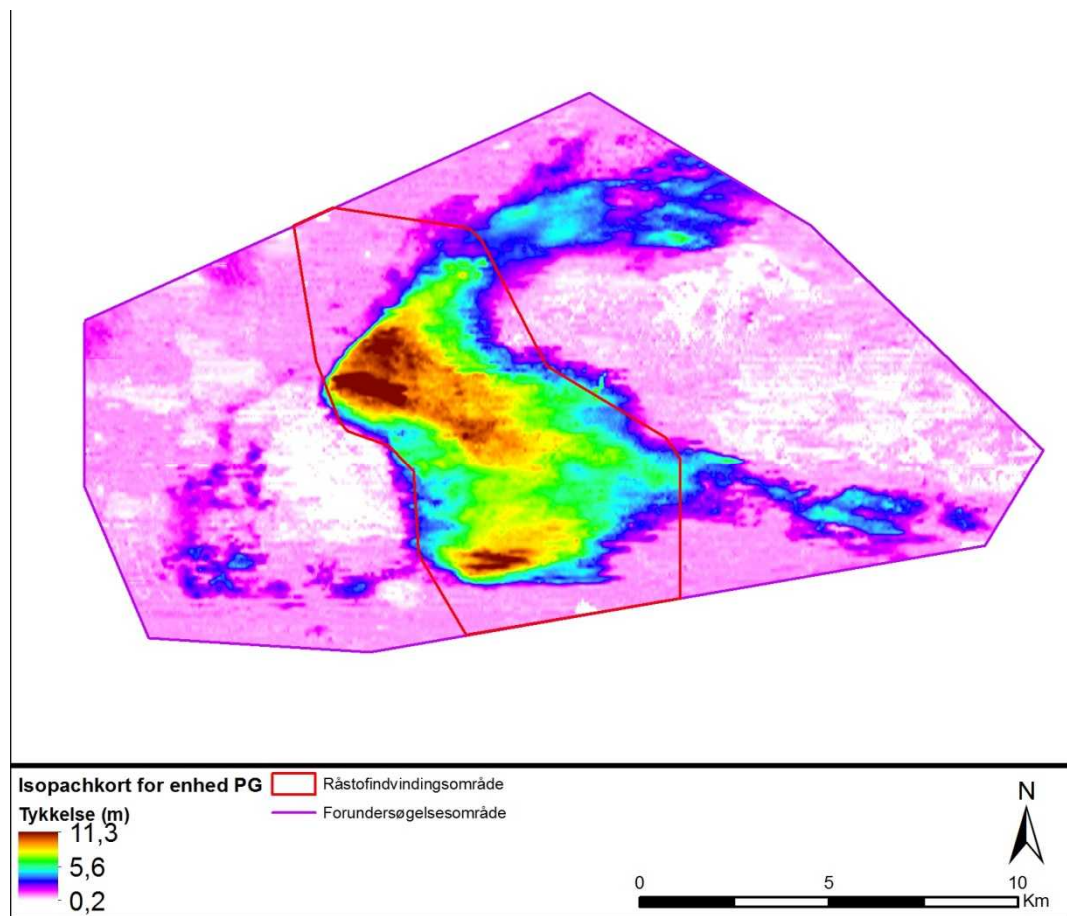
Postglacial

Postglacialenheden (PG) er aflejret oven på de senglaciale og glaciale enheder og er stort set udbredt i hele området enten som dæklag eller som dalfyld oven på det glaciale landskab. Kun mod øst og vest hvor till-aflejringerne går i dagen forekommer postglacialenheden ikke (Figur 6-1 og Figur 6-2). De postglaciale aflejringer danner en akkumulations-plattform mod nord, vest og sydvest i den østlige del af området. Enheden træffes i dybder mellem 15,5-32,5 meter under havniveau. Tykkelsen varierer mellem 0-11,3 m, og de største mægtigheder findes centralt i Energinet.dk restriktionsområdet og mod nordøst og sydøst (Figur 6-3), hvilket er oven på dalene i det glaciale og senglaciale land-

skab, samt hvor akkumulationsplatformene når kanten af flakket. Sedimenterne består hovedsageligt af marint sand og organisk sand. Det er denne enhed, som bliver indvundet i råstofindvindingsområdet.



Figur 6-2: Dybdekort for postglacialenheden (PG). Det lilla polygon angiver forundersøgelsesområdet, og det røde polygon midt i forundersøgelsesområdet angiver restriktionsområdet omkring råstofområdet centralt i havmølleparken. (Data fra geofysiske undersøgelser gennemført i 2013, data er udleveret af Energinet.dk).

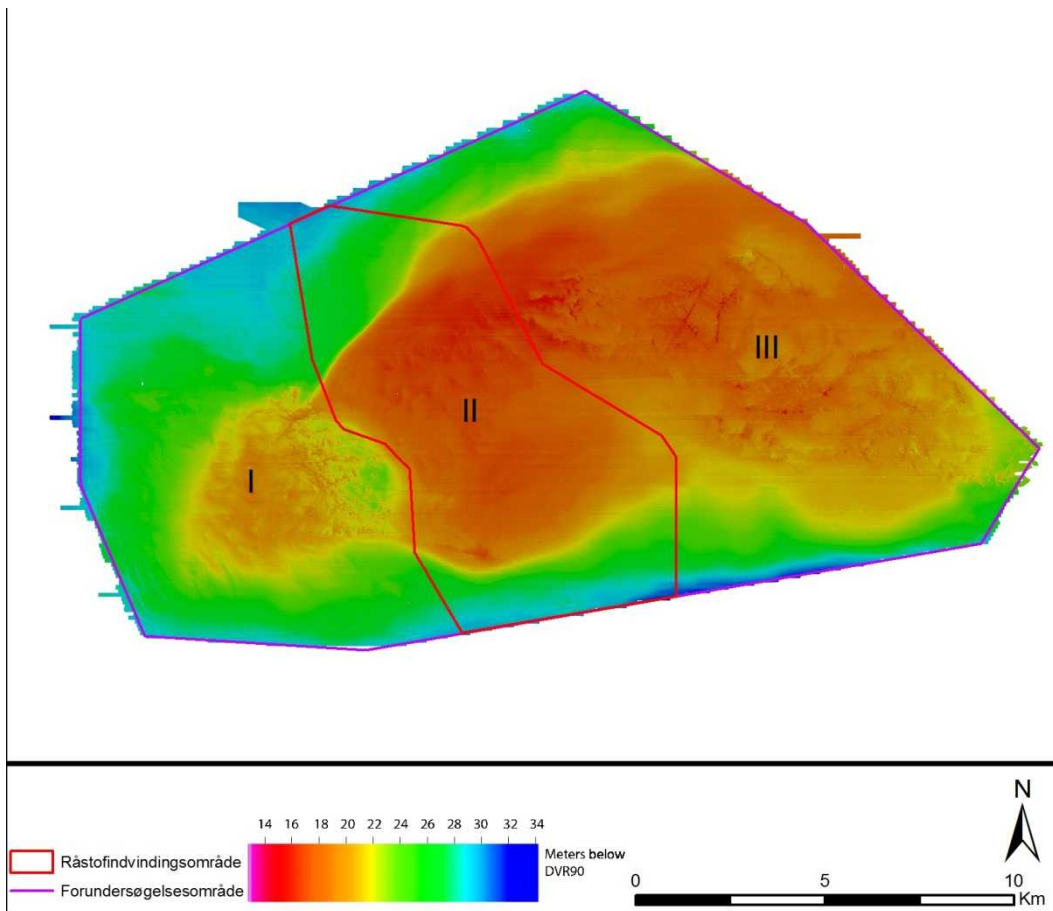


Figur 6-3: Tykkelseskort for postglacialenheden (PG.). Det lilla polygon angiver forundersøgelsesområdet, og det røde polygon midt i forundersøgelsesområdet angiver restriktionsområdet omkring råstofområdet centralt i havmølleparken. (Data fra geofysiske undersøgelser gennemført i 2013, data er udleveret af Energinet.dk).

6.3 Havbundstopografi

For at forenkle beskrivelsen af bathymetrien og den senere beskrivelse af havbunds-sedimenter er undersøgelsesområdet på Kriegers Flak blevet inddelt i tre delområder, som er baseret på en kombination af bathymetri, overfladesediment samt lokalitet (Figur 6-4):

- Delområde I vest for Energinet.dk restriktionsområdet
- delområde II tilnærmelsesvist svarende til Energinet.dk restriktionsområdet
- Delområde III øst for Energinet.dk restriktionsområdet



Figur 6-4: Bathymetrikort over Kriegers Flak med angivelse af delområde I-III. Det lilla polygon angiver forundersøgelsesområdet, og det røde polygon midt i forundersøgelsesområdet angiver restriktionsområdet omkring råstofområdet centralt i havmølleparken. (Data fra geofysiske undersøgelser gennemført i 2013, data er udleveret af Energinet.dk).

Delområde I

Delområde I er det dybest liggende af de tre delområder med dybder mellem 17-28 meter under havniveau. I det centralt højere liggende område forekommer en række morænehøjderygge med toppunkter omkring 17-18 meter under havniveau. Morænerygge har en overordnet NV-SØ-gående orientering og er stejlest mod vest, dvs. stødsiden er ryggenes østlige skrænt og læsiden den vestlige skrænt. Der er en meget skarp kontrast imellem disse morænerygge og topografien længere mod vest, som har et meget blødere udseende, hvilket skyldes, at havbundens beskaffenhed her mest er ukonsolideret sand i modsætning til moræneryggenes hårde og konsoliderede sammensætning. Der er også observeret megaripper centralt i delområde I med en bølgelængde på 1,5 m. Ved den vestlige afgrænsning af flakket ses en række skredstrukturer, hvor vandybden gradvist stiger mod >28 meter under havniveau. Disse skredstrukturer

rer har en bølgelængde på hen ved 250 m (op mod 100 m bredde og 1,5 km lange) og en højde på 1,5-2 m.

Delområde II

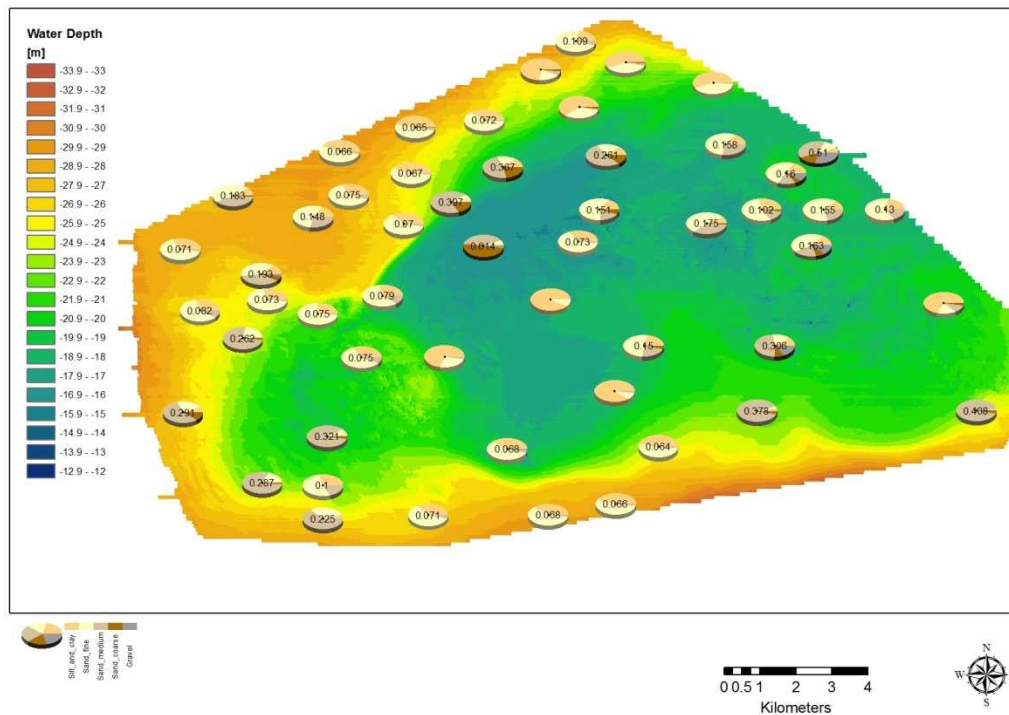
Delområde II har et forholdsvis lavt relief med dybder omkring 15-16 m i den centrale del af området, og der ses ingen blotninger af till. Det er også her, at der findes de største mægtigheder af de holocæne sedimenter. Særligt i den nordlige del af delområdet ses der dannelse af ripper med en længde på ($\lambda=25$ m) og klitter (λ op til 300 m) med en N-S orientering. Mod syd findes en enkelt højderyg, som er orienteret VNV-ØSØ og ca. 1 km nord for denne ryg findes nogle erosionsstrukturer. Særligt delområdets nordvestlige afgrænsning af flakket er meget stejl. Her stiger dybden fra 17 til over 25 m på under 200 længdemeter, og således afgrænses prograderingen af de holocæne sedimenter mod NV (Rambøll, 2013a).

Delområde III

Delområde III hælder overordnet fra vest mod øst med havdybder imellem 15-22 meter under havniveau. Hele området bærer præg af de mange morænehøjderygge, som har en NØ-SV orientering med en højde op til 2 m. Særligt i den sydøstlige og den centrale del af delområdet er der en høj densitet af mindre morænerygge, som får områderne til at fremstå med en mosaikstruktur. I den vestlige del af delområdet er morænerygge større og har en fladere stødside. I den centrale og sydøstlige del kan der observeres enkelte op til 1,5 km lange NØ-SV-gående højderygge.

6.4 Havbundssedimenter

Havbundssedimenterne ved Kriegers Flak udgøres primært af sandede aflejringer varierende fra fint sand til sandet grus (Figur 6-5).

