

Aflandshage/ Nordre Flint Vindmøllepark

Baggrundsrapport for kystmor-
fologi, klapning, hydraulik mv.

WAHA01-GEN-PRO-05-000017 HOFOR Vind A/S

11. OKTOBER 2021



Projekt ID: 10404847
Ændret: 11-10-2021 17:25
Revision 2

Udarbejdet af ssc/teb
Kontrolleret af teb
Godkendt af klbu

Indhold

1	Indledning	6
1.1	Formål	6
2	Projektbeskrivelse	7
2.1	Anlæg til havs	7
2.2	Anlæg på land	9
3	Metode	9
3.1	Del 1: Undersøgelser	10
3.2	Del 2: Udvælgelse af klappads	10
3.3	Del 3: Numerisk modellering	10
4	Baggrundsdata	11
4.1	Data fra feltundersøgelser	11
4.1.1	Eksterne feltundersøgelser	11
4.1.2	Feltundersøgelser lavet under denne rapport	12
4.2	Vind	14
4.3	Bølger, strøm og vandstand	15
4.4	Bathymetriske data	15
4.5	Sedimentkarakteristika	15
5	Modelopsætning	17
5.1	Bathymetri og beregningsnet	17
5.2	Modelopsætning hydrodynamik og bølger	19
5.2.1	Modeltyper	19
5.2.2	Randbetingelser	19
5.2.3	Vind	21
5.2.4	Bundforskydningsspænding	21
5.3	Modelopsætning spildmodellering	21
5.3.1	Model type	21
5.3.2	Generelle opsætning	21
5.3.3	Erosion	21
5.3.4	Deposition	21
5.3.5	Faldhastigheder	22
5.3.6	Dispersion	23

5.3.7	Sedimentspild under anlægsarbejde	23
5.3.8	Spildmængder	23
5.3.9	Graveplan	25
6	Valg af beregningsperiode	28
7	Lysdæmpning	31
8	Effekter på bølger og strøm	32
8.1	Eksisterende forhold	32
8.2	Bølger eksisterende forhold	33
8.3	Strøm eksisterende forhold	33
8.4	Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen	34
8.5	Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen	34
8.5.1	Metode	34
8.5.2	Bølge- og strøm påvirkning ved Aflandshage	35
8.5.3	Bølge- og strøm påvirkning ved Nordre Flint	39
8.6	Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen	43
8.7	Kumulative virkninger	44
8.8	Afværgeforanstaltninger	44
8.9	Eventuelle mangler	44
8.10	Konklusion (Bølger og strøm)	44
9	Effekter på vandskifte	44
9.1	Eksisterende forhold	44
9.2	Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen	45
9.3	Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen	45
9.4	Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen	46
9.5	Kumulative virkninger	46
9.6	Afværgeforanstaltninger	46
9.7	Eventuelle mangler	46
9.8	Konklusion (Vandskifte)	46
10	Effekter på erosion	47
10.1	Generelt	47
10.2	Eksisterende forhold	48
10.3	Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen	48
10.4	Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen	48
10.5	Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen	49
10.6	Kumulative virkninger	49

10.7	Afværgeforanstaltninger	49
10.8	Eventuelle mangler	49
10.9	Konklusion (Erosion)	49
11	Effekter af sedimentspild	49
11.1	Baggrundskoncentration	49
11.2	Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen.	50
11.3	Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen (Nordre Flint)	50
11.3.1	Koncentrationer (Nordre Flint)	50
11.3.2	Overskridelseshyppigheder (Nordre Flint)	51
11.3.3	Maksimale depositioner (Nordre Flint)	53
11.3.4	Analyse af resuspension (Nordre Flint)	54
11.4	Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen (Nordre Flint)	59
11.5	Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen (Nordre Flint)	59
11.6	Kumulative virkninger (Nordre Flint)	59
11.6.1	Koncentrationer (Nordre Flint)	60
11.6.2	Overskridelseshyppigheder (Nordre Flint)	61
11.6.3	Maksimale depositioner (Nordre Flint)	65
11.7	Afværgeforanstaltninger (Nordre Flint)	67
11.8	Eventuelle mangler (Nordre Flint)	68
11.9	Konklusion (Nordre Flint)	68
11.10	Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen (Aflandshage)	68
11.10.1	Koncentrationer (Aflandshage)	68
11.10.2	Overskridelseshyppigheder (Aflandshage)	69
11.10.3	Maksimale depositioner (Aflandshage)	71
11.10.4	Analyse af resuspension (Aflandshage)	72
11.11	Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen (Aflandshage)	76
11.12	Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen (Aflandshage)	76
11.13	Kumulative virkninger (Aflandshage)	76
11.13.1	Koncentrationer (Aflandshage)	77
11.13.2	Overskridelseshyppigheder (Aflandshage)	78
11.13.3	Maksimale depositioner (Aflandshage)	82
11.14	Afværgeforanstaltninger (Aflandshage)	84
11.15	Eventuelle mangler (Aflandshage)	84
11.16	Konklusion (Aflandshage)	85
12	Effekter på Kyster	85
12.1	Eksisterende forhold	85
12.2	Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen	87

12.3	Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen	87
12.4	Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen	100
12.5	Kumulative virkninger	100
12.6	Afværgeforanstaltninger	100
12.7	Eventuelle mangler	100
12.8	Konklusion (Kyster)	100
13	Konklusion (Samlet)	100
14	Referencer	101

Appendix

Appendix 1 : Kornkurver

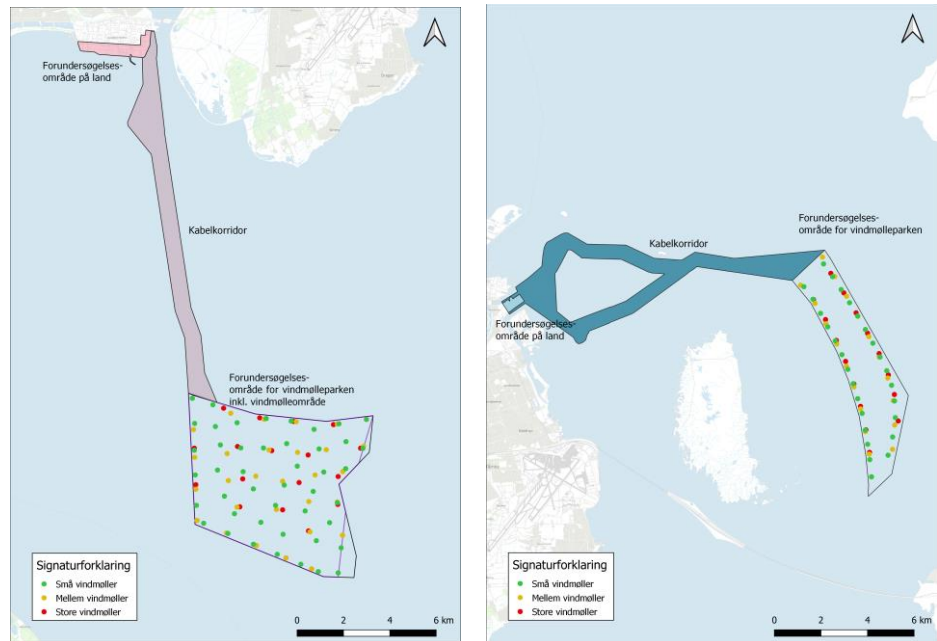
Appendix 2 : Bølger ved Nordre Flint fra 1995 - 2019

Appendix 3 : Bølger ved Aflandshage fra 1995 -til 2019

1 Indledning

HOFOR planlægger at anlægge to vindmølleparker ved henholdsvis Nordre Flint og Aflandshage. Disse er vist i Figur 1.1. Begge vindmølleparker skal bestå af et vindmølleområde, hvor vindmøllerne skal anlægges, en kabelkorridor til ilandføringskabler, hvor energien skal transporteres ind til land og et forundersøgsområde på land hvor energien transporteres fra ilandføringspunktet til nettilslutningspunktet.

Figur 1.1 Oversigt over forundersøgsområderne og foreslåede vindmølleplaceringer på henholdvist Aflandshage (venstre) og Nordre Flint (højre).



I forbindelse med anlæg af vindmøllerne kan der komme forskellige påvirkninger på miljøet. Projekterne er i den forbindelse kendt VVM-pligtige. Selve miljøkonsekvensrapporten for hhv. Aflandshage Vindmøllepark og Nordre Flint Vindmøllepark belyser projekternes potentielle miljøpåvirkninger.

Indeværende dokument er en baggrundsrapport omhandlende henholdsvis kystmorfologi, sedimentspild og hydraulik i forbindelse med de foreslåede vindmølleparker.

Baggrundsrapporten er udarbejdet i relation til både Aflandshage Vindmøllepark og Nordre Flint Vindmøllepark. HOFOR har arbejdet parallelt med udviklingen af og forundersøgelserne for de to vindmølleparker igennem en årrække. HOFOR modtog således forundersøgelsestilladelser for begge vindmølleparker den 6. marts 2019 og har afleveret forundersøgelser for begge vindmølleparker den 21. december 2020.

Baggrundsrapporten belyser altså forholdene i relation til begge vindmølleparker og indgår i dokumentationen for begge. Det fremgår af rapporten hvor der beskrives eller vurderes forhold i relation til begge vindmølleparker, alene i relation til Aflandshage Vindmøllepark eller alene i relation til Nordre Flint Vindmøllepark.