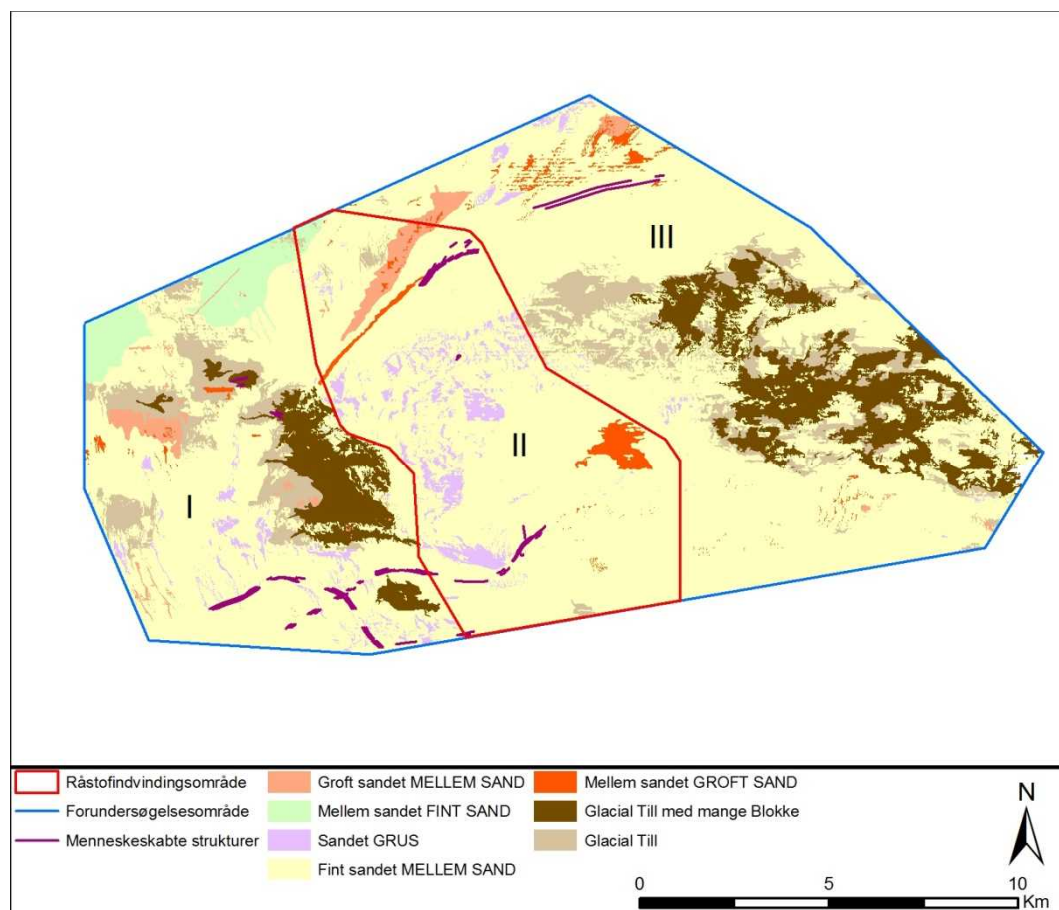


Figur 6-5: Grab samples, sedimentsammensætning, gennemsnitlig kornstørrelse og vanddybde

De følgende havbundssedimenter er blevet identificeret i undersøgelsesområdet (Rambøll, 2013b; Larsen et al, 1995):

- Mellem sandet FINT SAND: primært fint sand – 0,063-0,2 mm med 5-20 % mellem sand (0,2-0,6 mm)
- Fint sandet MELLEEM SAND: primært mellem sand – 0,2-0,6 mm med 5-20 % fint sand (0,063-0,2 mm)
- Groft sandet MELLEEM SAND: primært mellem sand – 0,2-0,6 mm med 5-20 % groft sand (0,6-2,0 mm)
- Mellem sandet GROFT SAND: primært groft sand – 0,6-2,0 mm med 5-20 % mellem sand (0,2-0,6 mm)
- Sandet GRUS: primært grus – 2-60 mm med 5-20 % sand (0,063-2,0 mm)
- Glacial till
- Glacial till med mange blokke

Rene sandaflejringer udgør hovedbestanddelen af havbundssedimenterne ved Kriegers Flak med en andel på over 2/3 af havbundsarealet, Figur 6-6.

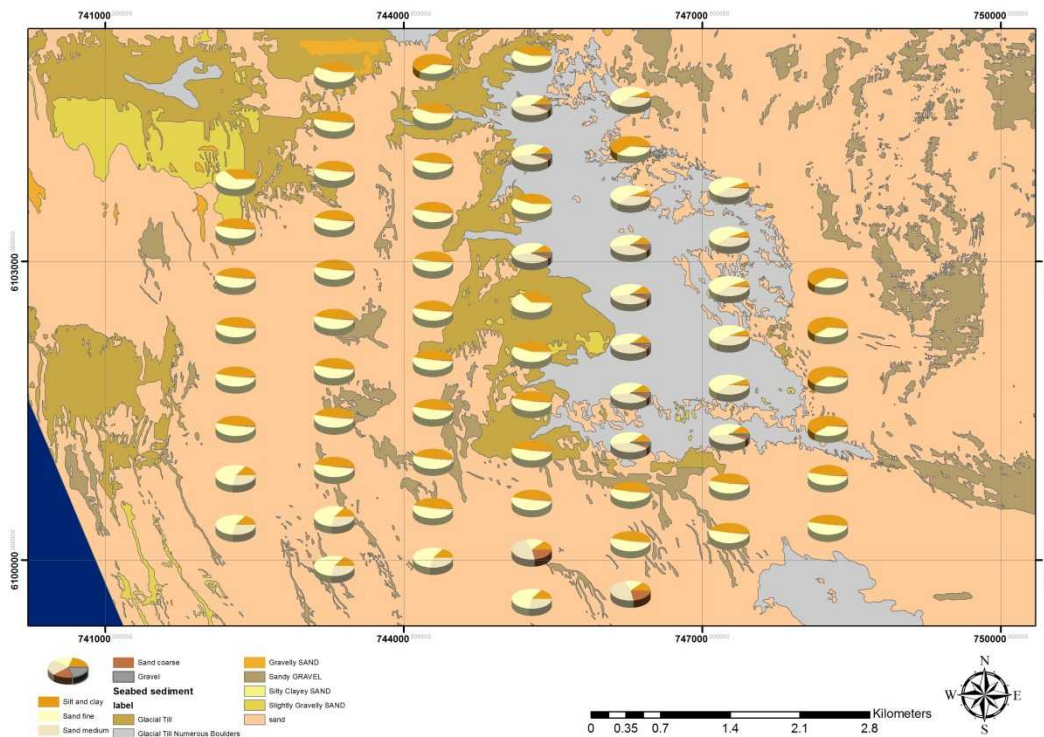


Figur 6-6: Havbundssedimenterne ved Kriegers Flak med angivelse af delområderne I-III. Klassificeringen af havbundssedimenterne er baseret på (Rambøll, 2013b). Det blå polygon angiver forundersøgelsesområdet, og det røde polygon midt i forundersøgelsesområdet angiver restriktionsområdet omkring råstofområdet centralt i havmølleparken. (Data fra geofysiske undersøgelser gennemført i 2013, data er udleveret af Energinet.dk).

Delområde I

Godt halvdelen af havbunden udgøres af sand (Figur 6-6 og Figur 6-7). Den østlige-centrale del af området består af glacial till og særligt mod øst er der mange blokke i till'en. Der forekommer også områder med till SØ, V, NV og NNV i delområde I. Særligt i lavningerne i den vestlig-centrale del forekommer der sandet grus, men også i enkelte af lavningerne i skredstrukturerne mod vest findes sandet grus. De resterende lavninger i skredstrukturen er fyldt med groft sandet mellem sand. Mod nord findes også enkelte

områder med groft sandet mellem sand og mellem sandet groft sand. Længst mod nord findes det mest finkornede materiale i området i form af mellem sandet fint sand.



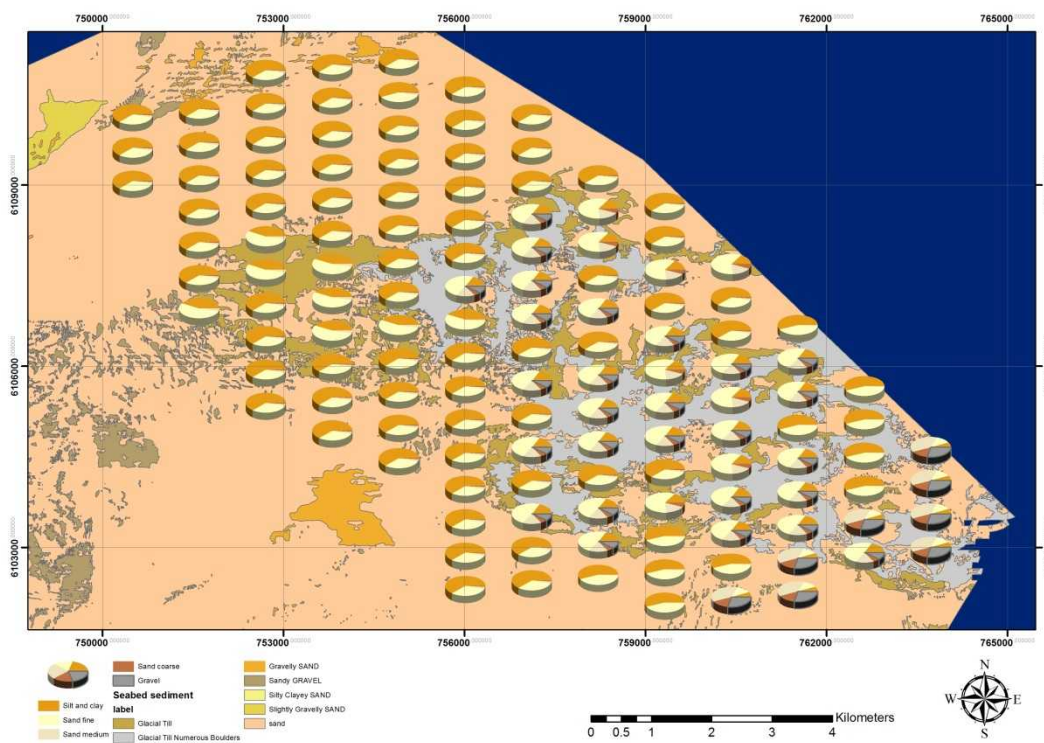
Figur 6-7: 3 MW-scenariet. Den vestlige del af undersøgelsesområdet med angivelse af estimeret sedimentsammensætning. Klassificeringen af havbundssedimenterne er baseret på (Rambøll, 2013b).

Delområde II

Mindst 80 % af overfladesedimenterne udgøres af fint sandet mellem sand (Figur 6-6). Mellem sandet groft sand ses i den sydøstlige del af delområdet. Den tidligere beskrevne højderyg mod syd består af sandet grus. Sandet grus forekommer også sporadisk i den centrale del af delområde II, hvor det oftest findes i lavningerne mellem f.eks. ribber. I den nordlige del af delområdet, hvor der er en stejl skrænt ved flakkets nordlige afgrænsning, ses et bånd af mellemsandet groft sand, som går over i fint sandet mellem-sand efterfulgt af groft sandet mellemsand. Længere nordøst for flakket ses enkelte områder med till og mellem sandet fint sand.

Delområde III

Her er godt 2/3 af overfladesedimenterne fint sandet mellemsand (Figur 6-6 og Figur 6-8). Foruden få sandede og grusede havbundssedimenter mod nord og syd dominerer till-aflejringer med - og uden blokke den centrale og sydlige del af delområde III.



Figur 6-8: 3 MW scenariet. Den østlige del af undersøgelsesområdet med angivelse af den observerede sedimentsammensætning. Klassificeringen af havbundssedimenterne er baseret på (Rambøll, 2013b).

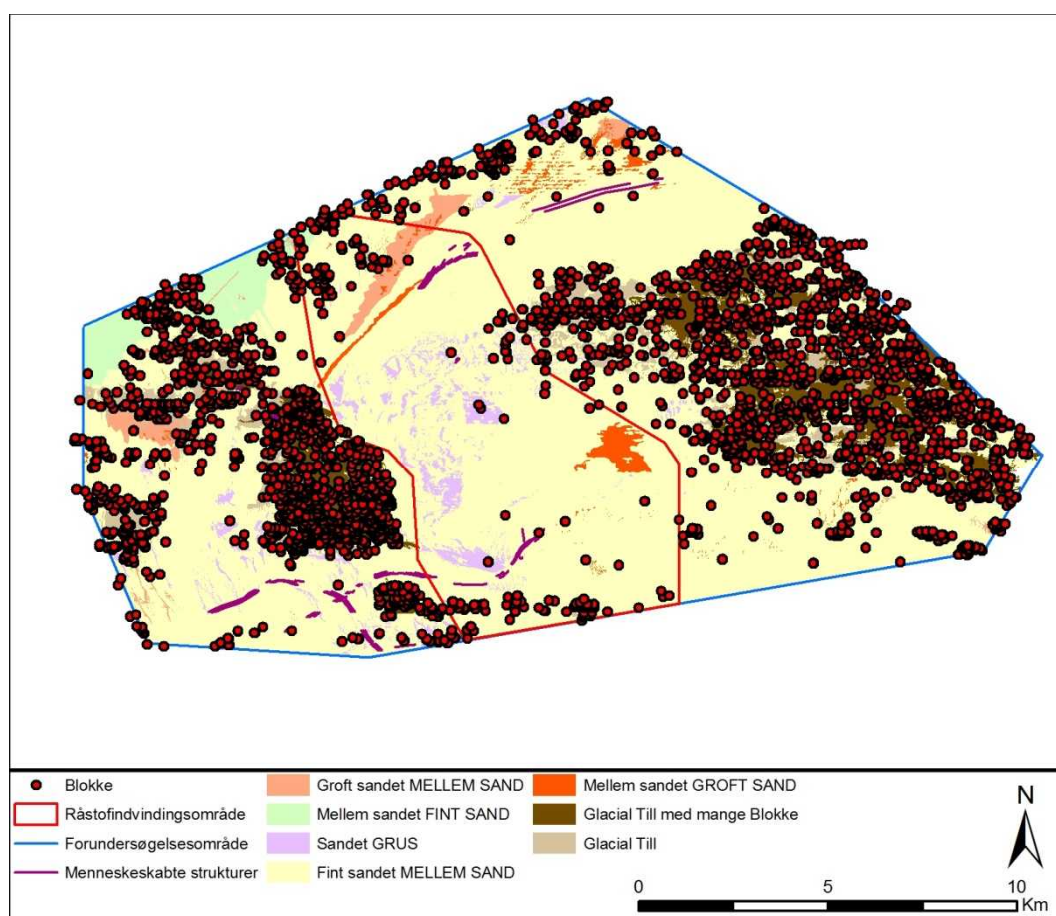
6.5 Blokke

Ved Kriegers Flak forekommer der mange overfladenære blokke, hvilket der gøres rede for i det følgende. Ordet blok i geologisk/geoteknisk forstand betegner en partikel eller et korn med en diameter på over 200 mm (Larsen et al, 1995).

I alt er der observeret 4.232 blokke, hvoraf langt størstedelen findes, hvor den glacielle till går i dagen, dvs. i den central-østlige og nordlige del af delområde I og den vestlig-centrale-østlige og sydøstlige del af delområde III. Der ses dog også en række blokke i sandet langs den nordlige og sydlige afgrænsning af undersøgelsesområdet ved Kriegers Flak. Der er meget få blokke aflejret i de sandede og grusede aflejringer, der dækker delområde II henover selve flakket.

Da stort set hele delområde II er et eksklusivt råstofvindingsområde, må der ikke placeret møllefundamenter her. I stedet for er Kriegers Flak Havmøllepark blevet opdelt i en østlig og vestlig møllepark, hvor mange af fundamentene må forventes at blive sat i og ved moræneaflejringer hvori der forekommer mange blokke.

Da der forekommer till-aflejringer under hele Kriegers Flak (Figur 6-1), kan det ikke udelukkes, at der findes mange overfladenære blokke, som ikke er observeret ud fra eksisterende data (sidescan data og lign. geofysisk data).



Figur 6-9: Fordelingen af overfladenære blokke inden for forundersøgelsesområdet. Det blå polygon angiver forundersøgelsesområdet, og det røde polygon midt i forundersøgelsesområdet angiver restriktionsområdet omkring råstofområdet centralt i havmølleparken. (Data fra geofysiske undersøgelser gennemført i 2013, data er udleveret af Energinet.dk).

6.6 Kriegers Flak eksportkabelrute

Dette afsnit er baseret på de tilgængelige geofysiske data, som er indsamlet ved en undersøgelse af kabelruten til Rødvig, initieret af Energinet.dk.