1.1 Formål

Formålet med indeværende rapport er at beskrive mulige effekter af følgende emner pga. placeringen af vindmøller, klapping og gravning af kabler:

- Mulige ændringer i strøm
- Mulige ændringer i bølger
- Mulige ændringer i sediment transport mønstre og kysthydraulik
- Mulige impacts pga. klappning og gravning til fundamenter

2 Projektbeskrivelse

Den fulde projektbeskrivelse er givet i de tekniske projektbeskrivelser for vindmøleparkerne (NIRAS, 2021; NIRAS, 2020). I det følgende gengives udelukkende de dele som er relevante for indeværende baggrundsrapport.

2.1 Anlæg til havs

Aflandshage vindmøllepark ligger nordøst for Stevns Klint i Øresund med et forundersøgellesområde på 56,5 km². Forundersøgellesområdet er en kombination af et 42 km² offshore vindmølleområde reserveret til vindmøller og inter array kabler samt en mulig transformerplatform med tilhørende transformerinstallation. Transformerrinstallationen vil være forbundet med et eller flere vindmøllefundamenter. Forundersøgellesområdet består desuden af en 12,5 km² kabelkorridor forbeholdt anlæg af op til 6 parallelle ilandføringskabler, der transporterer den elektriske strøm til Avedøreværket.

Nordre Flint vindmøllepark ligger øst for Saltholm i Øresund inden for et forundersøgellesområde på 33 km². Forundersøgellesområdet er en kombination af et 17 km² vindmøllepark forundersøgellesområde forbeholdt turbiner og inter-array kabler. Herudover består forundersøgellesområdet af en 15,6 km² kabelkorridor reserveret til anlæg af op til 4 parallelle netforbindelseskabler, der transporterer den elektriske strøm til Energinets 132 kV transformerstation på Amagerværket.

I udgangspunktet arbejdes der for begge vindmølleparker med tre størrelser vindmøller, som kan blive opført. For Aflandshage Vindmøllepark er disse:

- Lille vindmølle (5,5 – 6,5 MW)
- Mellem vindmølle (7,5 – 8,5 MW)
- Stor vindmølle (9,5 – 11 MW)

Mens de for Nordre Flint Vindmøllepark er:

- Lille vindmølle (5,5 – 6,5 MW)
- Mellem vindmølle (7,5 – 8,5 MW)
- Stor vindmølle (9,5 – 10 MW)

Hver af disse vindmøllestørrelser kan funderes på:

- Monopælsfundament (MP)
- Gravitationsfundament (GBS)

Jacket-fundamenter har også tidligere været med i overvejelserne om fundamenttyper for projektet, men i det følgende vurderes kun de to ovenfor nævnte fundamentstyper.

Der er 4 muligheder for hvordan ilandførings- og inter array-kablerne lægges:

- Nedspuling
- Pløjning
- "Vertical injector"

- Gravet rende

Da undergrunden er meget hård nogen steder, er der i de tekniske projektbeskrivelser angivet en kombination af nedspuling og forud gravet rende. Dette er især aktuelt ved Nordre Flint vindmøllepark.

Det er vurderet, at det den største påvirkning skal forventes hvis det vælges at bruge gravitationsfundamenter da disse berører det største volumen og giver den største arealmæssige blokering, hvorfor der i det følgende kun er vurderet på den betragtede påvirkning i denne forbindelse – worst case.

Data for individuelle og den samlede mængde gravitationsfundamenter er givet i Tabel 2.1 for Aflandshage og Tabel 2.2 for Nordre Flint. Data for andre typer fundamenter kan findes i de tekniske projektbeskrivelser (NIRAS, 2021; NIRAS, 2020).

Tabel 2.1: Data for gravitationsfundamenter ved Aflandshage

	Gravitationsfundamenter (GBS)		
	5,5-6,5 MW	7,5-8,5 MW	9,5-11,0 MW
Vindmøllestørrelse			
Antal vindmøller, #	45	31	26
Skaftdiameter, m	5,0-6,5	5,5-7,0	6,0-7,5
Skaftdiameter (med platform), m	10-15	10-15	10-15
Fundamentsdiameter, m	23-30	25-35	26-40
Diameter af fundament inclusive erosionsbeskyttelse, m	33-50	35-55	36-60
Volumen erosionsbeskyttelse per fundament, m ³	880-2.500	940-2.850	970-3.150
Total volumen af erosionsbeskyttelse for hhv. 45/31/26 vindmøller, m ³	39.600-113.100	29.200-87.650	25.300-81.700
Diameter af udgravning, m	23-33	25-45	26-50
Volumen udgravning, m ³ (per fundament)	1.200-1.800	1.400-2.500	1.600-3.200
Udlægning grus, m ³ (per fundament) ¹	115-1.000	130-1.400	160-1.700

Tabel 2.2: Data for gravitationsfundamenter ved Nordre Flint.

	Gravitationsfundamenter (GBS)		
	5,5-6,5 MW	7,5 – 8,5 MW	9,5-11,0 MW
Vindmøllestørrelse			
Antal vindmøller, #	28	20	16

	Gravitationsfundamenter (GBS)		
Skaftdiameter, m	5,0-6,5	5,5-7,0	6,0-7,5
Skaftdiameter (med platform), m	10-12,5	10,5-13,0	11-13,5
Fundamentsdiameter, m	23-27	25-35	26-40
Diameter af fundament inklusive erosionsbeskyttelse, m	27-37	30-45	31-50
Volumen erosionsbeskyttelse per fundament, m ³	460-1.650	500-2.600	610-2.950
Total volumen af erosionsbeskyttelse for hhv. 28/20/16 vindmøller, m ³	12.800-46.200	10.000-52.000	9.760-47.200
Diameter af udgravning, m	23-33	25-45	26-50
Volumen udgravning, m ³ (per fundament)	1.200-1.800	1.400-2.500	1.600-3.200
Udlægning grus, m ³ (per fundament) ¹	115-1.000	130-1.400	160-1.700

2.2 Anlæg på land

Ikke relevant for denne rapport.

3 Metode

Formålet med indeværende dokument er at beskrive mulige effekter af følgende emner pga. placeringen af vindmøller, klapping og gravning af kabler.

I Tabel 3.1 er vist en oversigt over mulige effekter, som vil blive undersøgt i denne rapport.

Tabel 3.1: Oversigt over mulige effekter til undersøgelse.

	Strøm	Vind	Bølger	Sediment-spild	Morfologi
Effekt	Modstand fra den enkelte vindmølle	Modstand fra den enkelte vindmølle	Blokering/refleksion af bølger fra den enkelte vindmølle	Sediment spildes i vandfasen	Effekt på havbund pga. ændret strøm samt effekter på kyster pga. ændrede bølger
Lokale ændringer	Ændring i strøm lokalt	Lokal dæmpning af vind	Ændringer pga. blokering/refleksion	Forøget SSC og deposition rundt om graveoperation	Ændring i lokal vanddybde pga. ændring i strøm
Globale ændringer	Ændring i strøm globalt. Ændring i vandgennemstrømning regionalt.	Downstream ændring af vindfelt	Ændringer pga. blokering/refleksion. Ændringer pga. downstream vinddæmpning	Små ændringer i deposition og tilvækst i SSC	Efekte på kyster på grund af ændrede bølger

Opgaven med at beskrive mulige effekter er delt i tre dele beskrevet i det følgende.

3.1 Del 1: Undersøgelser

Indledningsvis er der foretaget en række undersøgelser, som er udført af forskellige aktører med tilknytning til projektet. De forskellige aktører er nævnt herunder:

1. Bathymetrisk survey (GEUS)
2. Substratkortlægning (GEUS)
3. Geotekniske undersøgelser (GEO)
4. Grabprøve survey (NIRAS)

NIRAS har udtaget grabprøver med det formål at bestemme sedimenttyper, og lave primær kornfordelingskurver (kornstørrelsesfordelinger uden sammenkitning eller flokkulation).

3.2 Del 2: Udvalgelse af klappads

Sideløbende foretages en afklaring med miljøstyrelsen omkring hvilken klappads, man ønsker at anvende samt hvorvidt sedimentet kan regnes som rent, eller om der skal udføres supplerende prøver omkring miljøfremmede stoffer. Denne afklaring pågår.

3.3 Del 3: Numerisk modellering

Endeligt opstilles en numerisk model for at beskrive de reelle effekter af de to vindmølleparker på det marine miljø. Selve indvirkningen beskrives ved at opstille en numerisk model, som beskriver vandbevægelserne samt spredning af sediment med og uden vindmøller. Modellen beskrives i afsnit 5.

Den numeriske modellering består af 4 dele:

- Hydraulisk modellering af ændringer i strøm,
- Hydraulisk modellering af ændringer i bølger,
- Hydraulisk modellering af mulige ændringer ved kyster og i havbunden
- Hydraulisk modellering af spredning af spild i gravefasen

Rent modelleringsteknik er der 48 mulige kombinationer af vindmøllestørrelser versus fundamenttyper og vindmølleplaceringer. Der regnes ikke på alle kombinationer. I denne rapport regnes der udelukkende på den værste tænkelige kombination (worst case), da dette er med til at sikre, at de væsentligste påvirkninger fra projektet bliver belyst.

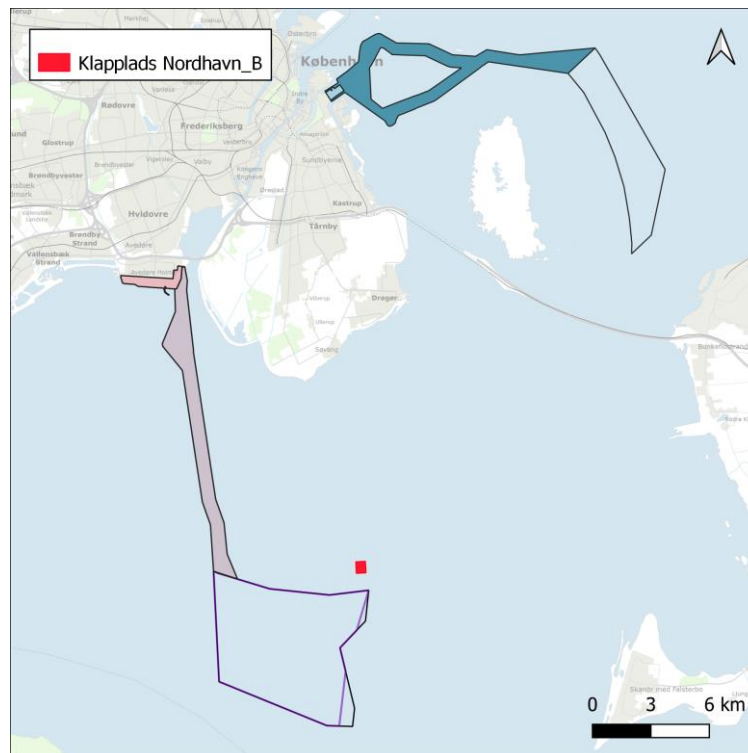
Worst case situationen er, både hydrodynamisk og spildmæssigt, når man har mange små vindmøller, som står på gravitationsfundamenter. Det er denne kombination, som giver det største spild og den største forstyrrelse i strøm og bølger geometrisk set. Mht. kablerne er det jetting, som giver det største spild. Der regnes ikke med kumulerede effekter imellem de to vindmølleparker, da det forventes at vindmølleparkerne anlægges mere eller mindre successivt med det samme udstyr, og relativt kort overlap.

For at dække en worst case situation regnes der på en anlægsperiode, som starter 1. maj og hen over sommeren til august måned (se afsnit 5.3.9 for detaljer). Denne periode er valgt, dels fordi det er sandsynligt at anlægsperioden vil ligge i

de vejrmæssigt rolige sommermåneder, og dels fordi denne periode er den, hvor man må forvente at miljøet er mest sensitivt i forhold til biologisk vækst og dermed en worst case. Ligeledes vil en rolig periode give mindre spredning af sedimentet og dermed højere koncentrationer og intens sedimentation i nærområdet.

Regneteknisk er de to vindmølleparker uafhængige af hinanden, og man kan således addere resultaterne, hvis man ønsker at se den kumulerede effekt. Det antages, at al klapning foregår på klaplads Nordhavn_B, se Figur 3.1 for placering, og at det foregår med splitbarge eller et lignende fartøj.

Figur 3.1: Placering af klaplads Nordhavn_B (rød firkant).



4 Baggrundsdata

4.1 Data fra feltundersøgelser

4.1.1 Eksterne feltundersøgelser

Der er blevet udarbejdet en række andre undersøgelser, hvor oplysningerne fra disse rapporter er indarbejdet i denne rapport.

- Undersøgelserne er gennemgået og beskrevet i følgende baggrundsrapporter: Bathymetrisk survey (GEUS, vanddybder)
- Substratkortlægning (GEUS, overfladesediment typer)
- Geotekniske undersøgelser (GEO, sedimenttyper i dybden)

4.1.2 Feltundersøgelser lavet under denne rapport

Der blev d. 16. juni 2020 taget grabprøver på Aflandshage og efterfølgende d. 24. juni på Nordre Flint. I begge tilfælde var vejrforholdene rolige med svag vind, drivende skyer og mindre bølger, se Figur 4.1.

Figur 4.1: Billede fra 16/6 2020, taget ved kabelkorridoren for Nordre Flint. Billedet viser vejrforholdene på dagen samt vindmøllerne udfør Lynetten.



Grabprøverne blev taget fra en Ørnvik 510 med en 5L Van Veen Grab. Denne er vist i Figur 4.2. Der blev anvendt en Garmin 710S til positionering med en præcision på +-25m.

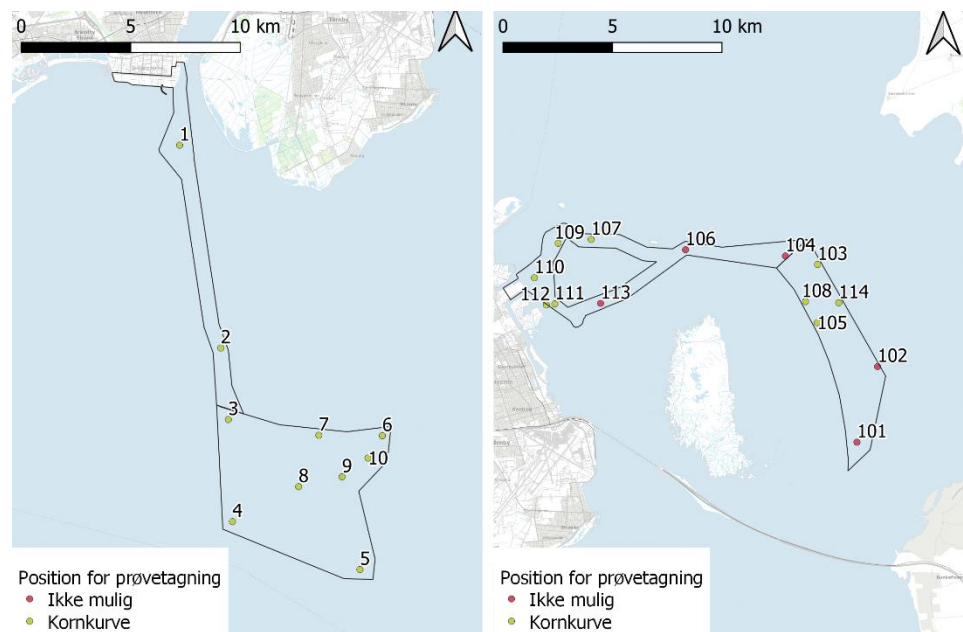
Figur 4.2 Van Veen Grab.



Proceduren var at nedsænke grabben på positionen og løfte forsigtigt en gang for at sikre at grabben lukkede. Herefter blev grabben løftet i en jævn bevægelse fra bunden og op i båden. I båden blev overskydende vand forsigtigt drænet af igennem de små låger i toppen af grabben. Herefter blev grabben placeret i en 5 l prøvpose, og indholdet med vand blev forsigtigt placeret i posen, som blev lukket og forsynet med ID. Herefter blev grabben skyllet inden næste test. På steder med hård bund blev dette markeret i test protokollen.

Positionerne blev valgt ud fra GEUS substratkort således, at alle forventede jordartstyper blev dækket. Der blev valgt ca. 10 positioner for hvert område. Dette er vist i Figur 4.3. De røde punkter i figuren havde hård bund, hvor der enten ikke kom noget med op, eller der kom kun små sorte aflange flintesten med op.

Figur 4.3: Prøvetagningsstationer for Aflandshage (venstre) og Nordre Flint (højre).



P

Prøverne blev sendt til ALS med henblik på primærpartikelanalyse. Det optaget materiale var generelt sand med varierende indhold af flint. Dog var der positioner ved Nordre Flint, hvor der var hård bund og grabben enten kom op tom eller med mindre stykker af flint. Der var ligeledes positioner ved Lynetten, hvor der var meget organisk vækst i form af ålegræs og andet.

Der er ikke foretaget test for miljøfremmede stoffer, da dette ikke forventes at være et problem, da der er tale om uberørt havbund. Bygherren afventer miljøstyrelsens respons på dette.

NIRAS er senere blevet bekendt med, at der er en klappads (Nordhavn_B) indenfor Aflandshage vindmøllepark hvor der er klappet Gytje. NIRAS har ikke taget prøver på denne position.

Kornstørrelsesanalyserne kan ses i appendix 1 og i afsnit 4.5.

4.2 Vind

Den i modellen anvendte vind er baseret på modellen Cosmo-Rea6, der kommer fra Hans-Ertel-Centre for Weather Research – Climate Monitoring and Diagnostics ved Bonn and Cologne Universitet og styres af Det tyske meteorologiske Institut, (DWD). Opløsningen er relativt fin (6 km x 6 km). Til brug for nærende undersøgelse er vinden udtrukket 10 m over niveau. Vinden er givet som en øjeblikks vind midlet over et areal på 6 km x 6 km, hvilket erfaringsmæssigt svarer til en 10 minutter middel vind.