Overfladesedimenter for eksportkabelruten, Figur 6-10 er beskrevet pr. kilometerpunkter (KP), hvor KP 0,0 starter ved ilandføring ved Rødvig, og KP 36,0 slutter ved undersøgelsesområdet.

Eksportkabelrute – KP 0,0 til KP 0,4

Overfladesedimentet består af sand med en høj andel ler og silt.

Eksportkabelrute – KP 0,4 til KP 2,0

Størstedelen af havbundssedimentet består her af fint sand med en meget lille andel af ler og silt. Herudover er der mange blokke.

Eksportkabelrute – KP 2,0 til KP 11,0

Karakteriseret som fint sand/silt med varierende indhold af organisk materiale, som er målt til mellem 0,4 og 1,4 %. Mellem KP 10 og KP 11 forekommer der spredte blokke.

Eksportkabelrute – KP 11,0 til KP 18,3

Spredte områder med 10 – 25 % dækning med sten afløst af områder bestående af fin-kornet sediment med varierende indhold af organisk materiale. Mellem KP 15 og KP 18,3 er der forholdsvis flere sandede områder med mindre sandbølger, samtidig med at antallet af blokke reduceres.

Eksportkabelrute – KP 18,3 til KP 21,9

Havbunden er præget af siltet, leret sand og gytje med et glødetab for de første 2km på omkring 0,8 % stigende til over 3,1 % mellem KP 20,4 og KP 21,9.

Eksportkabelrute – KP 21,9 til KP 25,4

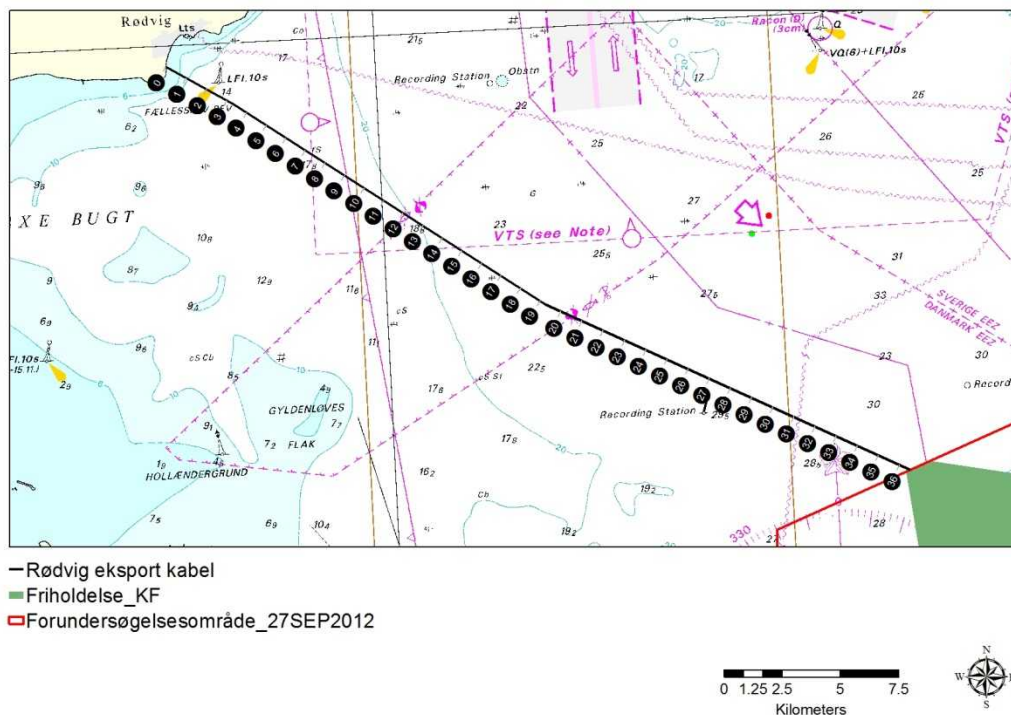
Området er domineret af moræneler med en del blokke og afløses mod øst af områder med sand/silt og sand.

Eksportkabelrute – KP 25,4 til 35,0

Relativt homogene bundforhold domineret af velsorteret, lyst gulliggråt medium sand med et gennemsnitligt glødetab på over 3 %.

Eksportkabelrute – KP 34,9 til undersøgelsesområdet

Relativt homogene bundforhold domineret af velsorteret, lyst gulliggråt medium sand afbrudt af mindre områder bestående af moræneler.



Figur 6-10: Kriegers Flak eksportkabelrute med angivelse af kilometerpunkter (KP).

6.7 Hydrografiske forhold

Til vurdering kortlægning af de eksisterende forhold vedr. hydrografi er der benyttet modeller. Modellerne er afviklet i en højopløst 10-års-simulering (Burchard et. al, 2014). De modellerede hydrografiske forhold illustrerer, at strømmen hen over flakket varierer som funktion af vanddybden og positionen. Den dybdemidlede strømhastighed overstiger 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 (Burchard et. al, 2014).

Variationen i strømretning og -hastighed i forundersøgelsesområdet 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 (Burchard et. al, 2014).

I mere end 50 % af tiden er den signifikante bølgehøjde på Kriegers Flak mindre end 0,79 m. Den dominerende bølgeretning er sydvest efterfulgt af bølger fra øst. Variationen i bølgeklimaet over undersøgelsesområdet 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 (Burchard et. al, 2014).

6.8 Sedimentspredning / havbundens mobilitet

Havstrømmen på Kriegers Flak er beskeden, mindre end 0,2 m/s i 99 % af tiden, og kan ikke alene flytte de observerede sedimenter. Vanddybderne på mere end 17 meter gør, at de signifikante bølger skal være større end 1 meter (den maksimale ca. 1,8 meter) for at generere orbitalhastigheder, der kan bringe de finere ikke kohæsive sedimenter i transport (. Dette er tilfældet i 40 % af tiden i en del af både det vestlige og det østlige område af flakket, (NIRAS, 2013b). For større dybder falder varigheden, hvor sediment kan være i transport. Inden for det undersøgte område vil der i løbet af et år være et tidspunkt, hvor materialer, med en korndiameter mindre end 5 mm, vil kunne transporteres som følge af bølger og strøm, hvilket bekræftes af de observeret aktive bundformer.

Baggrundskoncentrationen af suspenderet sediment i vandfasen er typisk mindre end 5 mg/l i danske kystnære farvande og i Øresund typisk på værdier mindre end 2 mg/l (Waterconsult, 1995).

Dybde	Hs	Hmax	Tp	u	d
m	m	m	s	m/s	mm
-17	2,00	3,72	6,02	0,1	1,95
-17	1,50	2,79	5,32	0,1	0,50
-17	1,00	1,86	4,54	0,1	0,14
-17	0,50	0,93	3,68	0,1	0,10
-20	2,00	3,72	6,02	0,1	1,05
-20	1,50	2,79	5,32	0,1	0,21
-20	1,00	1,86	4,54	0,1	0,10
-20	0,50	0,93	3,68	0,1	0,11
-23	2,00	3,72	6,02	0,1	0,50
-23	1,50	2,79	5,32	0,1	0,17
-23	1,00	1,86	4,54	0,1	0,09
-23	0,50	0,93	3,68	0,1	0,09

Tabel 6-2: Estimeret kornstørrelse, der kan bringes i transport, for udvalgte bølgehøjder på vanddybden 17 m, 20 m og 23 m; Hs: signifikant bølgehøjde, Hmax: maksimal bølgehøjde, Tp: peak bølgeperiode, U: strømhastighed og d: korndiameter.

6.9 Vandkvalitet

I forbindelse med etableringen af Øresundsbroen blev der foretaget prøveindvindinger på Krigers Flak. Prøverne blev analyseret for indhold af næringsalte og tungmetaller og viste et meget lavt niveau, (Waterconsult, 1993).

Undersøgelserne ved Øresundsbroen viste et iltforbrug på under 0,5 g O₂/l/dag og næringsaltsmængder i middel på 0,6 g N/m³ og 0,3 g P/m³ i det afgravede materiale (Waterconsult, 1993).

Miljøfremmede stoffer i havbunden er adsorberet til organisk stof og meget finkornet sediment. Koncentrationer af miljøskadelige stoffer på Krigers Flak er kortlagt i VVM-undersøgelsen for råstofindvinding til Femern Bælt (Femern Sund og Bælt, 2013). De danske myndigheder opererer med to sæt kriterieværdier for miljøfremmede stoffer:

Nedre aktions niveau (NA) og øvre aktionsniveau (ØA), hvor værdier under NA anses for ikke at have en virkning på vandmiljøet (Miljøstyrelsen, 2008). De beregnede koncentrationer af tungmetaller på Kriegers Flak lå alle under de danske nedre aktionsværdier. Koncentrationen af TBT (0,02 mg Sn/kg) ligger en faktor 1.000 lavere end klapvejledningens nedre aktionsniveau (Femern Sund og Bælt, 2013).

6.10 Salinitet

Kriegers Flak ligger centralt for vandudveksling mellem Nordsøen og Østersøen. 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, hvor - under 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, 2005). 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.

Typisk ligger saliniteten på flakket på omkring 6-8 PSU, (Burchard et. al, 2014).

6.11 Kystmorfologi

Generelt er kysterne i den vestlige Østersø dynamiske. Kystlinjerne varierer mange steder med flere cm hvert år (Kystdirektoratet, 2014). De nærmeste kyster er Møns Klint, som ligger ca. 15 øst for Kriegers Flak, og kysterne ved Falsterbo i Sverige og på Rügen i Tyskland, der ligger henholdsvis 30 km og 36 km fra Kriegers Flak. Kysterne er ikke beskrevet nærmere i denne rapport, da der pga. afstanden til kysterne ikke forventes påvirkninger af kystmorfologien som følge af tilstedeværelsen af havmølleparken.

7. Vurderinger af påvirkninger i anlægsfasen

Potentielle påvirkninger på sedimentforhold og vandkvalitet i anlægsfasen, vil skyldes sedimentspredning/spild samt suspension af organisk materiale, som forårsages af gravearbejde og nedspuling af kabler.

7.1 Sedimentspredning /spild

Der er i forbindelse med modellering af sedimentkoncentrationer, beregnet med en grænseværdi for sedimentkoncentrationen i vandfasen på 10 mg/l, da dette er den forudsatte grænseværdi for, hvornår der kan forekomme påvirkninger på fisk og bunddyr. Dette behandles nærmere i de tekniske baggrundrapporter vedr. fisk og fiskeri (BioApp, 2014) samt havbundstyper, flora og fauna (MariLim, 2014).

7.1.1 Fastlæggelse af kilder til påvirkninger

Tre elementer i anlægsfasen vil kunne give anledning til sedimentspild:

- 1) Udgravning til installationen af fundamenter.
- 2) Nedgravning/nedspuling af inter-array-kabler dvs. kablerne mellem havmøllerne.
- 3) Pløjning/nedgravning/nedspuling af eksportkablet til land.

7.1.2 Konceptuel modelrepræsentation af fundaments udgravning

Jf. definitionen af worst case (afsnit 5.3) betragtes installation af 3 MW havmøller med gravitationsfundamenter som "worst case", da dette scenarie giver anledning til den største samlede afgravningsmængde.

Det er antaget, at afgravning foretages med ét fartøj, at afgravningen til ét fundament kan gøres på 24 timer, og at den næste afgravning foretages den følgende dag. Eventuelt vejrlig er ikke inkluderet, da det kun vil reducere virkningen på den akkumulerede sedimentkoncentration i vandfasen.

Erfaringen fra tidligere projekter, bl.a. Storebælt og Øresundsforbindelsen, har vist, at spildet fra sådanne afgravninger, kan holdes på under 5 % af det afgravede volumen. For en konservativ betragtning er alle kilderne påsat i overfladen, hvilket bevirker, at sedimentet forbliver i vandfasen over længere tid. Ved egentlige afgravningsarbejder vil dele af sedimentet blive frigivet allerede ved bunden og op gennem vandfasen, for til sidst

når det lastes, at blive frigivet enten ved direkte spild eller via overløbsvandet fra lastrummet.

Sammensætningen af det afgravede materiale er bestemt ud fra typen af overfladesediment, som er givet i (Rambøll, 2013a) og vist på Figur 6-6 sammenholdt med den nærmeste sedimentprøve i samme sedimenttype. Samme metode til bestemmelse af sedimentspecifikationer som beskrevet ovenfor er anvendt for fundamenter samt eksport- og inter-array-kabler. Det vil sige, at der for inter-array-kablet er tilknyttet forskellige sedimentkarakteristika for forskellige sekvenser af kablet og, at der for forskellige fundamenter er tilknyttet forskellige lokalitetsspecifikke sedimentkarakteristika.

For 3 MW scenariet forventes der maksimalt at skulle afgraves 1.300 m³ pr. fundament og i alt 260.000 m³ for de 200 positioner. Med en forventet spildprocent på 5 % vil der i alt blive spildt 13.000 m³ eller 20.800 tons (bulk densitet 1.600 kg/m³) svarende til 1,2 kg/s over en periode på 200 dage. De to ekstra havmøller, der forventes opstillet for at sikre, at kapaciteten på 600 MW kan opnås, også hvis havmøller er ude af drift, indgår ikke i beregningerne. Disse to ekstra havmøller vil ikke ændre på de potentielle suspenderede sedimentmængder, da havmøllerne installeres én ad gangen. Perioden for påvirkninger vil være omtrent 1 % længere end på det beregnede scenarie, hvilket ikke har indflydelse på resultaterne.

7.1.3 *Konceptuel modelrepræsentation af kabellægning*

Jf. definitionen af worst case (afsnit 5.3) simuleres hhv. nedspuling af inter-array-kablerne og nedspuling af eksportkablet. Det antages, at der sker et spild på 100 % ved nedspuling. 100 % spild er en konservativ antagelse, idet alt materialet i princippet kommer i suspension, men de nederste sedimenter ikke vil komme op af renden.

Det er vurderet, at kablernes render vil være op til 2 m dybe og 0,5 m brede, således at der pr. løbende meter bringes en kubikmeter sediment i suspension. Samlede kabel-længde anvendt for inter-array-kablerne er 173,5 km. Denne kabellængde er baseret på et muligt layout for inter-array-kablerne (Figur 7-1). Ændringer i inter-array-kablernes layout forventes ikke at give betydelige ændringer i resultatet af sedimentmodelleringen.

Eksportkablerne forventes installeret ved brug af pløjning/nedgravning/nedspuling, med sidstnævnte som værende worst case. Her bringes materiale i suspension i de nederste 2 m af vandsøjlen og udgøre 100 % af en rende på 2 x 0,5 m og en længde på 42 km.

Eksportkabel

Der etableres to parallelle kabler med ca. 100 m afstand. Vurderingerne af sedimentspredningen omfatter etablering af to kabelspor, som etableres tidsmæssigt umiddelbart efter hinanden.

7.1.4 Sedimentation

Forskellige sedimentfraktioner bundfælder med forskellige hastigheder, (U.S. Army Corps of Engineers, 2008), bestemt ud fra en antagelse om den gennemsnitlige kornstørrelse for hver af fraktionerne, Tabel 7-1.