Data er til rådighed på formen:

- Vindhastighed, øst [m/s]
- Vindhastighed, nord [m/s]
- Tryk [Pa]

4.3 Bølger, strøm og vandstand

Den numeriske model for Øresund og Køge Bugt opererer med 3 åbne rande – en mod Kattegat og to mod den nordlige del af Østersøen. Ved randen tilføres beregnede bølger, strøm og vandstandsdata leveret af DHI. Følgende input er givet ved randen:

- Signifikant bølgehøjde, H_{m0} [m]
- Peak bølgeperiode, T_p [s]
- Bølgeretning, [dir]
- Strømhastighed, [m/s]
- Vandstand, [m MSL]

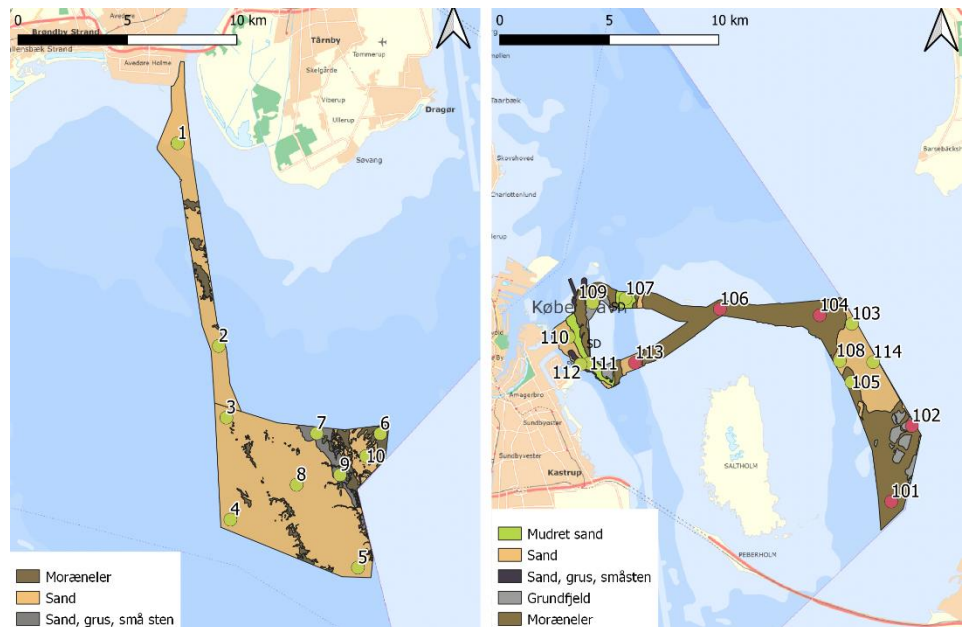
4.4 Bathymetriske data

Bathymetrien i den opstillede model er baseret på digitaliserede søkort, C-Map samt farvandsvæsenets måling og GEUS sonar undersøgelser.

4.5 Sedimentkarakteristika

I forbindelse med projektet har GEUS's udført substratundersøgelser af de to forundersøgellesområder, mens NIRAS, som tidligere nævnt, har udtaget sedimentprøver med en grab for udvalgte positioner, som angivet i Figur 4.4. Ved positioner, angivet med rød prik, var det ikke muligt at optage en sedimentprøve, da bunden var for hård. Det ses, at GEUS primært har klassificeret sedimentet som kalk, moræneler og sand. GEUS klassificering er sammenholdt med de boreprøver, der er foretaget af Geo. De øverste meter af boreprøverne stemmer generelt godt overens med GEUS klassificering.

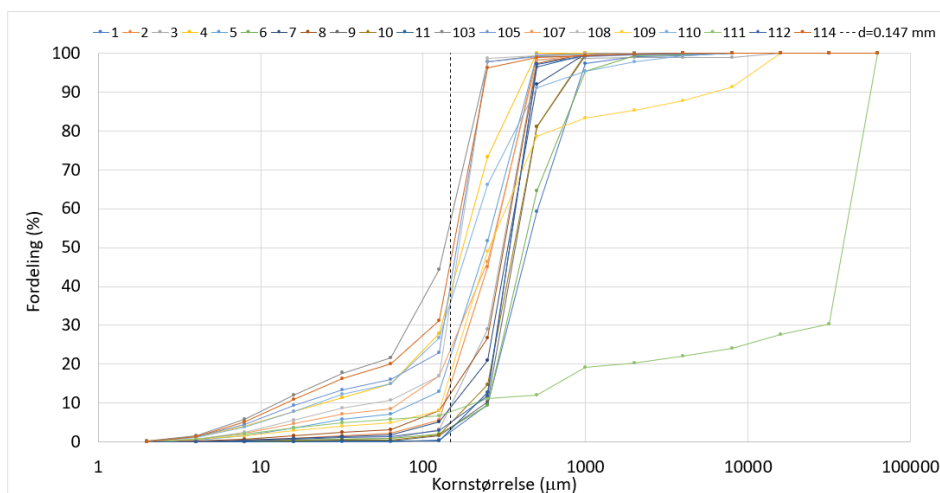
Figur 4.4: Figur der viser position for sedimentprøver sammen med GEUS bestemmelse af sedimentet ved Aflandshage (venstre) og Nordre Flint (højre).



Kornkurver for sedimentprøver optaget af NIRAS ses i Figur 4.5 og Appendix 1. Kornkurverne viser primærpartikelfordelingen. Dvs. uden nogen form klumper, flokkulering eller andet. Der er i sedimentprøverne ikke sediment partikler mindre

end 0.002 mm. Sedimentprøverne repræsenterer kun de øverste 10 cm af havbunden. Det fine sediment mindre end 0.001 mm, resuspenderes relativt nemt, hvilket kan forklare, at dette sediment ikke viser sig i kornkurverne. Derudover kan noget af det fine sediment være skyllet med vandet ud af grabben igen, da prøven blev taget op.

Figur 4.5: Kornkurver af primær partikelfordelingen for sedimentprøver. Det var ikke muligt at optage prøve 101, 102, 104, 106 og 113, derfor er der ikke vist en kornkurve af disse prøver.



Det forventes dog, at der findes sedimentfraktioner mindre end 0.002 mm. I spildberegningerne er det vigtigt at have de fine fraktioner med, da disse vil være i suspension i længst tid og derfor vil blive spredt længst væk fra spildpositionen samtidig med, at de giver den største lysdæmpning.

De foretagne sedimentanalyser viser primærpartikelfordelingen og medtager således ikke at sediment, ved gravning, delvist vil bryde i flager eller stumper ligesom det ikke medtager effekten af flokkulering. Man kan således ikke direkte omsætte en primærfordeling til in situ faldhastigheder ved gravning, men det giver en fin indikation af den grundlæggende fordeling.

Indeværende projekt har ikke lavet de avancerede faldhastighedsforsøg, som skal til for at estimere de reelle faldhastigheder, da dette ikke er sædvanlig praksis.

I forbindelse med VVM for Femern Bælt forbindelsen, blev der udført detaljerede sedimentanalyser af flokkulering, brydning og faldhastigheder og forskydnings-spændinger af gravet sediment, (DHI/IOW Consortium, 2013). I spildberegningerne for Femern Bælt forbindelsen arbejdede konsortiet med 7 sedimenttyper, her i blandt moræneler og postglacial sand som også er de primære sedimenttyper i indeværende projekt og som anvendes i denne rapport. Hver sedimenttype blev inddelt i 5 fraktioner, den groveste med en diameter på 0.147 mm. Sediment grovere end dette vil, hvis frigivet ved havoverfladen for nærværende vaddybder og baggrundsstrøm, falde til bunds inden for omkring 100 m fra spildpunktet.

Fordelingen af moræneler og postglacial sand i de 5 fraktioner (DHI/IOW Consortium, 2013) ses i Tabel 4.1. I fordelingen er der taget højde for, at noget af det fine sediment vil flokkulere, hvilket forklarer den lidt høje korndiameter og faldhastighed for det fine materiale.

Tabel 4.1: Fordeling af moræneler og postglacial sand samt tilhørende faldhastighed, og w_s (DHI/IOW Consortium, 2013).

Fraktion	1	2	3	4	5
D ₅₀ (mm)	0,007	0,01	0,028	0,065	0,147
Moræneler (%)	18,5	11,2	9,2	16,8	44,8
Postglacial sand (%)	9,4	4,0	21,7	14,8	50,0
Kalk (%)	35	10	10	25	20
Ws (mm/s)	0,03	0,07	0,56	2,92	15

I det følgende vurderes det, at de detaljerede forsøg fra Femern bælt er det bedste til rådighed værende data for faldhastighederne af det her forekommende sediment, og derfor er det besluttet at anvende fordelingen fra Femern Bælt forbindelsen, Tabel 4.1.

Typen af sediment, sand eller moræneler, der anvendes i spildberegningerne baseres på GEUS klassificering. Af kornkurverne i Figur 4.5 ses det, at mængden af sediment mindre end 0,147 mm er 40 % eller mindre for flertallet af kornkurver. Det antages derfor i spildberegningerne at fraktionerne angivet i Tabel 4.1 udgør 40 % af det samlede materiale.

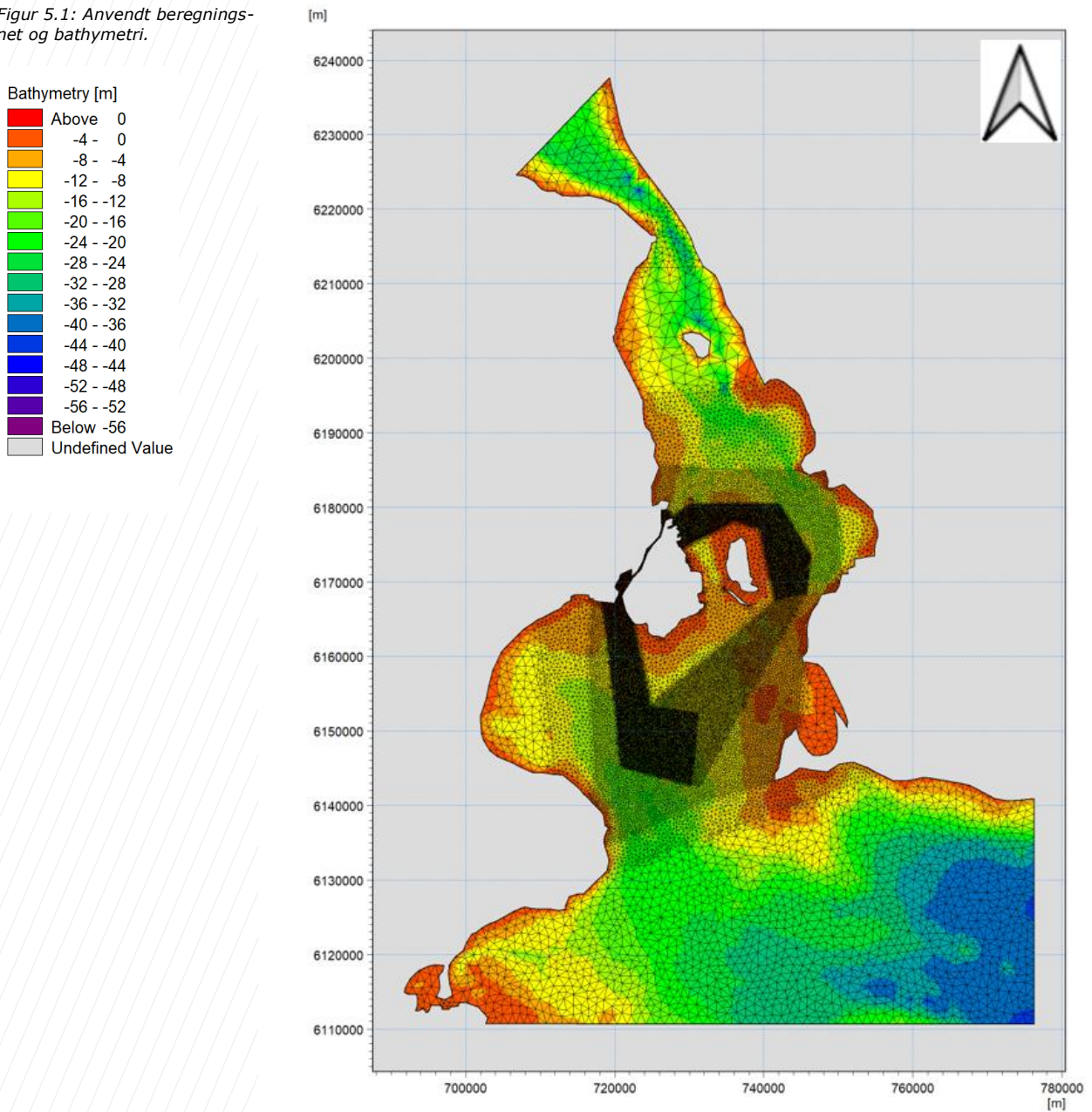
Ved Nordre Flint findes der ved flere af de positioner, hvor det ikke var muligt at optage sedimentprøver kalk i boreprøverne fra Geo. I forbindelse med anlæggelse af Øresundsbroen, blev sedimentet i Øresund undersøgt. Ifølge (Brøker, Johnsen, Lintrup, & Jensen, 1994), har kalken en middelfaldhastighed på 0,21 mm/s. Kornstørrelsesfordelingen kendes ikke. Det er derfor besluttet at tage udgangspunkt i samme kornstørrelsesfordeling som moræneleret i Tabel 4.1. Fordelingen forskydes dog, så dens middelfaldhastighed svarer til 0,21 mm/s, som vist i Tabel 4.1. Det antages, at 30 % af kalken er repræsenteret ved de 5 fraktioner i Tabel 4.1, resten har større diameter og faldhastighed, da kalken forventes at blive knust i større stumper ved gravning. Det skal bemærkes at kalk ikke er kohæsivt.

5 Modelopsætning

5.1 Bathymetri og beregningsnet

De numeriske beregninger laves på et beregningsnet repræsenterende vanddybden baseret på data fra C-map (digitaliserede søkort), målinger fra farvandsvæsenet og fra de surveys, som er lavet i forbindelse med projektet. Den anvendte bathymetri er vist i Figur 5.1.

Figur 5.1: Anvendt beregningsnet og bathymetri.



Beregningsnettet er lavet med trekanter med en opløsning, således at de vigtige områder rundt om vindmøllerne er opløst med sidelængde på $ds = 50$ m stigende op til $ds = 2000$ m væk fra vindmøllerne. Nettet er optimeret således, at de højeste opløsninger findes rundt om de to vindmølleparker, i korridorerne udenom samt i de baner hvor eventuelle sedimentfaner må forventes at ligge – dominerende strømkorridorer.

5.2 Modelopsætning hydrodynamik og bølger

5.2.1 Modeltyper

Til dette studie skal der modelleres både hydrodynamik og bølger. Der er to forundersøelsesområder omkring de to vindmølleparker, hvor vanddybden begge steder er relativt stor, hvorfor man med rimelighed kan regne bølger og vandstand som uafhængige størrelser. I det følgende beskrives derfor en tilgang, hvor bølger samt strøm og vandstand beregnes hver for sig.

Til beregning af strøm og vandstand benyttes modellen Mike21 HD FM fra DHI. Selvom der i perioder er lagdeling er det vurderet at strømmingen i modelområdet i lange perioder er ensrettet og at denne derfor med rimelighed kan modelleres i 2D. Mike21 er et state of the art værktøj til at beregne strøm og vandstand. Modellen er en dybdemidlet 2D model som medtager effekter af følgende:

- Tidevand
- Tryk
- Vind
- Afstrømning
- Bund ruhed
- Turbulens
- Strukturer

Vindmøllerne er medtaget som strukturer, hvilket vil sige, at de er medtaget som en ekstra ruhed svarende til det enkelte vindmøllefundaments strømmodstand. 2D modellen er valgt, da strømmingen på de steder, hvor vindmøllerne står, overvejende ikke er lagdelt, hvorved modellen er valid. En analyse af lagdelingen findes i metocean rapporten fra DHI for Aflandshage og Nordre Flint (DHI, 2020).

Til beregning af bølger er anvendt modellen Mike21 SW fra DHI. Mike21 SW er en 2D spektralbølgemodel, som medtager effekter af:

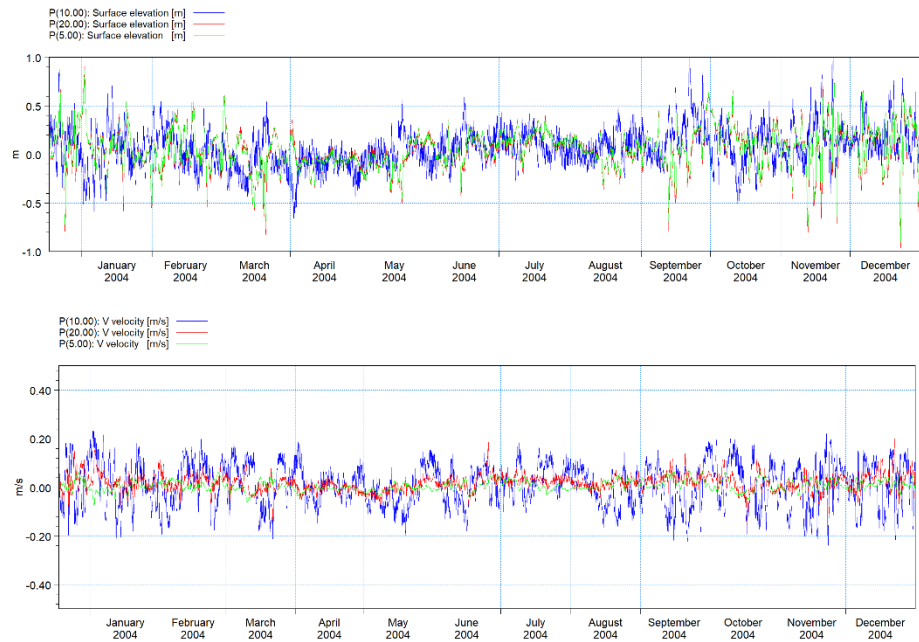
- Vandstand
- Vind
- Strøm
- Bundruhed
- Bølgebrydning
- White capping
- Refraktion
- Diffraktion
- Strukturer

I denne sammenhæng medtages vindmøllefundamentene som strukturer, som giver en dæmpning svarende til den refleksion, hvert enkelt vindmøllefundament giver. Beregningerne er lavet med en instationær fuldt spektral model.