Type	Interval	d_{50}	V_s
		mm	cm/s
Silt og ler	(<0,063 mm)	0,01	0,01
Sand, fint	(0,063 mm - 0,200 mm)	0,15	1,50
Sand, mellem	(0,2 mm - 0,6 mm)	0,40	5,00
Sand, groft	(0,6 mm - 2 mm)	1,00	15,00
Grus	(>2 mm)	2,00	25,00

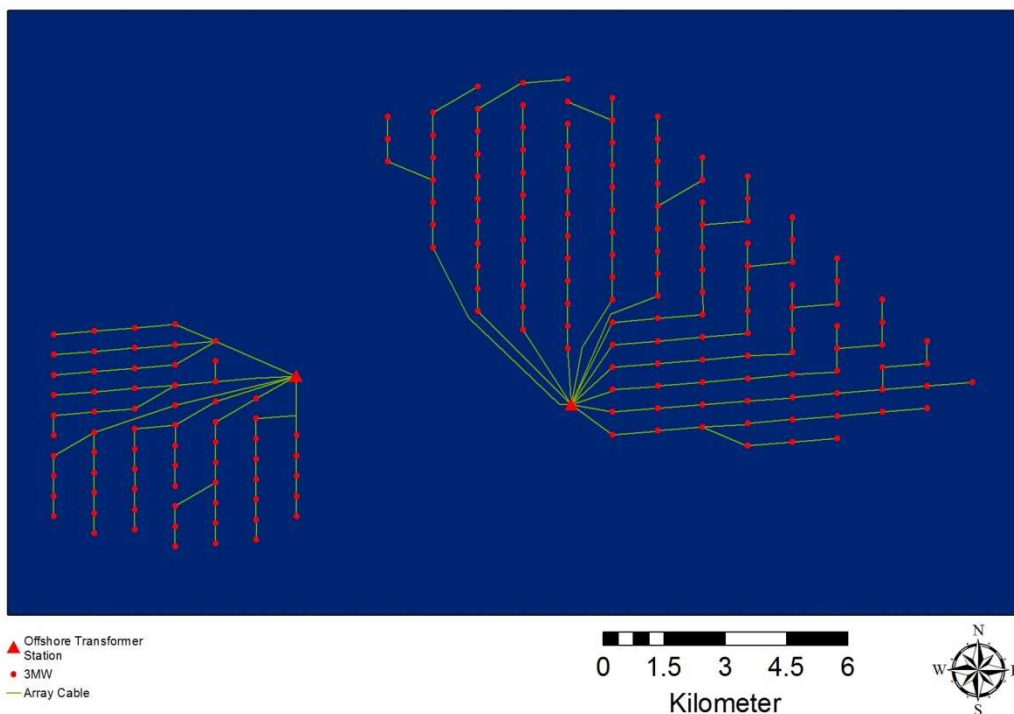
Tabel 7-1: Anvendte faldhastighed (V_s) pr. sedimentfraktion angivet med middel kornstørrelsen (d_{50}).

Vanddybderne i undersøgelsesområdet ligger på ca. 20 m, hvilket betyder, at en partikel, som falder med 1 cm/s vil være ca. 30 minutter om at nå bunden i en afstand af ca. 360 m fra udgangspunktet, hvis strømmen er 0,2 m/s.

I alt er den samlede sedimentudledning fra fundamenter, inter-array-kabler og eksportkabler 2,9 mio. tons fordelt som vist i Tabel 7-2, hvoraf det hovedsageligt er silt/lerfraktionen på 169 tusind tons, som vil blive spredt til områder uden for nærfeltet.

Installation		Silt/ler	Sand, fint	Sand, mellem	Sand, groft	Grus
		ton	ton	ton	ton	ton
Fundament	Vest	2.344	3.230	1.004	150	46
	Øst	6.081	5.541	1.236	445	529
Inter-array-kabel	Vest	28.344	43.198	14.675	1.546	616
	Øst	106.610	68.771	5.021	2.362	767
Ilandsføringskabel	-	25.614	56.996	15.391	3.890	1.560

Tabel 7-2: Modelleret sedimentspild som følge af installation af fundament, inter-array-kabel og eksportkabel.



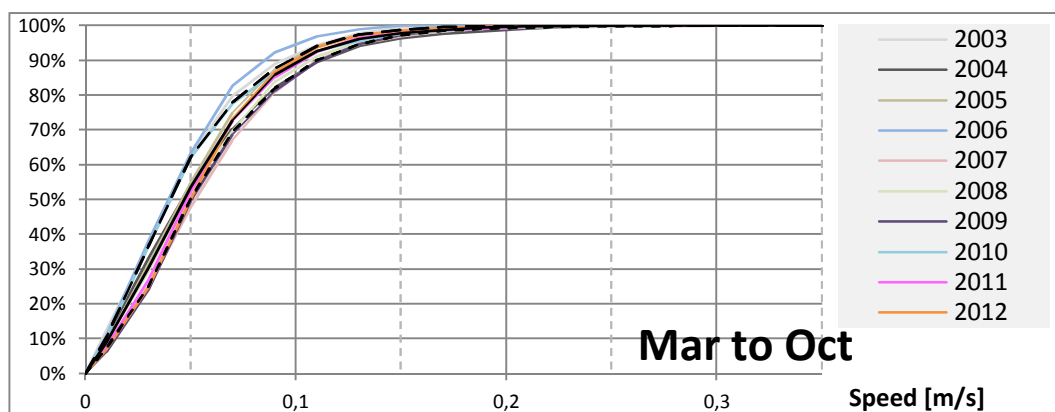
Figur 7-1: 3 MW scenariet med eksempel på array-kabel-layout. Det lilla polygon angiver forundersøgelsesområdet.

7.1.5 Valg af simuleringsperiode

Spredningen af det spildte sediment afhænger af strømmen, og som et realistisk billede af hvad der i middel kan forventes, er de 10 års strømndata analyseret (se afsnit 6.7 og (Burchard et. al, 2014)). Det forventes, at grave-/nedspulingsarbejdet tager 238 dage. Det år, som kommer tættest på, er valgt som baggrund for spildberegningen. I praksis viser analysen, at der ikke er den store forskel mellem årene. For alle årene ligger strømhastighederne under 0,2m/s i 99 % af tiden og for 0,1m/s er det 90 %. Året tættest på 50 % fraktilen er 2011, Figur 7-2.

Udgangspunktet er, at desto flere aktiviteter, der forløber parallelt, desto mere samtidige sedimentspild vil der forekomme, hvilket afspejles i det antagne installationsprogram:

- 1) Fundamentinstallation 1. marts til 16. september
- 2) Inter-array-kabelinstallation 15. marts til 25. oktober
- 3) Eksportkabel 1. april til 27. april



Figur 7-2: Procentvis fordeling af strømhastigheden for perioden marts til oktober over årene 2003 til og med 2012.

7.1.6 Estimerede sedimentkoncentrationer og sedimentation

Modelopsætning

Den numeriske modellering er baseret på to modeller:

- GETM, hydrodynamisk model.
- MIKE21/3 PA, partikel model udviklet af DHI.

Med GETM er der simuleret vanddybder og strømninger i domænet på baggrund af randbetingelser som beskrevet i (Burchard et. al, 2014). Sedimentspredningen er simuleret ved brug af MIKE 21/3 PA udviklet af DHI Water and Environment. Der henvises til www.dhigroup.com for detaljer og baggrunden for sidstnævnte program.

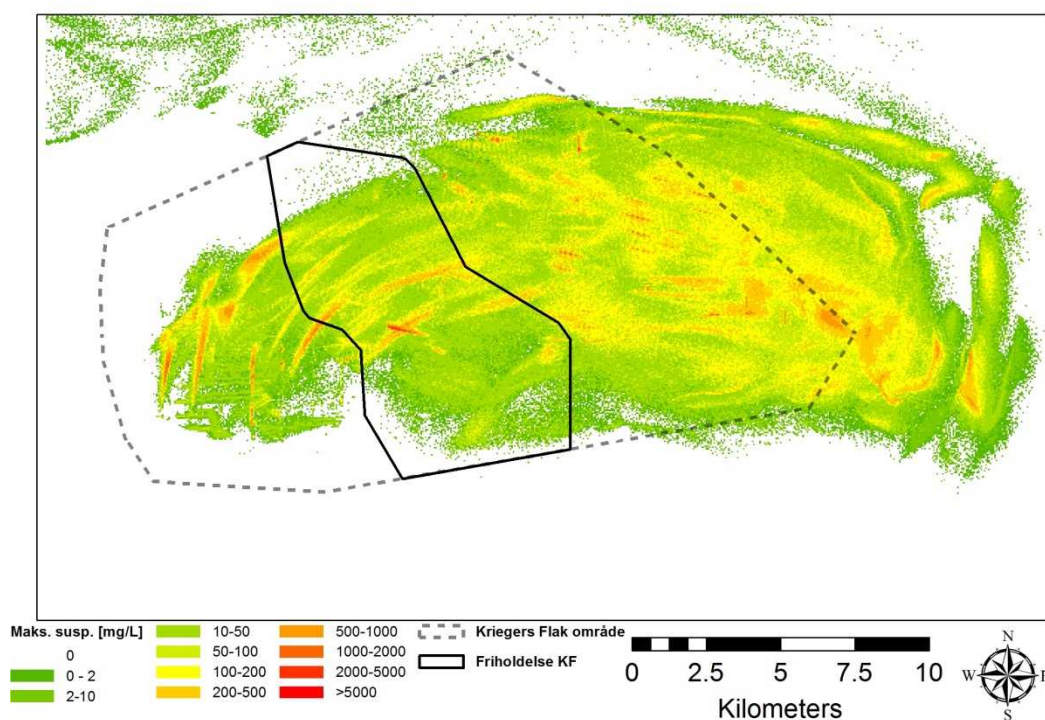
Sedimentkoncentration

Mængden af sedimentspild i vandfasen afspejler sedimentsammensætningen i overfladesedimentet, således at de lokaliteter med stor andel af finere fraktioner, såsom ler og silt, også er de områder med den højeste koncentration og ligeledes med det samlede antal timer med sedimentkoncentrationer over 10 mg/l.

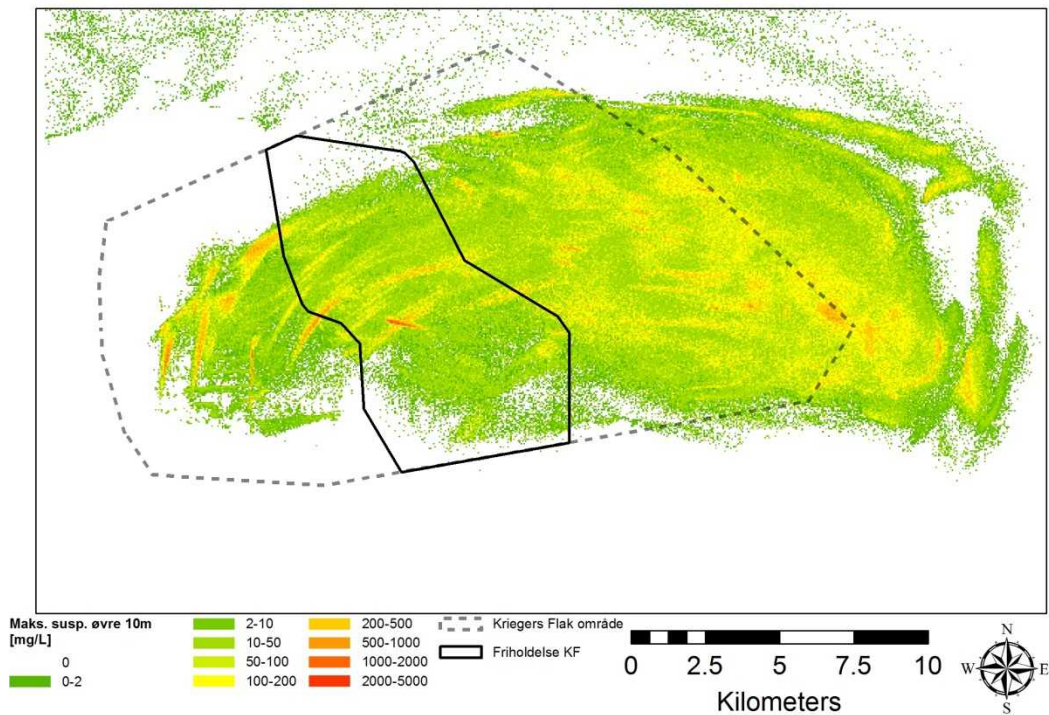
Anlægsaktiviteterne vil medføre en øget mængde sediment i vandsøjlen på - og omkring Krigers Flak. Den maksimale sedimentkoncentration, på tværs af tid og sted, i simuleringsperioden på 238 dage ses på Figur 7-3. En stor andel af sedimentet findes lige over havbunden (grundet nedspulingen af array kabler), hvilket kan ses ved at sammenligne Figur 7-3 og Figur 7-4, hvor Figur 7-4 angiver maksikoncentration i de øverste 10 m af vandsøjlen. På Figur 7-4 er koncentrationen for det meste under 100 mg/l, som repræsenterer maksimum under hele opførelsen.

Figur 7-5 angiver overskridelser af 10 mg/l i timer af sediment i hele anlægsperioden.

For nærområdet omkring havmølleparken forekommer der uden for den nordlige del af det østlige område forhøjede koncentrationer af suspenderet sediment. Samlet påvirkes et område på ca. 290 km² med koncentrationer over 10 mg/l i over 0,5 timer set over hele konstruktionsperioden, hvoraf ca. 180 km² er på Krigers Flak.

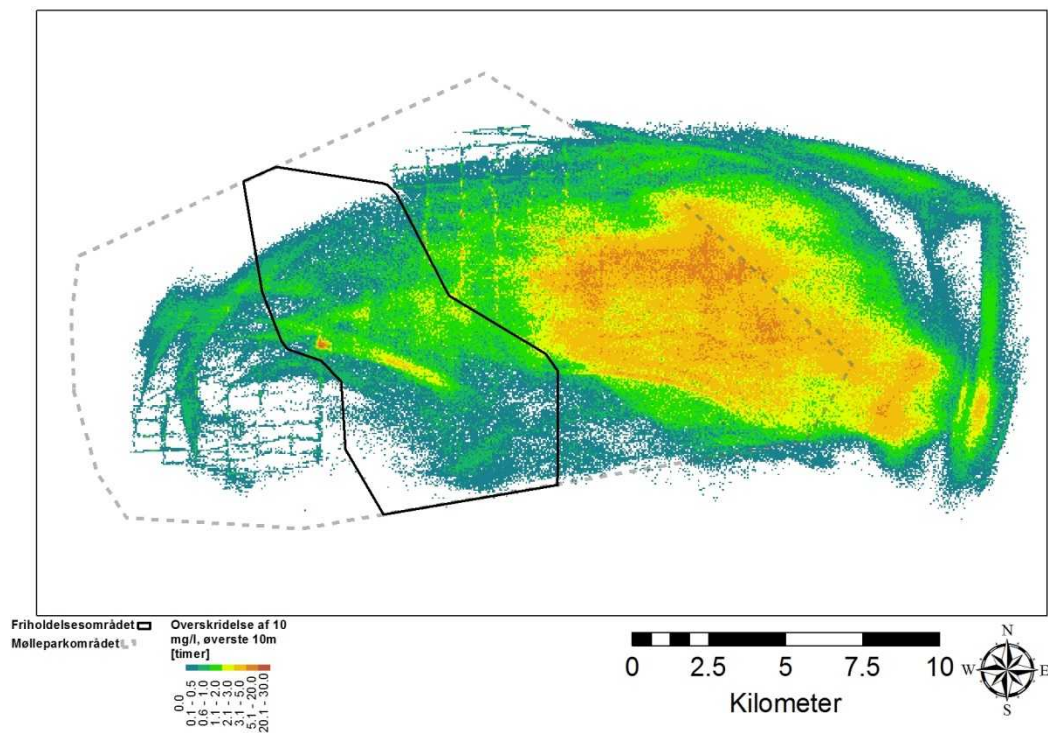


Figur 7-3: Dybdemidlet maksimal sedimentkoncentration i anlægsfasen ved Krigers Flak over hele anlægsfasen på 238 dage. Det stiplede polygon viser forundersøgel- sesområdet. Det sorte polygon angiver restriktionsområdet omkring råstofind- vindingsområdet centralt i havmølleparken.