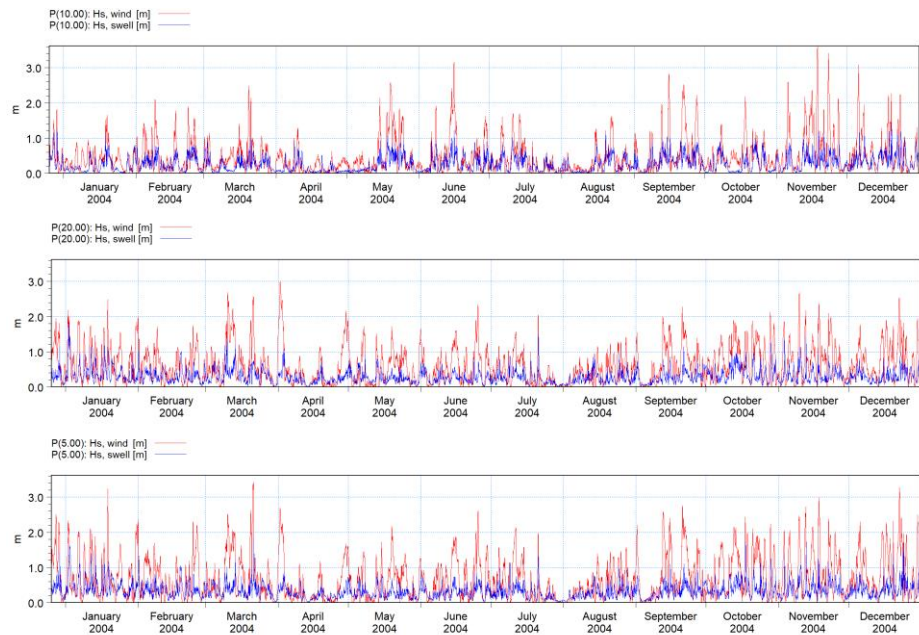
5.2.2 Randbetingelser

Randbetingelser for både bølger og strøm er taget fra DHI's regionale model af indre danske farvande. De anvendte data for henholdsvis bølger og vandstand er vist i Figur 5.2 og Figur 5.3. Data er til rådighed for 2004. Bølgerne er opdelt i vindbølger og dønninger (Swell).

Figur 5.2: Vandstand (øverst) og nord/syd gående strøm (nederst ved randene. Blå er nordlig rand og den røde og den grønne linie er de sydlige rande.



Figur 5.3: Bølger ved randene. Rød er vindrevne bølger og blå er dønninger. Nordrand (øverst), og de to sydgående rande (i midten og nederst)



5.2.3 Vind

Den anvendte vind er beskrevet i sektion 4.2.

5.2.4 Bundforskydningsspænding

Til bundforskydningsspænding er der i de hydrodynamiske beregninger anvendt et Manningtal på 45. I bølgeberegningerne er der anvendt en bundruhed på 0.04 m.

5.3 Modelopsætning spildmodellering

5.3.1 Model type

Spildmodellering er gennemført med DHI's model for fine sedimenter MIKE3 MT. I modsætning til resten af projektet om bølger og strøm er der opstillet en speciel MIKE3 model med 3 lag, hvoraf de to nederste lag dækker de nederste 10% af vandsøjlen, og det sidste lag de øverste 90% del af vandsøjlen. Årsagen til dette er, at spildet fra kablerne ligger i det nederste lag, hvorimod alle andre spild er jævnt fordelt over hele vandsøjlen. Derfor er det nødvendigt at dele vandsøjlen lidt op for at få denne effekten med. Opsætningsmæssigt er modellen sat op ligesom den overordnede 2D model.

5.3.2 Generelle opsætning

Modellen sættes op som en excess model. Dvs. at der alene regnes på det spildte materiale. Baggrundskoncentrationen og vekselvirkningen med denne medtages først i den biologiske vurdering. Der regnes derfor også kun med et lag sediment i bunden, da al sediment regnes som nyligt deponeret. Der regnes med 5 fraktioner, som alle defineres, som fint materiale. Dvs. at der ikke regnes med bundtransport.

5.3.3 Erosion

Der er tre input, som skal overvejes, når man skal lave settings for erosion. Den vigtigste er den kritiske forskydningsspænding for erosion (τ_{ce}). Overskrides denne forskydningsspænding, vil sedimentet eroderes. For nyligt sedimenteret sediment er denne sædvanligvis imellem 0,1 N/m² and 0,3 N/m². Baseret på erfaringer fra tidligere studier er der i dette studie valgt 0,2 N/m².

Derudover skal der vælges erosionsformulering. Der skal vælges imellem en "soft mud" formulering og en "hard mud" formulering. Navnene er egentligt misvisende, da den klassiske formulering inden for muddermodellering er "hard mud" og den anden formulering er egentligt udviklet til mere eller mindre flydende mudder, hvilket ikke er tilfældet her. Derfor anvendes "hard mud" i denne beregning.

$$S \left(\frac{kg}{m^2 \cdot s} \right) = E * \left(\frac{\tau_b}{\tau_{ce}} - 1 \right)^{\gamma} \text{ for } \tau_b > \tau_{ce}$$

Endeligt skal erosionskonstanten E og erosionspotensen γ vælges. Erosionshastigheden er sædvanligvis imellem 10⁻⁶ og 10⁻⁴ kg/m²/s. I dette studie er valgt 10⁻⁵ kg/m²/s. Erosionspotensen γ er sædvanligvis tæt på 1 og er derfor i denne beregning sat til 1.

5.3.4 Deposition

For deposition er den vigtigste parameter den kritiske forskydningsspænding for deposition (τ_{cd}). Det er den forskydningsspænding under hvilken, deposition kan foregå. Den er et mål for den turbulens, der skal til for at holde en bestemt type

sediment i suspension. I litteraturen er den sædvanligvis imellem $0,03 \text{ N/m}^2$ og 0.1 N/m^2 for kohæsivt sediments. For ikke-kohæsive sedimenter kan den beregnes ud fra forholdet mellem faldhastigheden (W_s) og turbulensen (U_f), som skal være over 0,8 - hvis en suspension skal opretholdes, (Fredsøe et al.). De anvendte kritiske forskydnings-spændinger for deposition er angivet i Tabel 5.1.

Tabel 5.1: Oversigt over anvendte kritiske forskydnings-spændinger for deposition

	$\tau_{cd} \text{ (N/m}^2\text{)}$	$D_{50} \text{ (mm)}$	$D_{50} \text{ (}\mu\text{m)}$	Beskrivelse
Fraktion 1	0.05	0.007	7	Kohæsivt
Fraktion 2	0.06	0.01	10	Kohæsivt
Fraktion 3	0.07	0.028	28	Kohæsivt
Fraktion 4	0.3	0.065	65	Silt
Fraktion 5	0.36	0.147	147	Sand

5.3.5 Faldhastigheder

Bestemmelse af faldhastigheder for kohæsivt materiale er generelt svært, da man ikke på forhånd kan sige hvilke flokstørrelser, man ender med i recipienten. Når det kommer til gravede sedimenter er det endnu værre, da det er usikkert, hvordan det afgravede materiale går i stykker, og hvordan det vil opføre sig i samspil med det naturlige sediment.

I forbindelse med Femern Bælt projektet lavede konsortiet en serie forsøg, som skulle vise, hvilke faldhastigheder sedimentet ville få, hvis det blev knust på samme måde, som man forventede i felten. I studiet fra Femerns Bælt ses mange af de samme jordartstyper som i nærværende forundersøgelingsområder, hvorfor resultaterne for Femern Bælt studiet adopteres her.

Da der tages højde for gravemetoden, og der tillades flokkulering i disse forsøg regnes der med en konstant faldhastighed i disse simuleringer. I virkeligheden vil flokstørrelsen til enhver tid være en balance imellem chancen for at to partikler rammer hinanden og klister sammen (de konstruktive kræfter) og chancen for, at turbulens driver flokkene fra hinanden (de destruktive kræfter). Da modellen ikke kan regne præcist på dette, medtages effekten via forsøgende fra Femern Bælt. Faldhastighederne er valideret imod lignende forsøg, (Fredsøe et al.). Se i øvrigt afsnit 4.5 for beskrivelse af sedimentet i nærværende projekt.

Tabel 5.2: Anvendte faldhastigheder baseret på målinger, ref.

	$W_s \text{ (mm/s)}$
Fraktion 1	0,03
Fraktion 2	0,07
Fraktion 3	0,56
Fraktion 4	2,92
Fraktion 5	15

5.3.6 Dispersion

Dispersionen styrer spredningen af sedimentet og tager i modellen højde for de bevægelser, som sker på størrelsesordenener mindre end net-størrelsen. I dette studie er dispersionskoefficienterne sat til 1 horisontalt og 0.01 vertikalt og er indstillet efter gamle fotos af faner fra gravearbejder i Øresund.

5.3.7 Sedimentspild under anlægsarbejde

Under anlæg af vindmøllefundamenterne og kablerne, vil der ske spild af sediment. Spildet vil være forskelligt afhængigt af, hvordan det endelige projekt kommer til at se ud og hvilken anlægsmetode der vælges.

Dette gør sig særlig gældende for gravitationsfundamenterne, hvor en base for fundamenterne samt erosionsbeskyttelse skal udgraves. Det opgravede sediment ved fundamenterne skal efterfølgende klappes, hvor der også sker sedimentspil. Derudover vil der ske spild ved havbunden, når kablerne lægges ned i havbunden. Det største spild omkring kablerne vil ske, hvis disse spules ned i havbunden. Dette scenarie betragtes derfor da dette er worst case og derfor "rummer alle andre løsninger".

Sedimentspildet vil derved ske ved tre processer, som alle inkluderes i beregning af sedimentspildet:

1. Udgravning ved fundamenter
2. Spuling af kabler, både eksportkabler samt inter array kabler
3. Klapping af opgravet sediment

I det følgende betragtes kun spild ved anlæg af de små gravitationsfundamenter og tilhørende kabler.

5.3.8 Spildmængder

For hvert gravitationsfundament udgraves et hul med en dybde på 2 m og en diameter på 33 m. Det opgravede sediment sejles efterfølgende væk og klappes på en klapplads.

Kablerne, der forbinder vindmøllerne spules ned i havbunden i en 1 m dyb rende, der er 0,3 m bred.

Seks eksportkabler forbinder den offshore transformerstation med land. Disse kabler spules 1.5 m ned i havbunden i en rende der er 0.5 m bred.

Hastigheden på spulearbejdet vurderes at være 150 m/time.

I Tabel 5.3 og Tabel 5.4 er grave og spulemængden angivet sammen med spildmængden for Aflandshage og Nordre Flint. Bemærk at det kun er 40 % af spildmængden som betragtes i spildberegningerne. De sidste 60 % af sedimentere vil bundfælde, hvor der udgraves til fundamenterne eller hvor kablerne nedspules - enten direkte i renden eller tæt på denne.

Table 5.3: Graverate og spule mængde ved Aflandshage. Graveraten er for en sedimentdensitet på 1800 kg/m³.

	Små fundamenter	Klapning	Ilandføringskabler	Inter array kabler
Gravevolumen	1.711 m ³ /fundament	3x570,3 m ³ /fundament	0,75 m ³ /m	0,3 m ³ /m
Hastighed	48 timer/fundament	10 min/klapning	150 m/time	150 m/time
Graverate	17,8 kg/s	1711 kg/s	56,3 kg/s	22,5 kg/s
Sediment der spildes	5 %	8 %	100 %	100 %
Enheder	46	3x46	6x17,6 km	54,5 km
Samlet grave-mængde	141.637 ton	141.637 ton	142.560 ton	29.430 ton
Samlet spild-mængde der spredes i beregninger	2.832 ton	4.532 ton	57.024 ton	11.772 ton

Table 5.4: Graverate og spule mængde ved Nordre Flint. Graveraten er for en sedimentdensitet på 1800 kg/m³.

	Små fundamenter	Klapning	Ilandføringskabler	Inter array kabler
Gravevolumen	1.711 m ³ /fundament	3x570,3 m ³ /fundament	0,75 m ³ /m	0,3 m ³ /m
Hastighed	48 timer/fundament	10 min/klapning	150 m/time	150 m/time
Graverate	17,8 kg/s	1711 kg/s	56,3 kg/s	22,5 kg/s
Sediment der spildes	5 %	8 %	100 %	100 %
Enheder	30	3x30	6x14,7 km	18,2 km
Samlet grave-mængde	92.372 ton	92.372 ton	119.070 ton	9.828 ton
Samlet spild-mængde der spredes i beregninger	1.847 ton	2.956 ton	47.628 ton	3.931 ton

Spildprocenten under udgravning antages at være 5% for gravning af fundamenter, jf. (CIRIA C547, 2001) samt (DHI/IOW Consortium, 2013). Det forventes, at der benyttes gravemaskine med grab og at materialet spildes jævnt fordelt over vandsøjlen.

Ved deponeringen forventes, at en stor del af det klappede materiale at være marint sand og klumper af brudt moræneler, som allerede har været opgravet en gang og derfor må forventes at have tabt det mest løse af det fine sediment. Man kan derfor ikke forvente et lige så stort spild under klappning. Under klappning antages det i overensstemmelse med det amerikanske spildværktøj Stfate (Short-term Fate of dredged material disposal in open water models)

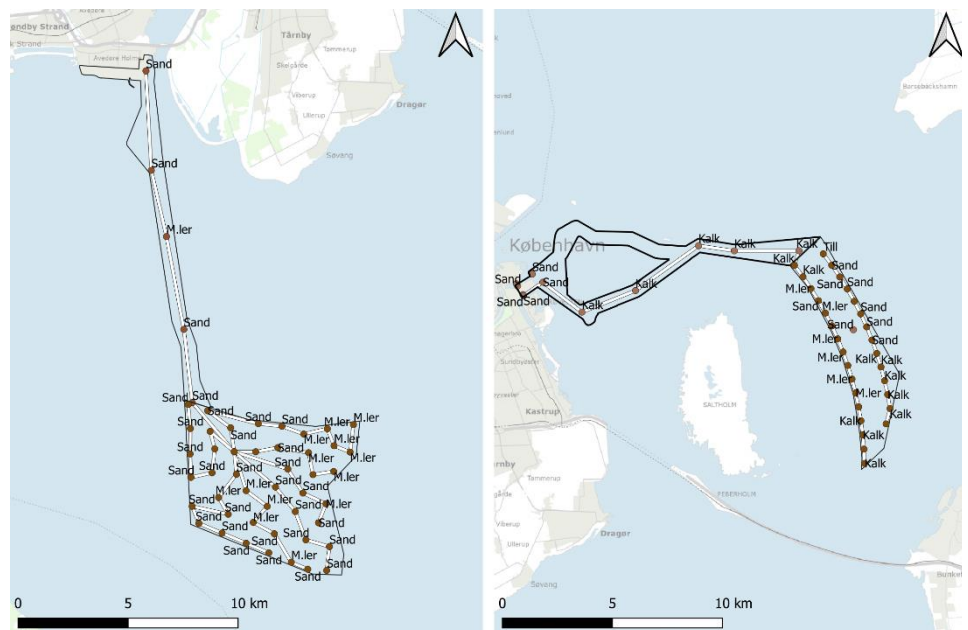
(<https://dots.el.ercd.dren.mil/>) at 8% af det klappede materiale spildes i vandsøjlen. Der korrigeres ikke for den mængde som er spildt i forbindelse med opgravning hvilket gør beregningerne svagt konservative.

Ved nedspuling af kablerne spildes al sedimentet. I modellen spildes sedimentet i den første meter over havbunden.

Kun kornstørrelser lig med eller mindre end 0,147 mm betragtes i beregningerne. Som angivet i afsnit 4.5 vil større kornstørrelser falde til bunds inden for få meter fra spildpunktet. Disse vil derfor ikke bidrage til spredning af sediment på større skala. I beregningerne betragtes de fem fraktioner præsenteret i afsnit 4.5 enkeltvis. Spilmængden af hver fraktion afhænger derfor af kornstørrelsesfordelingen i området, hvor der graves / spules.

For at kunne bestemme sedimentfordelingen ved hver enkelt vindmølleudgravning og langs kabelkorridoren associeres hvert enkelt vindmøllefundament og punkter langs kabelkorridoren med den jordartstype, som området er klassificeret som. Dette er vist i Figur 5.4. Angående inter array-kablerne der forbinder vindmøllerne parvis anvendes samme jordartstype som de to vindmøllefundamenter er associeret med.

Figur 5.4: Inndeling af sediment i områder ud fra sedimentprøver og sedimentmålinger foretaget af GEUS og sedimentprøver foretaget af GEO. Aflandshage (venstre) og Nordre Flint (højre)



5.3.9 Graveplan

For at kunne regne på sedimentspildet er det nødvendigt at antage en sandsynlig graveplan. Det er ikke sikkert, at den endelige graveplan bliver sådan, men den valgte graveplan er valgt således, at den dækker de forventede graveaktiviteter.

Graveperioden afhænger af hvilket materiale der anvendes. I nærværende beregninger er der ud fra tidligere tilsvarende opgaver antaget en graveperiode på 48 timer ved hvert fundament og en pause på 12 timer mellem hver udgravning til flytning og remobilisering.

Det forventes, at operationen vil blive udført med en backhoe og en eller to barge. Der forventes en glidende overgang således, at graveoperationen kører uafbrudt, imens der graves. Gravemængden fra hvert fundament klappes af tre omgange med 20 timer imellem hver klappning. Det antages at selve klappningen strækker sig over 10 min.

Kablerne nedlægges kontinuerligt uden pause. Hastigheden ved spuling er 150 m/time.

Udgravning til fundamenter påbegyndes den 1. Maj kl. 00:00.

Det antages at nedspuling af kabler begynder den 2. juli kl. 00:00.

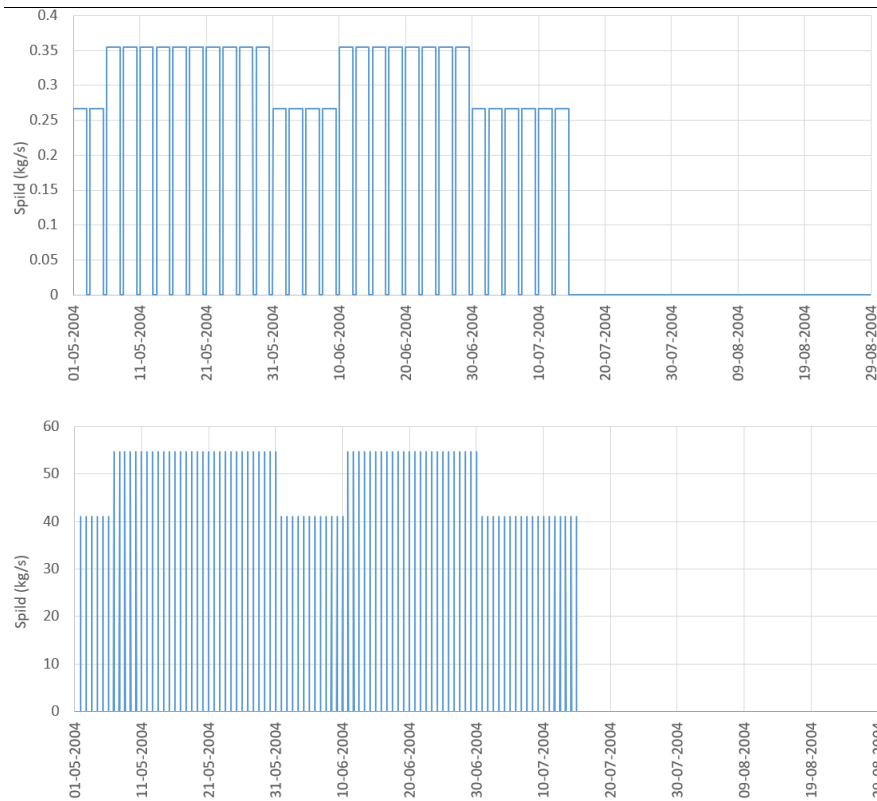
I Figur 5.5 og Figur 5.6 er vist de tidsmæssige variationer i sedimentspildet på henholdsvis Nordre Flint og Aflandshage.