Figur 7-4: Maksimum sedimentkoncentration i anlægsfasen ved Krigers Flak over hele anlægsfasen på 238 dage. Koncentrationen er fra de øverste 10 m vandsøjle. Det stiplede polygon viser forundersørgelsesområdet. Det sorte polygon angiver restriktionsområdet omkring råstofindvindingsområdet centralt i havmølleparken.

Overskridelsen af kriteriet på 10 mg/l er vist på Figur 7-5. Her ses det, at overskridelsen i langt størstedelen af forundersørgelsesområdet er under 5 timer på et projekt, der er udført over 5.880 timer.



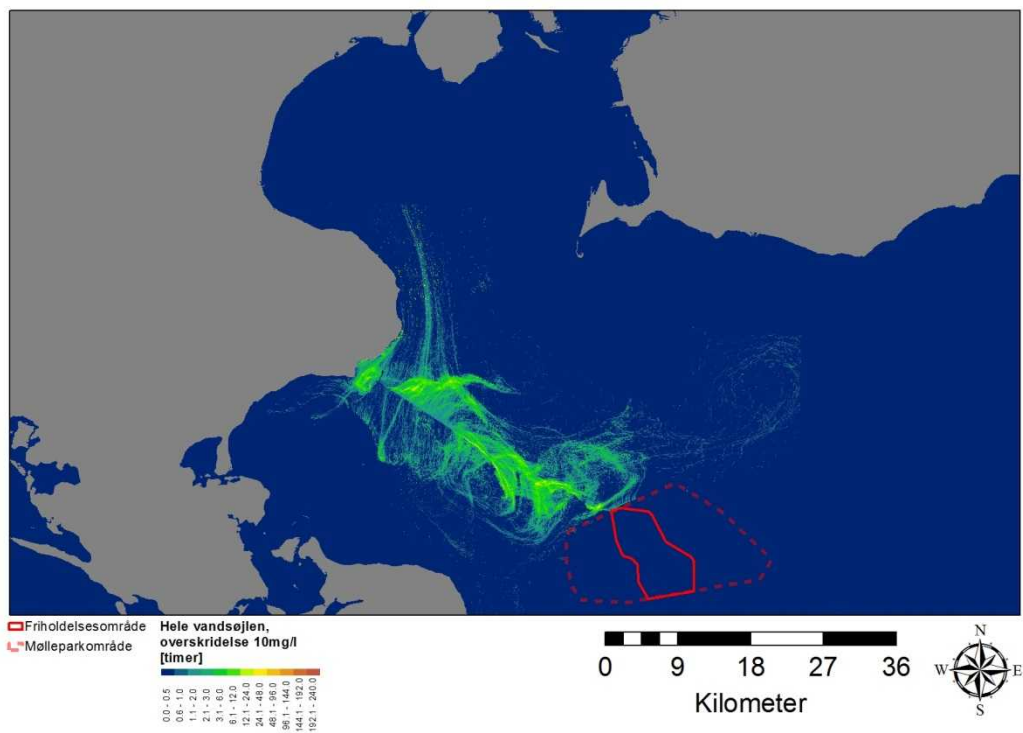
Figur 7-5: Overskridelse af en sedimentkoncentration på 10 mg/l i timer på Krigers Flak over hele anlægsfasen på 238 dage. Det stiplede polygon viser forundersøgel- sesområdet. Det sorte polygon angiver restriktionsområdet omkring råstofind- vindingsområdet centralt i havmølleparken.

7.1.7 Eksportkablet

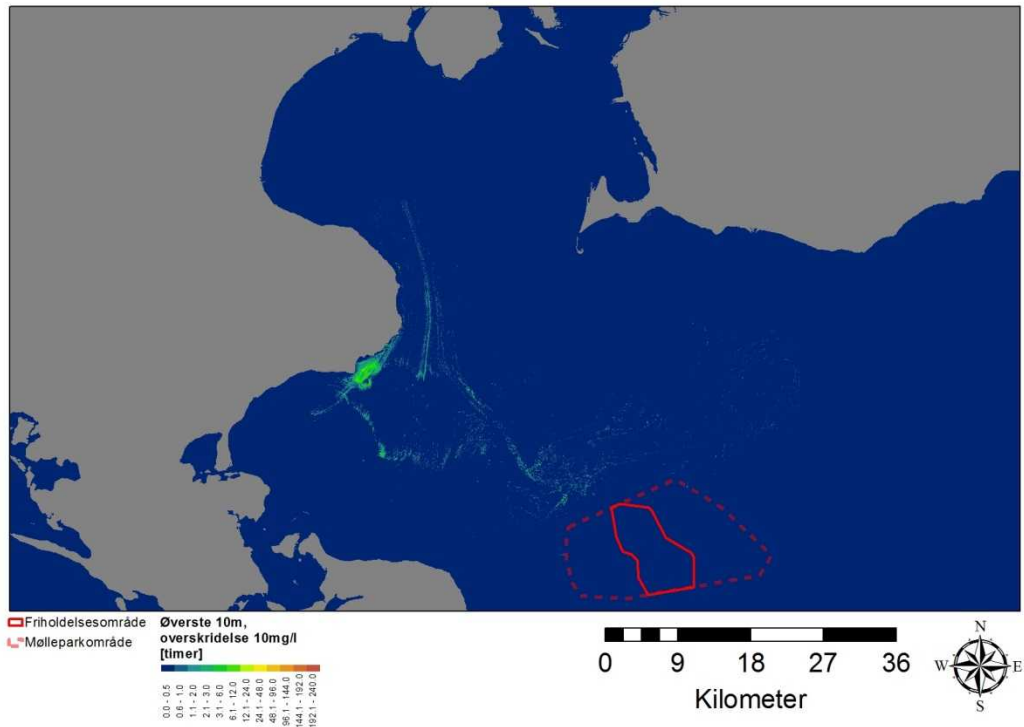
Der etableres to parallelle kabler med ca. 100 m's afstand. Beregningerne af sediment- spredningen ved etablering af to kabelspor er baseret på, at kablerne installeres tids- mæssigt umiddelbart efter hinanden.

Sedimentkoncentration

Varigheden af forekomster af sedimentkoncentrationer over 10 mg/l er for hele vandsøj- len og for de øverste 10 m vist på Figur 7-6 og Figur 7-7. Overskridelsen af kriteriet på 10 mg/l vil maksimalt vare 12 timer, og for de øverste 10 m af vandsøjlen vil det påvirkede område være begrænset i omfang – i størrelsesorden 0,1 km². Hvis hele vandsøjlen be- trages, vil det dreje sig om et område på ca. 4 km². At udbredelsen for hele vandsøjlen er større skyldes, at det spildte materiale komme i resuspension og derved giver anled- ning til en forhøjet sedimentkoncentration tæt på bunden.

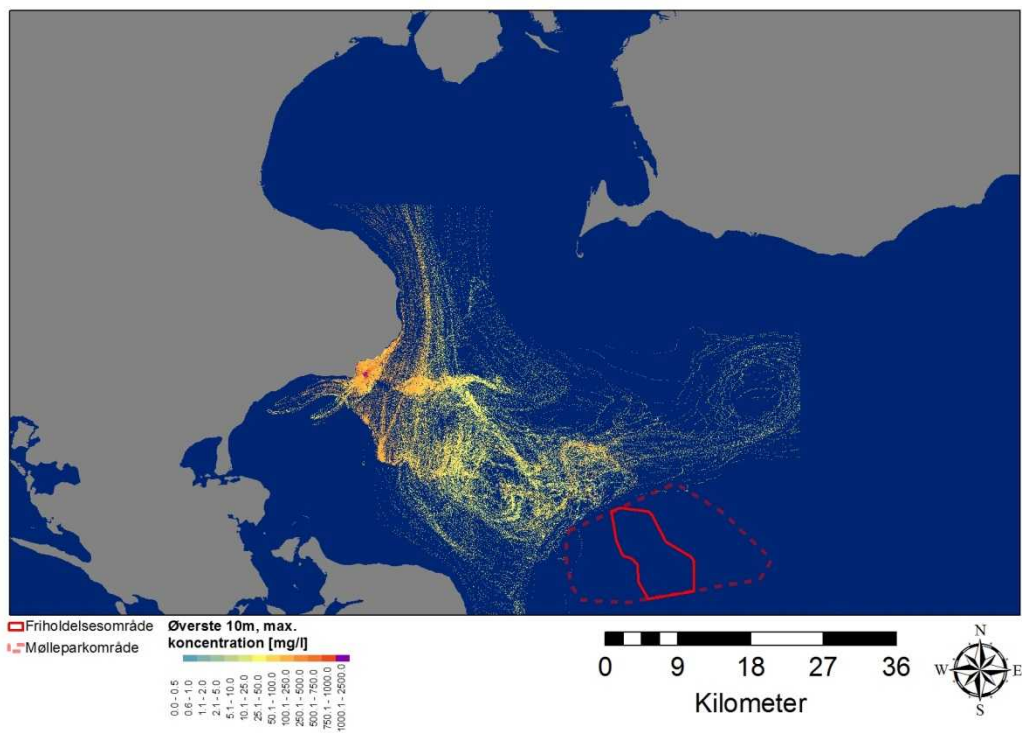


Figur 7-6: Overskridelse af sedimentkoncentrationer på 10 mg/l for hele vandsøjlen i timer langs søkablet over hele installationsfasen på 27 dage. Figuren viser forundersøgelsesområdet, kabelkorridoren til land og restriktionsområdet omkring råstofindvindingsområdet centralt i havmølleparken.



Figur 7-7: Overskridelse af sedimentkoncentrationer på 10 mg/l for de øverste 10 m af vandsøjlen i timer langs søkablet over hele installationsfasen på 27 dage. Figuren viser forundersøgelsesområdet, kabelkorridoren til land og restriktionsområdet omkring råstofindvindingsområdet centralt i havmølleparken.

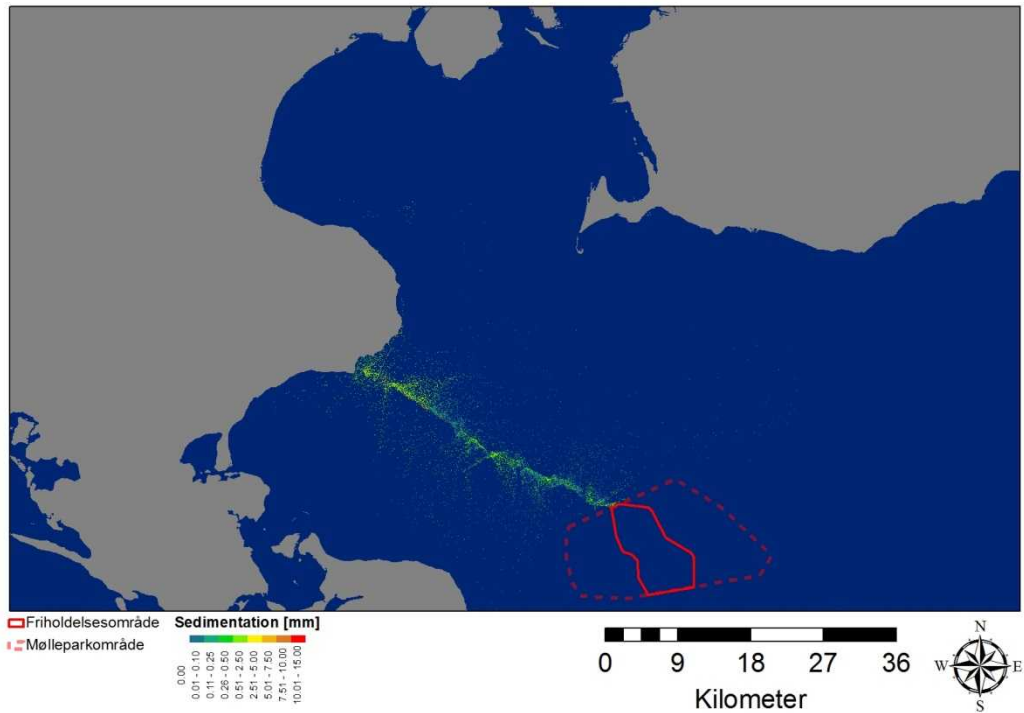
Der forventes ikke på noget tidspunkt at være højere sedimentkoncentrationer end de maksimale koncentrationer, der er beregnet i modelleringen. Kortvarigt, få timer, vil der i mindre områder meget tæt på arbejdsområdet kunne forekomme koncentrationer på over 1.000 mg/l, Figur 7-8. Ellers er maksimumkoncentrationen under 50 mg/l.



Figur 7-8: Maksimumkoncentration af sediment i de øverste 10 m af vandsøjlen i mg/l langs søkablet over hele installationsperioden på 27 dage. Figuren viser forundersøgelsesområdet, kabelkorridoren til land restriktionsområdet omkring råstofvindingsområdet centralt i havmølleparken.

Sedimentation

Ved nedspuling af kablerne forventes de største sedimenttykkelser på havbunden at være op til 5 mm enkelte steder langs kabelruten, og uden for kabeltracéet forventes mindre end 2,5 mm sedimentation, Figur 7-9.

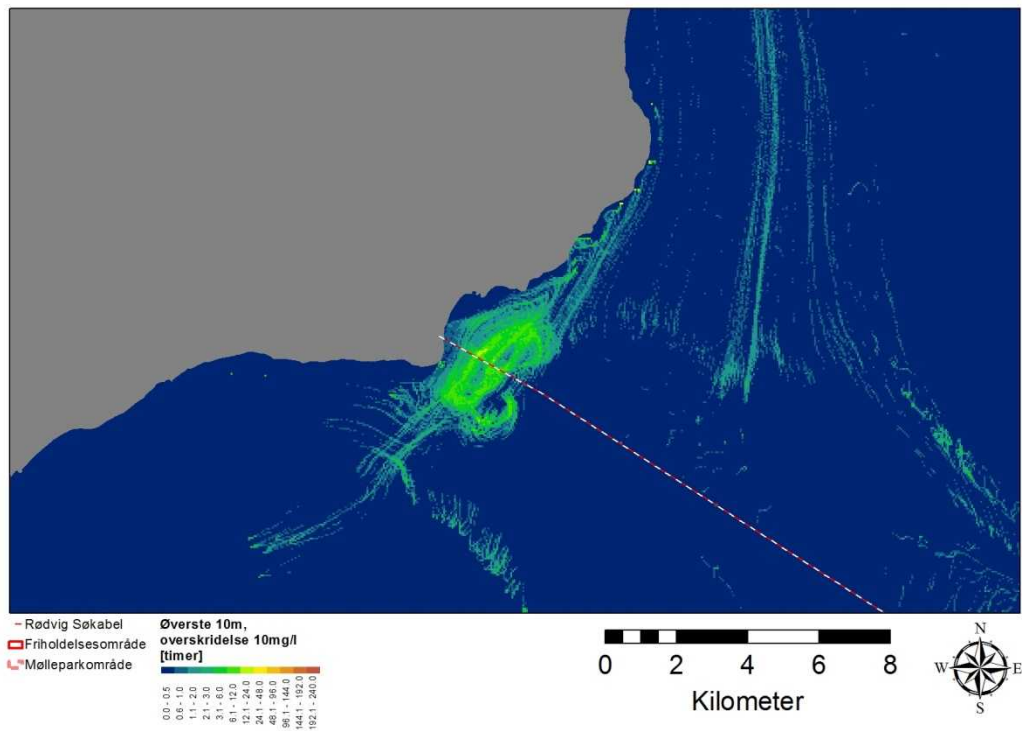


Figur 7-9: Sedimentation (mm) langs søkablet. Det stiplede polygon viser forundersøgelsesområdet. Figuren viser forundersøgelsesområdet, kabelkorridoren til land og restriktionsområdet omkring råstofvindingsområdet centralt i havmølleparken.

7.1.8 Ilandføringsområdet

Ilandføring af eksportkablet vil ske syd for Rødvig. Ilandføringspunktet er vist på Figur 3-1.

Sedimentkoncentrationen i vandfasen ved ilandføringsområdet ved Rødvig overskrider kun kortvarigt 10 mg/l, og spilmængderne vil ikke give anledning til ændringer af kystmorfologien, Figur 7-10.

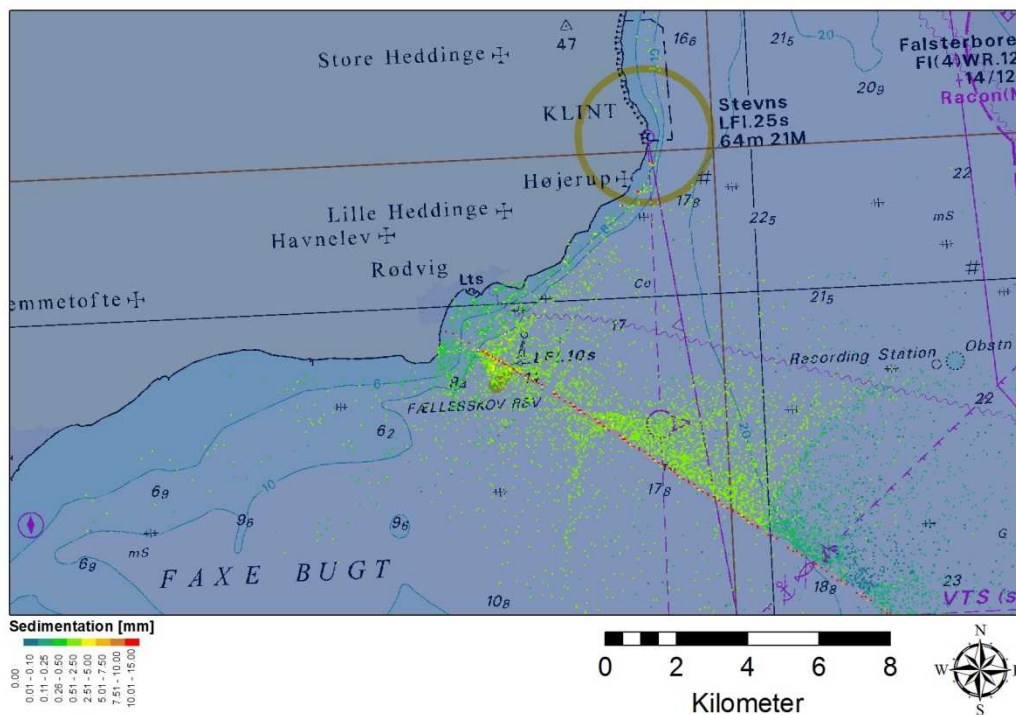


Figur 7-10: Overskridelse af sedimentkoncentrationer på 10 mg/l i de øverste 10 m af vandsøjlen i timer ved ilandføringen ved Rødvig.

7.1.9 Sedimentation

De områder med størst sedimentaflejring er områder med en stor andel af de grovere sedimentfraktioner, da den højere faldhastighed resulterer i aflejring tættere på kilden.

Langs eksportkablerne sedimenteres, Figur 7-9, det opslæmmede materiale i afstandene af op til 6 km med sedimentationshøjder på op til 0,25 mm i mindre områder, mens det i hovedparten af det påvirkede område er mindre end 0,1 mm. Netto-sedimentationen ved ilandføringen ses på Figur 7-11, hvor det tydeligt fremgår, at hovedparten af sedimentationen finder sted inden for de første 50 m fra kabeltraceret.



Figur 7-11: Netto-sedimentation i anlægsfasen ved ilandføring ved Rødvig.

7.2 Vandkvalitet

En del af det materiale, der bringes i suspension som følge af graveaktiviteterne, vil være organisk materiale. I gennemsnit består de indsamlede grabprøver af ca. 3,3 % organisk materiale, hvilket antages at blive spredt på samme vis som de fineste sedimentfraktioner som ler og silt. Det vil sige over relative store områder over en lang tidshorizont. Da det samtidigt antages at være organisk materiale, som ikke er direkte omsætteligt (tidligere undersøgelser viser et iltforbrug 0,5 g O₂/l/dag (Waterconsult, 1993)) vurderes der ikke at være nogen påvirkning af iltforholdene på havbunden eller i vandet.

Indholdet af næringssalte i sedimentet er estimeret på baggrund af indholdet af næringssalte, som er angivet i (Waterconsult, 1993). I middel blev der målt 0,6 g total-N/m³ og 0,3 g total-P/m³ i det afgravede materiale, hvoraf 3-4 % blev vurderet til at være biologisk tilgængeligt.

Holdes dette op imod den her estimerede spilmængde, vil der i alt blive spildt:

- 144 kg N, hvoraf ca. 5,8 kg er biologisk tilgængeligt
- 72 kg P, hvoraf ca. 2,9 kg er biologisk tilgængeligt

Med baggrundskoncentrationer på hhv. 0,3 mg total-N/l og 0,03 mg total-P/l svarer det samlede spild af total-N til den mængde, der findes i ca. 115.000 m³ vand, eller hvad der findes inden for et areal på ca. 6.000 m². For total-P svarer spildmængden til, hvad der findes i 600.000 m³ vand, også svarende til mængden af P inden for et areal på ca. 30.000 m² med en gennemsnitlig vanddybde på 20 m. Det samlede areal af havmølleparken udgør til sammenligning 182 mio. m². Spildet er altså meget lille i forhold til baggrundskoncentrationerne af N og P, og det vurderes, at de tilførte mængder af biologisk tilgængeligt N og P vil være ubetydelige. Miljøfremmede stoffer er bundet til organiske forbindelser og andre meget fine partikler i sedimentet. Miljøfremmede stoffer i havbundens sedimenter kan potentielt frigives ved suspension af sedimentet og dermed påvirke vandmiljøet. Da koncentrationen af miljøfremmede stoffer ved Kriegers Flak vurderes at være meget lave og ikke overskride de gældende grænseværdier (Femern Sund og Bælt, 2013), vil der ikke være en påvirkning vandmiljøet.

7.3 Sammenfatning af vurderinger af påvirkninger i anlægsfasen

Der er foretaget beregninger af aflejring og spredning af sediment under gravearbejdet i anlægsfasen. Resultaterne viser, at i graveperioden vil de dybdemidlede koncentrationer af sediment i vandfasen kun overstige 10 mg/l i korte perioder op til 1 time og et kvarter. Nedspuling af ilandføringskablerne kan give sedimentkoncentrationer over 10 mg/l i op til 12 timer i mindre områder.

De resulterende aflejringer er beregnet til at være mindre end 20 mm i forundersøgel-sesområdet og dette da kun i mindre områder. Langs kabelruten er de største aflejringer mindre end 5 mm.

Spredning af organisk materiale og næringssalte er vurderet at ville ske over en lang periode. Dette medfører lave koncentrationer, da den momentane påvirkning er lav og over store områder (medfører små aflejringshøjder) og således vurderet til ikke at påvirke vandkvaliteten. Der vil heller ikke være nogen påvirkninger i form af spredning af miljøskadelige stoffer, idet koncentrationerne i det suspendede sediment er meget lave og under gældende grænseværdier.

Samlet set vurderes afgravningerne til møllefundamenter og offshore platforme at give anledning til ubetydelig negativ påvirkning på sedimentforholdene og vandkvaliteten.

I Tabel 7-3 er vurderingerne af påvirkningerne på sedimentkoncentration og vandkvalitet i anlægsfasen opsummeret.

Sedimentforhold og vandkvalitet - anlægsfasen					
Kilde Type Receptor	Grad af forstyrrelse	Vigtighed	Sandsynlighed	Varighed	Påvirkningsgrad
Forhøjet sediment-koncentration og netto-sedimentation pga. suspension ved afgravning, plov og spuling	Lav	Lokal	Høj	Midlertidig (<5 år)	Ubetydelig/uden
Argument	Overskridelse af 10 mg/l er meget kortvarig (mindre end 12 timer) og sedimentationen er meget begrænset (< 5 mm).	Sedimentspredning vil forekomme i nærområdet på og i nærheden af Kriegers Flak og langs kabeltracéet.	Projektet realiseres med høj sandsynlighed.	Anlægsfasen forventes at vare 1-2 år.	
Påvirkning af vandkvalitet pga. suspension af sediment og frigivelse af næringsstoffer og organisk materiale	Lav	Lokal	Høj	Midlertidig (<5 år)	Ubetydelig/uden
Argument	Lave baggrundskoncentrationer af N og P og kun små mængder suspenderet stof vil være biologisk tilgængelige	Suspension af sediment og frigivelse af næringsstoffer og organisk stof vil forekomme i nærområdet på- og i nærheden af Kriegers Flak og langs kabeltracéet	Projektet realiseres med høj sandsynlighed	Anlægsfasen forventes at vare 1-2 år.	

Tabel 7-3: Opsumming af vurderinger i anlægsfasen af påvirkningerne på sedimentkoncentration og vandkvalitet.

8. Vurderinger af påvirkninger i driftsfasen

Potentielle påvirkninger af sedimentforhold og vandkvalitet i driftsfasen vil være ændringer i kystmorfologi, scour- og sedimentspredning samt vandkvalitet, som skyldes tilstedeværelsen af havmøllernes fundamenter.

8.1 Kystmorfologi

Potentiel påvirkning af kystmorfologien forsages af havmølleparkens indflydelse på bølgeforskelighederne og dermed de hydrografiske forhold, der styrer kysternes erosions- og sedimentationsprocesser. Havmølleparken vil medføre, at en del af bølgeenergien reflekteres og diffrakteres omkring fundamentene. Derudover reduceres bølgeenergien i området, da havmøllerne blokerer for vinden og reducerer vindhastighederne.

Hvorvidt de nærliggende kyster omkring Kriegers Flak påvirkes kvantificeres dermed gennem ændringerne i bølgeforskelighederne.

Modelopsætning

Til kvantificering af ændringerne i bølgeklimate er der anvendt den numeriske bølgemodel MIKE21 SW, som er en spektral bølgemodel, der er udviklet af DHI. Modellen beregner bølgehøjder og -retning som funktion af dybdeforskelighederne og f.eks. vinden i form af vindfelter med hensyn til:

- Refraktion som følge af variationer i vanddybden
- Bølgerejsning
- Energital som følge af friktion mod havbunden.
- Bølgebrydning.

Modellen er drevet af de i (NIRAS, 2013b) beregnede vindfelter inklusive reduktionen givet af havmølleparken (3 MW scenariet), og modstanden fra fundamentene er lagt ind i modellen som pælestrukturer med en diameter på 6 m, da modelopløsningen i det planlagte mølleparkområde er ca. 100 m.

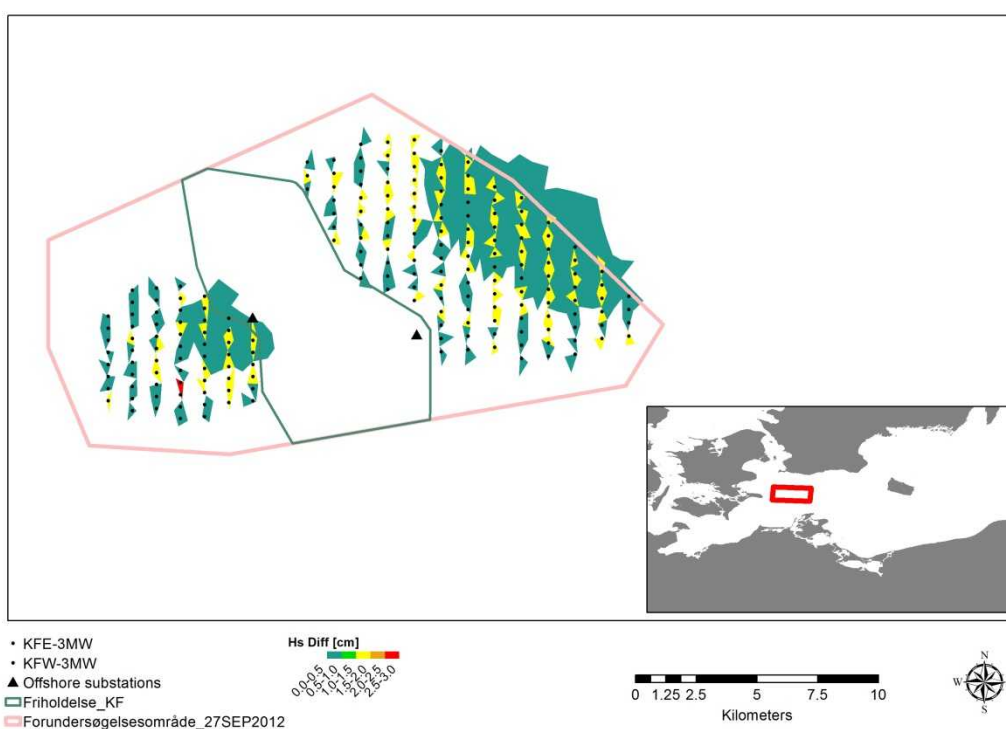
Ændring i bølgeklimate og kystmorfologi

Modelleringen af bølgeklimate er foretaget for henholdsvis de eksisterende forhold og de fremtidige forhold med 3 MW scenariet. Til vurdering af påvirkningerne af bølgekli-

maet er de eksisterende forhold og de fremtidige forhold med 3 MW scenariet sammenlignet for stormen den 8. januar 2005, hvor de højeste bølger er simuleret i havmølleparken (maksimal bølgehøjde på ca. 7,5 m.)

Bølgedæmpningen (reduktion i bølgehøjden) på grund af havmøllerne og transformerplatformene er estimeret til at være i en størrelsesorden af mindre end 2 % i en afstand op til ca. 5 km nedstrøms havmølleparken. Dette svarer til en reduktion i bølgehøjde på mindre end 3 cm for de højeste bølger, der forekommer i forundersøgningsområdet, Figur 8-1. Effekten er lokal og sker inden for nærområdet. Dæmpningen på grund af de reducerede vindhastigheder er i middel estimeret til ikke at indvirke på bølgeklimaet (NIRAS, 2013b).

De foranledigede ændringer i bølgeklimaet er lokale og af en størrelse, som er mange gange mindre end den naturlige variation. Påvirkningen af bølgeklimaet er i studiet vedr. hydrografiske forhold kvantificeret til at være ubetydelig (Burchard et. al, 2014). Havmølleparken forventes derfor ikke at have negative effekter på nærområdet og ligeledes ikke på kystmorfologien ved de omkringliggende kyster .



Figur 8-1: Reduktionen i den maksimale bølgehøjde som følge af 200 stk. 3 MW monopæle under stormen den 8. januar 2005. Det lyserøde polygon angiver forundersøgningsområdet. Det grønne polygon angiver restriktionsområdet omkring råstofindvindingsområdet centralt i havmølleparken.

8.2 Scour- og sedimentspredning

Når en struktur bliver installeret offshore, påvirkes strømningsmønstret ved, at hastigheden tæt på det installerede øges, hvorved ligevægtsforholdene i det omkringliggende sediment forskydes. Erfaringerne viser, at dette er gældende til en afstand af ca. en diameter for monopæle og noget mindre for gravitationsfundamenter (Whitehouse, 2012).

Nyere studier (Margheritin, 2012) viser, at den maksimale scour-dybde, S , for en monopæl og bøttefundamenter med en give diameter, D , kan beskrives som

$$S_{monopæl} = 1.3D$$

$$S_{bøtte} = 8.96 \cdot D \left(\frac{h_c}{h}\right)^{1.43} \left(\frac{U^2}{g \cdot h}\right)^N \text{ hvor } N = 0.83 \left(\frac{h_c}{D}\right)^{0.34}$$

Hvor h_c = højden af kassen over havbunden

h = vanddybden

U =den dybde midlet strømningshastighed

D =diametere af fundamentet

Det er antaget, at fundamentet er cirkulært, og at den dybdemidlede strømningshastighed er væsentligt større end den strømningshastighed, der kan bringe sedimentet i transport.

Det udviklede scour-hul vil få en horisontal udstrækning, bestemt af sedimentets friktionsvinkel, som ca. vil svare til en udstrækning på 3 gange dybden af hullet, målt fra centrum, således at en monopæl med diameter på 6 m vil have et scour-hul med en udstrækning på ca. 27 m fra center af pælen. Det tilsvarende mål for et gravitationsfundament er ca. 33 m.

På baggrund af de oplyste dimensioner i (Energinet.dk, 2014) er de estimerede scour-dybder og volumener beregnet, Tabel 8-1. De listede værdier skal tages som værende det maksimalt mulige – altså worst case, da de geologiske forhold samt de skiftende strøm- og bølgeforhold vil være en bremse for fuldt udviklet scour. Mængderne, der eroderes vil hovedsageligt blive aflejret i nærområdet udenfor det udviklede scour-hul, dog vil de fineste fraktioner kunne transporteres over større afstande.

Både scour-huller og den resulterende sedimentspredning kan foranledige en mindre negativ påvirkning.

Suspenderet sediment som følge af scour-udvikling vil ske over en tidshorizont fra mindre end en dag til flere måneder alt afhængigt af de lokale bundforhold og strøm- og bølgeforhold, hvoraf det hovedsageligt vil være sidstnævnte, der kan generere strømha- stigheder, som kan bringe sedimentet i transport.

For ikke kohæsive materialer (sand, grus og større sedimentfraktioner) vil bølger af en størrelsesorden på omkring 3 m dvs. signifikante bølger med en størrelse på ca. 1,6 m kunne flytte sand med en diameter på ca. 2,5 mm inden for en pælediameters afstand for en monopæl. Bølger af en sådan størrelse forekommer i ca. 10 % af tiden, (NIRAS, 2013b).

Mølletype	Diameter ved havbund (m)		Estimeret scourdybde (m)		Estimeret scourvolumen (m ³)	
	Monopæl	Gravitations- fundament	Monopæl	Gravitations- fundament	Monopæl	Gravitations- fundament
3 MW	6	23	7,8	6,4	7.593	8.140
3,6 MW	6	25	7,8	6,9	7.593	10.292
4 MW	7	28	9,1	7,3	12.057	12.518
8 MW	8	35	10,4	7,4	17.998	14.890
10 MW	10	40	13,0	7,6	35.152	17.324

Tabel 8-1 Teoretisk scourudvikling for hhv. en monopæl og et gravitationsfundament.

8.3 Vandkvalitet

8.3.1 Opblanding

Når vand strømmer omkring havmøllers fundamenter, dannes der turbulens, hvorved en del af vandets kinetiske energi omdannes til turbulent kinetisk energi, som igen kan lede til en opblanding af vandet omkring og umiddelbart nedstrøms for møllefundamenterne. Denne øgede blanding kan resultere i, at den tungeste del af vandet med størst salinitet blandes med lettere vand, sådan at den maksimale salinitet formindskes. Det vand, som strømmer gennem Lillebælt, Storebælt og Øresund, har typisk både høj salinitet og højt iltniveau. Disse vandmængder hjælper til både at ventilere og vedligeholde et højt salt-niveau i de dybere dele af Østersøen. Begge dele er af betydning for det marine miljø i Østersøen. Det anses derfor for en belastning af miljøet, hvis et bygværk medfører et generelt fald i den maksimale salinitet af det til Østersøen indstrømmende vand.

Det forventes, at ændringer i opblandingen pga. turbulens omkring havmøllernes fun- damente vil være meget begrænsede og kun forekomme lokalt omkring fundamenter-

ne (Burchard et. al, 2014). Derfor vurderes det, at påvirkningen af vandkvaliteten pga. ændringer i opblandingen tilsvarende vil være mindre negativ.

8.3.2 Korrosionsbeskyttelse

I dette afsnit er miljøfremmede stoffer fra korrosionsbeskyttelse af havmøllerne beskrevet og vurderet i forhold til påvirkning af vandkvaliteten.

Stålkonstruktioner under havoverfladen beskyttes mod korrosion af såkaldte katodiske offeranoder, som typisk vil bestå af aluminium. Offeranoderne er svejset fast på stålkonstruktionen af møllen og afgiver hele tiden en lille mængde materiale, som korroderer i stedet for stålet, idet korrosionsmaterialet er mere aktivt end stålet. Katodisk beskyttelse er standard på offshoreanlæg og -installationer som platforme, rørledninger, havne og i skibes ballasttanke.

Der skal bruges en større mængde aluminium for at beskytte mod korrosion i havmøllens levetid på 25 år. Det forventes, at inden for perioden på 25 år vil al aluminium blive frigivet til vandmiljøet. Grundet forholdene i havmiljøets som pH-værdi og tilstedeværelsen af forskellige salte vil aluminium findes på forskellige former; primært som salt, bundet til sulfat, hydroxid eller klorid, som frie ioner eller som metalpartikler. Da aluminium er almindeligt forekommende, og kun i ringe grad er toksisk over for vandlevende organismer (Miljøstyrelsen, 2001), forventes det, samlet, at denne korrosionsbeskyttelsesmetode vil have en ubetydelig virkning på miljøet. Det skal bemærkes, at nogle aluminiumsanoder indeholder kviksølv (Corrosion-doctors, 2013), som er giftigt. Ovenstående vurdering er baseret på en antagelse om, at der vil blive brugt anoder uden kviksølv.

For den del af strukturerne, der befinder sig i "splash-zonen" (7,5 m høj) (EnBW Erneuerbare Energien GmbH, 2009), vil korrosionsbeskyttelsen ske ved at behandle stålstukturerne med en beskyttende maling. Denne maling skal ifølge ISO 12944 være af klassen C5-M med en levetid >15 år eller bedre (Akzonobel, 2010). Nogle produkter i denne klasse indeholder epoxy og isocyanater, hvoraf enkelte er på listen over uønskede stoffer i Danmark (Miljøstyrelsen, 2009). Derudover indeholder denne type maling store mængder zink, ligesom det kan være nødvendigt at anvende metalspray på dele af strukturerne som f.eks. platformene. Både korrosionsbeskyttende maling og metalspray kan være giftig over for vandlevende organismer, og på denne baggrund anbefales det at vurdere, om korrosionsbeskyttelsen kan udgøre en fare for havmiljøet, inden den tages i brug.

For at kunne vurdere eventuelle negative effekter af den korrosionsbeskyttende maling er her, som eksempel, brugt et malingssystem fra Hempel A/S, som overholder de oven-

stående krav om modstandsdygtighed og levetid. Det valgte system består af følgende tre typer opløsningsmiddelholdig maling i forskellige lagtykkelser:

Malingstype	Navn og antal lag	Lagtykkelse (μm)
OH Zink	1x HEMPADUR ZINC 17360	40
OH Epoxy	2x HEMPADUR 47960	160
OH Polyuretan	1x HEMPATHANE HS 55610	80

*Tabel 8-2: Malingsystem fra Hempel A/S (Hempel A/S, 2010)
(OH=opløsningsmiddelholdig).*

I sikkerhedsdatablade og produktdatablade fra Hempel A/S (Hempel A/S, 2013) identificeres de stoffer, som er klassificeret som miljøfarlige, og som er til stede i malingen i større mængder. Det drejer sig især om opløsningsmidler som ethylbenzen og solventnaphta, og bindemidler som bisphenol A-(epichlorhydrin) epoxy harpiks ($MW < 700$). Desuden indeholder især det første lag maling store mængder zink, som er giftigt for vandlevende organismer. Malingssystemet indeholder også isocyanater, men ingen af disse er klassificeret som miljøfarlige, og de optræder ikke på listen over uønskede stoffer (Miljøstyrelsen, 2009). Opløsningsmidlerne forsvinder fra malingen under påføringen, som sker på produktionsstedet, og bindemidlerne forbliver i malingen på strukturen. Den høje mængde zink i det inderste lag maling er indkapslet af de øvrige lag, og frigivelsen af zink fra overfladen forventes derfor at være minimal. Mængden af miljøskadelige stoffer udgør, teoretisk set, en risiko for miljøet, men ifølge Hempel A/S (Makholm, 2014), er det usandsynligt, at stofferne frigives til miljøet, medmindre der sker uheld som påsejlinger el. lign. Flager af malingen, som kan blive slået af ved påsejlinger el. lign, vil sandsynligvis føres med strømmen og sedimentere over et større område, hvilket ikke forventes at medføre en påvirkning af miljøet.

Samlet set vurderes det, at de forskellige former for korrosionsbeskyttelse vil have en ubetydelig påvirkning af vandkvaliteten og altså uden negativ effekt.

8.4 Sammenfatning af vurderinger af påvirkninger i driftsfasen

De foranledigede ændringer i bølgeklimate er lokale og af en størrelse, som er mange gange mindre end den naturlige variation. Påvirkningen vurderes derfor at være ubetydelig og uden negative effekter på både nærområdet og de omkringliggende kyster.

Eableres der fundamenter uden scourbeskyttelse, vil der lokalt kunne opstå fordybninger omkring fundamenterne på flere meters dybde tæt på fundamentet aftagende til naturlig havbund 20 til 30 meter fra center af fundament som kan foranledige en mindre negativ påvirkning.

Påvirkning af vandkvaliteten pga. ændringer i opblandingen tilsvarende vurderes at ville være mindre negativ, idet der kun forventes meget begrænsede, lokale ændringer i opblandingen.

I Tabel 8-3 er vurderingerne af påvirkningerne i driftsfasen opsummeret.

Sedimentforhold og vandkvalitet - driftsfasen					
Kilde Type Receptor	Grad af forstyrrelse	Vigtighed	Sandsynlighed	Varighed	Påvirkningsgrad
Ændringer af kystmorfologi som følge af ændret bølgeklima	Lav	Ubetydelig / ikke vigtig	Høj	Permanent (>5 år)	Ubetydelig/uden
Argument	Den minimale ændring i bølgeklima er af en størrelsesorden der generelt er mindre end den naturlige variation	Der vil ikke kunne detekteres ændringer af de kystmorfologiske mekanismer	Projektet realiseres med høj sandsynlighed	Hele projektets levetid	
Scour omkring fundamenter hvis scour beskyttelse undlades	Lav	Lokal	Høj	Permanent (>5 år)	Mindre negativ
Argument	Der kan opstå fordybninger omkring fundamenterne på flere meters dybde tæt på fundamentet aftagende til naturlig havbund 20 til 30 meter fra center af fundament	Scourhullerne har en begrænset udstrækning og den bortroderede sediment aflejres typisk i umiddelbar nærhed af fundamentet	Projektet realiseres med høj sandsynlighed	Scour-hullerne vil bestå i større eller mindre grad i hele havmølleparkens levetid	
Påvirkning af vandkvalitet pga. ændringer i opblandingen	Lav	Lokal	Høj	Permanent (>5 år)	Mindre negativ
Argument	Opblandingen forventes at være minimal	Pontielle ændringer vil kun forekomme lokalt	Projektet realiseres med høj sandsynlighed	Evt. påvirkninger vil foregå i hele havmølleparkens levetid	
Miljøfremmede stoffer fra korrosionsbeskyttelse	Lav	Lokal	Høj	Midlertidig (<5 år)	Ubetydelig/uden
Argument	Der vil være meget lave koncentrationer af miljøfremmede stoffer i vandet	Et evt. udslip vil efter ganske kort tid fortyndes og kun forekomme i et nær område tæt på havmølleparken	Projektet realiseres med høj sandsynlighed	Frigivelse af miljøfremmede stoffer vurderes kun at kunne ske ved uheld	

Tabel 8-3: Opsummering af vurderinger af påvirkninger i driftsfasen.

9. Vurderinger af påvirkninger i demonteringsfasen

Efter endt levetid, ca. 25 år, skal de enkelte komponenter enten fjernes eller efterlades på sikker vis som beskrevet i afsnit 0.

Havmøllerne vil blive afmonteret med udstyr lig det, der blev anvendt ved installationen formentlig et jack up-fartøj. Aftryk i havbunden, som følge af benene, vil afhængigt af bundforholdene kunne være fra 0 til 10 m dybde. Hullerne vil typisk falde sammen, når fartøjet forlader positionen og/eller blive opfyldt som følge af den naturlige sedimentspredning i området. Dette kan vare fra få dage til år, men som kun vil have ubetydelig negativ påvirkning på sedimentforholdene i forundersøgelsesområdet.

Afhængigt af transformerplatforme og typen af havmøller og møllefundamenter vil der forskellige metoder til fjernelse af den del der ligger over naturlig havbund.

- Monopæle og jackets vil kunne skæres i havbunds niveau med ubetydelig negativ påvirkning. De dele, der efterlades under havbunds niveau, vil være uden påvirkning på sedimentforholdene og vandkvaliteten.
- Ligeledes med en bøttefundament-løsning, der kan løsnes fra havbunden ved, at der sættes tryk på bøtten. Finere sedimenter vil kunne frigives, men kun i mængder der vil have ubetydelig negativ påvirkning på sedimentforholdene og vandkvaliteten.
- Gravitationsfundamentet vil som bøttefundamentet kunne fjernes helt ved, at ballasten fjernes, således at fundamentet kan løftes op fra havbunden. Hvis typen er med åbne ballastrum vil finere sedimenter kunne frigives, men kun i mængder, der vil have ubetydelig negativ påvirkning på sedimentforholdene og vandkvaliteten.

Fjernelse af kabler vil foregå ved gravning/spuling, eller ved at kablerne trækkes op af havbunden. Påvirkninger af sedimentforhold og vandkvalitet vil være mindre eller i værste fald af samme størrelsesorden som påvirkningerne i anlægsfasen (ubetydelig / uden påvirkning), se afsnit 0.

Udlagt scour-beskyttelse omkring fundamentene vil efter 25 år være i ligevægt med den omkringliggende havbund og derfor have ubetydelig negativ påvirkning til at være neutral i forhold til sedimentforholdene og vandkvaliteten.

I Tabel 9-1 er vurderingerne af påvirkningerne i demonteringsfasen opsummeret.

Sedimentforhold og vandkvalitet - demonteringsfasen					
Kilde Type Receptor	Grad af forstyrrelse	Vigtighed	Sandsynlighed	Varighed	Påvirkningsgrad
Påvirkning af sedimentforhold og vandkvalitet pga. fjernelse af fundamenter (monopæle, sugebøtte eller gravitationsfundamenter)	Lav	Lokal	Høj	Midlertidig (<5 år)	Ubetydelig / uden
Argument	Fjernelse af fundamenter kan gøres med minimalt sedimentspild og uden at efterlade effekter der kan påvirke miljøet	Påvirkningen sker i havmølleområdet og nærområdet til denne	Projektet realiseres med høj sandsynlighed	Demontering af fundamenter forventes at kunne gennemføres over en kortere periode	
Påvirkning af sedimentforhold og vandkvalitet pga. fjernelse af kabler	Lav	Lokal	Høj	Midlertidig (<5 år)	Ubetydelig / uden
Argument	Fjernelse af kabler kan gøres med minimalt sedimentspild og uden at efterlade effekter der kan påvirke miljøet	Påvirkningen sker i havmølleområdet og nærområdet til denne	Projektet realiseres med høj sandsynlighed	Demontering af kablerne forventes at kunne gennemføres over en kortere periode	

Tabel 9-1: Opsummering af vurderinger af påvirkninger af sedimentforhold og vandkvalitet i demonteringsfasen.

10. Kumulative effekter

Kumulative effekter er miljøeffekter, som forårsages af, at flere projekter på samme tid påvirker de samme miljøforhold.

Kriegers Flak er udpeget som lokalitet for havmøller både af den danske, svenske og tyske regering, hvoraf de på tysk side er ved at opføre 80 stk. 3,6 MW havmøller på hhv. 39 monopæle og 41 jacketfundamenter, Baltic II. Herudover er Baltic I beliggende ca. 40 km fra undersøgelsesområdet. På svensk side er der for nuværende ikke planer om at opstille havmøller. Herudover er der udlagt et område til råstofindvinding midt i forundersøgelsesområdet til den danske havmøllepark på Kriegers Flak, som bl.a. er udlagt til indvinding af materialer til Femern Forbindelsen.

Der er en reel mulighed for, at anlægsfasen af den danske Kriegers Flak Havmøllepark kommer til at foregå samtidig med etableringen af Femern Bælt forbindelsen.

De tyske havmølleparker er etableret, når anlæg af den danske havmøllepark påbegyndes og må derfor antages at påvirke miljøet i en tilsvarende grad af, hvad der er konstateret for dette projekt, men uafhængigt af hinanden.

Kombinationen af spild fra indvindingsaktiviteter og graveaktiviteter ved etableringen af havmølleparken vil kunne forøge sedimentkoncentrationen, mængden af frigivne næringsalte og iltforbrugende stoffer i en afstand på op mod 20 km fra selve aktiviteten. Kombineres de for indvindingsområdet fundne koncentrationsniveauer/sedimentaflejringer med de, der er bestemt for Kriegers Flak Havmøllepark, vil sedimentkoncentrationer og sedimentaflejringer ikke blive påvirket uden for nærområdet.

10.1 Kystmorfologi

Fundamenterne og havmøllerne i både Kriegers Flak Havmøllepark, Baltic II og en mulig svensk park vil samlet set dæmpe bølgerne i et større område end hvis der kun var én havmøllepark. Effekten er dog lokal og meget lille, således at kysterne, der beliggende mere end 15 km væk, ikke vil blive påvirket. Samlede vurderes den kombinerede dæmpning at medvirke til en ubetydelig negativ påvirkning.

10.2 Scour

Scour er et lokalt fænomen og vil som sådan ikke medfører påvirkninger uden for mølleparkområdet. Der vil derfor ikke være nogen kumulative effekter på scourudviklingen som følge af råstofindvinding eller tilstedeværelsen af de to tyske havmølleparker.

10.3 Vandkvalitet

Der forventes ikke øget opblanding (Burchard et. al, 2014) som følge af en havmøllepark på den danske del af Kriegers Flak og derfor ikke en kumuleret effekt med Baltic II og Baltic I og en eventuelt senere kommende svensk havmøllepark.

Etableres Kriegers Flak Havmøllepark samtidig med Femern Bælt forbindelsen, vil der kunne forekomme perioder, hvor der spildes sediment samtidigt og derved frigives større mængder iltforbrugende stoffer og næringssalte. Dog har tidligere målinger vist, at der er et meget lavt iltforbrug og meget små mængder næringssalte i det opgravede materiale, således at de samlede forøgede mængder vurderes at have en ubetydeligt negativ påvirkning.

Der er lave koncentrationer af næringssalte og miljøfremmede stoffer (stoffer, som ikke forekommer naturligt i vandmiljøet, primært tungmetaller og TBT fra skibsmaling) og organisk materiale i det opgravede sediment, og det vurderes, at den kumulative påvirkning af vandkvaliteten vil være ubetydelig.

Forurening med næringsstoffer, organisk materiale og miljøfremmede stoffer i suspenderet sediment i forbindelse med graveaktiviteter forventes at være ubetydelig, da der kun er lave koncentrationer i sedimentet. Tabel 10-1 viser en opsummering af de vurderede kumulative effekter.

Sedimentforhold og vandkvalitet – kumulative effekter					
Kilde Type Receptor	Grad af forstyrrelse	Vigtighed	Sandsynlighed	Varighed	Påvirkningsgrad
Kumuleret sedimentspild pga. sandindvinding på Kriegers Flak samtidig med anlægssaktiviteter i havmøllepark	Lav	Lokal	Høj	Midlertidig (<5 år)	Ubetydelig / uden
Argument	Kombineres de for indvindingsområdet fundne koncentrationsniveauer og aflejringer med niveauer ved KF Havmøllepark, vil koncentrationsniveaue/aflejringer ikke blive påvirket uden for nærområdet	Påvirkningen sker i havmølleområdet og nærområdet til denne	Begge projekter realiseres med høj sandsynlighed	Sedimentspild vil kun forekomme i konstruktionsperioden for Femern Bæltforbindelsen og KF Havmøllepark.	
Kumulerede påvirkninger af kystmorfologi i driftsfasen pga. ændringer i bølgeenergi pga. havmøllerne ved Baltic I og II	Lav	Lokal	Høj	Midlertidig (<5 år)	Ubetydelig / uden
Argument	Den nærmeste kyst er 15km vest fra den første række havmøller. Påvirkningen på bølgeenergien er lokal og vil derfor ikke influere på de kystnære processer.	Påvirkningen sker i havmølleområdet og nærområdet til denne	Begge projekter realiseres med høj sandsynlighed	Reduktion er givet af fundamenterne samt havmøllerne.	
Kumulerede påvirkninger af vandkvaliteten pga. tilstedeværelsen af Baltic I og II samt indvinding af råstoffer	Lav	Lokal	Høj	Permanent (>5 år)	Mindre negativ
Argument	Den forøgede mængde miljøfremmede stoffer forventes at være meget lav.	Ændringer forventes at forekomme havmølleområdet eller i nærheden af dette.	Baltic I og II vil med sikkerhed være opført, og det danske havmølleprojekt og Femern Bæltprojektet realiseres med stor sandsynlighed.	Påvirkninger vil kunne forekomme i hele projektets levetid – så længe der er aktiviteter på de øvrige projekter.	

Tabel 10-1: Opsummering af vurderinger af påvirkninger af sedimentforhold og vandkvalitet i demonteringsfasen.

11. 0-alternativet

Hvis ikke havmølleparken opføres (0-alternativet), vil sedimentet ikke blive flyttet i samme grad, som hvis der etableres havmøller på Kriegers Flak, men der vil forekomme naturlige ændringer af vandkvalitet- og sedimentforholdene, som f.eks. under storme, hvor sedimentet vil bringes i suspension, og næringsstoffer fra havbunden kan spredes. Den største forskel på forholdene med og uden havmøllepark vil være, at der ikke kommer udvikling af scour og ingen scourbeskyttelse, hvis havmøllerne ikke sættes op. Det vil dog kun give anledning til lokale forskelle omkring møllefundamenterne. Regionalt vil der ikke kunne detekteres nogen forskelle i sedimentforholdene.

12. Afværgeforanstaltninger

12.1 Scourbeskyttelse

Ved at installere scourbeskyttelse kan det undgås, at der udvikles scour-huller omkring fundamenterne. Scourbeskyttelsen består af et eller flere lag af forskellige størrelse sten, som kan modstå påvirkning af strøm og bølger, omkring en konstruktion, der står på havbunden.

12.2 Nedspuling af kabler

Et alternativ til nedspuling af kabler kan være afgravning, som vurderes at medføre et noget mindre spild. På den anden side vil hovedparten af det materiale, der bringes i suspension ved nedspuling, bundfælde enten i kabelrenden eller i umiddelbar nærhed af denne. Kun de meget fine fraktioner som ler og silt forventes at kunne transporteres over større afstande og evt. kunne give anledning til sediment i vandfasen.

13. Eventuelle manglende oplysninger eller viden, der kan få betydning for vurderingerne

Ved ilandføring af eksportkablet er det antaget, at der anvendes plov helt ind tæt på kysten. Derved er større afgravninger og/eller evt. nedspuling ikke inkluderet i vurderingen.

14. Referencer

- Akzonobel. (2010). ISO 12944. Protect your assets in three easy steps. United Kingdom: Akzonobel.
- BioApp. (2014). Fisk og fiskeri. Forundersøgelse og udarbejdelse af VVM-redegørelse for Kriegers Flak Havvindmøllepark. Teknisk baggrundsrapport.
- Burchard. (2005). Dynamics of medium-intensity dense water plumes in the Arkona Basin. Burchard, H.L. Ocean Dynamics, 391-402.
- Burchard et. al. (2014). *Bolding, K; Büchmann B.; Jørgensen, J & Bergøe, T. Kriegers Flak ATR 6 – Hydrografi.*
- Corrosion-doctors. (2013). *Aluminium Anodes*. Hentede 09. januar 2014 fra <http://corrosion-doctors.org/CP/an-aluminum.htm>
- EnBW Erneuerbare Energien GmbH. (2009). *Offshore wind farm kriegers flak. Design basis*. Hamborg: EnBW Erneuerbare Energien GmbH.
- Energinet.dk. (2014). Kriegers Flak Havvindmøllepark - Teknisk projektbeskrivelse.
- European Commission. (20. januar 2009). *CLP-regulation (EC) No 1772/2008*. Hentede oktober. 21 2013 fra <http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/chemicals/documents/classifications/>
- Femern Sund og Bælt. (2013). Sandindvinding på Kriegers Flak - Råstofkortlægning og VVM. VVM-redegørelse for den faste forbindelse over Femern Bælt (Kyst-kyst).
- Hempel A/S. (Oktober 2010). *Valg af det rigtige malingsystem, vejledning til beskyttelse af overflader i henhold til ISO 12944*. Hentede 09. januar 2014 fra http://www.hempel.dk/~media/Sites/hempel-dk/Files/General/Brochures/ISO_BROCHURE_DK.pdf
- Hempel A/S. (december 2013). *Produktdatablade og sikkerhedsdatablade for Hempadur Zinc 17360, Hempadur 47960, Hempthane HS 55610*. Hentede 09. januar 2014 fra <http://www.hempel.dk/da-dk/product-list>
- <http://Energinet.dk>. (u.d.).
- Jensen et al. (2011). *Jensen, J. B.; Leth, J. O.; Borre, S.; Nørgaard-Pedersen, N.; Lomholt, S.; Edelvang, K.: En overordnet geologisk vurdering af 6 udpegede lokaliteter for havvindmøller i Danmark*. København: GEUS.
- Kystdirektoratet. (2014). <http://omkystdirektoratet.kyst.dk>.

- Larsen et al. (1995). *A guide to engineering geological soil description* - Larsen, G.; Frederiksen, J.; Villumsen, A.; Fredericia, J.; Gravesen, P.; Foged, N.; Knudsen, B.; Baumann, J. Danish Geotechnical Society.
- Makholm, E. (08. januar 2014). Senior Technical Advisor.
- Margheritin, L. N. (2012). Scour around offshore wind turbine foundations - Comparison between monopiles and bucket foundations.
- MariLim. (2014). Kriegers Flak Offshore Wind Farm and Grid Connection: Baseline and EIA report on benthic flora, fauna and habitats.
- Miljøstyrelsen. (August 2001). *Aluminium, uorganiske forbindelser*. Hentede 09. januar 2014 fra <http://www.mst.dk/NR/ronlyres/EF182A94-A635-447C-B421-2BE447D41B91/0/Aluminiumdtbvand.pdf>
- Miljøstyrelsen. (2008). Klapvejledningen - vejl. nr. 9702 af 20/10/2008.
- Miljøstyrelsen. (2009). *Listen over uønskede stoffer*. Hentede 21. Oktober 2013 fra http://www.mst.dk/Virksomhed_og_myndighed/Kemikalier/Stoflister+og+databaser/listen_over_uoenskede_stoffer/
- NIRAS. (2013a). Vurderingsmetode - VVM af Kriegers Flak Havvindmøllepark.
- NIRAS. (2013b). *Kriegers Flak MetOcean*. Energinet.dk.
- Rambøll. (2013a). *Interpretive Survey Report, KRIEGERS FLAK & HORNS REV 3 – GEO INVESTIGATIONS 2012*. Energinet.dk.
- Rambøll. (2013b). *Kriegers Flak OWF Geophysical Survey Results*.
- Rambøll. (2014). *Kriegers Flak Offshore Wind Farm Integrated Geological Model*.
- Sweden Offshore Wind AB. (2004). *Vindkraftspark - Kriegers Flak Miljøkonsekvensbeskrivning*. Stockholm: Sweden Offshore Wind AB.
- U.S. Army Corps of Engineers. (2008). *Coastal Engineering Manual*.
- Vattenfall Vindkraft AB. (2009). *Kriegers Flak Offshore Wind farm - Site Assessment*. Vattenfall Vindkraft AB.
- Waterconsult. (1993). *Sandindvinding på Kriegers Flak, Vurdering af miljøkonsekvensen. Den Faste Øresundsforbindelse*.
- Waterconsult. (1995). Kastrup Havlø Jordindnygning, erfaring vedrørende spildovervågning.

Whitehouse, S. a. (2012). Evaluating scour at marine gravity foundations.