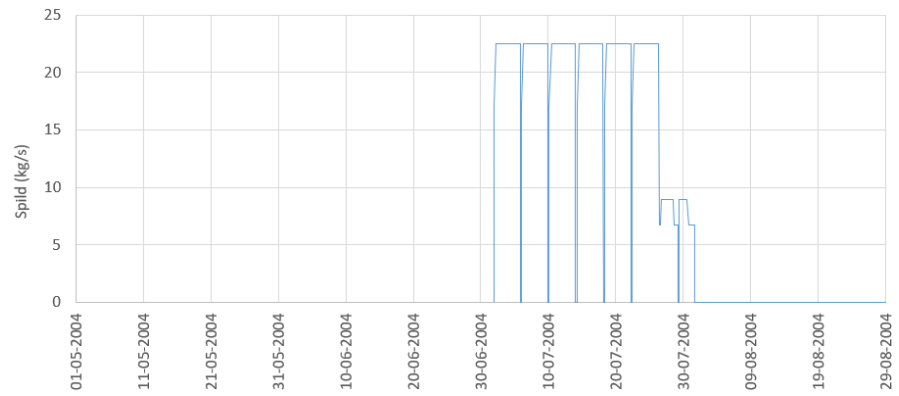
Figur 5.5: Tidsmæssig fordeling af sedimentspil ved Nordre Flint.

Øverst: Vindmøller

Midten: Klapplads

Nederst: Kabler



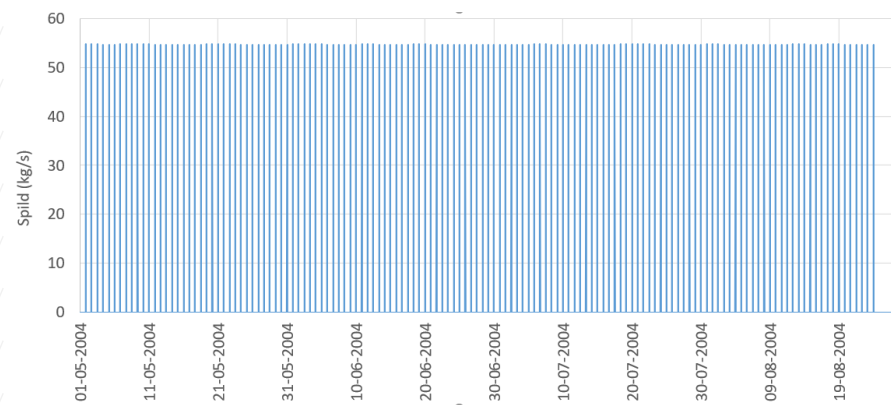
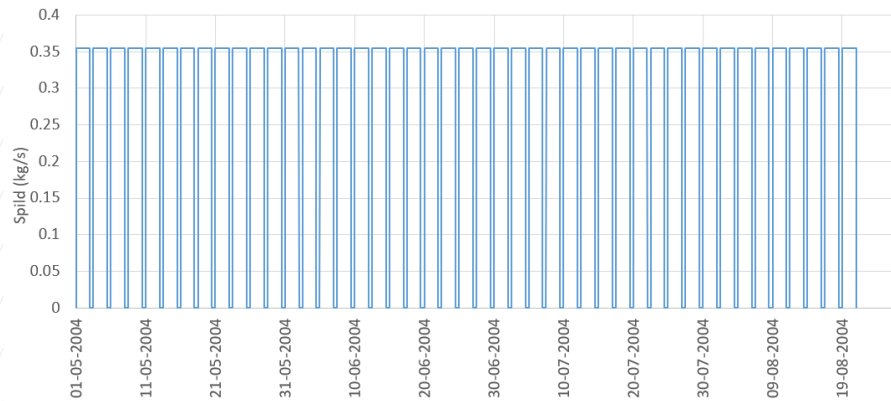


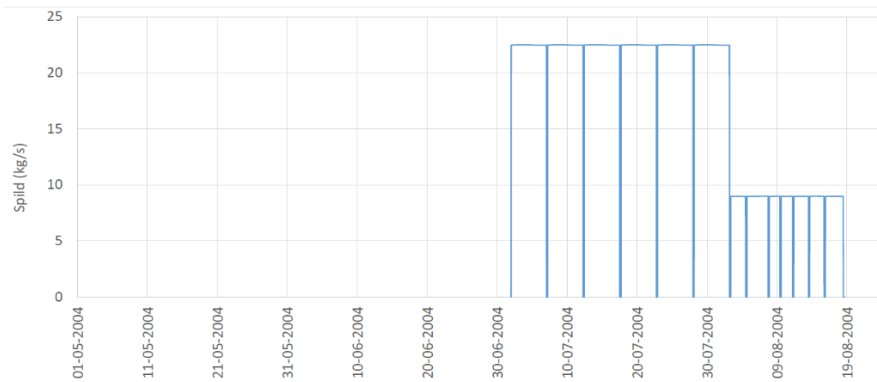
Figur 5.6: Tidsmæssig fordeling af spild sediment ved Af-landshage.

Øverst: Vindmøller

Midten: Klappads

Nederst: Kabler





Som det ses, forekommer de største spildrater ved klapplassen, da spildet sker over en kort periode på 10 min pr klappning, se Figur 5.5 og Figur 5.6 midten. . Det skal dog bemærkes at en stor del af dette spild er grovere fraktioner, som ikke forlader klapplassen.

Der er ikke regnet med kumulerede effekter, da de to vindmølleparker forventes anlagt successivt med minimalt overlap jf. anlægsplanen.

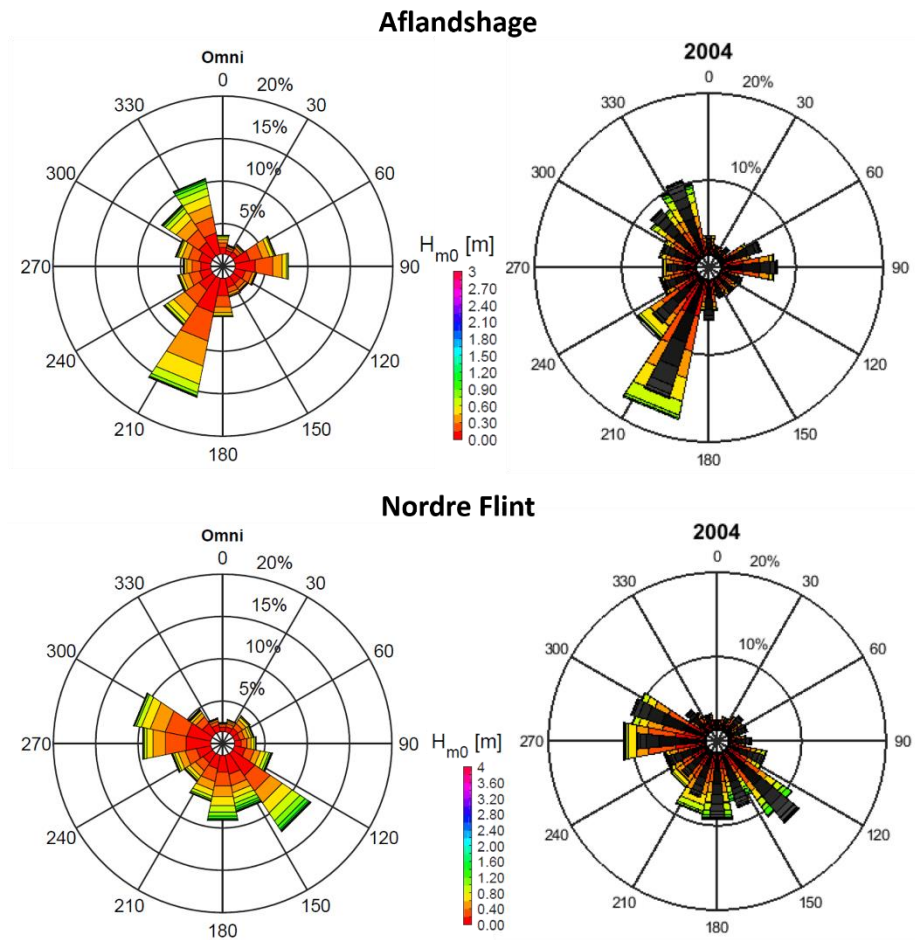
Graveplanerne for anlæg af fundamenter er angivet i de tekniske projektbeskrivelser (NIRAS, 2021; NIRAS, 2020) sammen med graveplanen for nedlægning af kabler.

6 Valg af beregningsperiode

Beregningsperioden for hydrodynamik og bølger dækker et kalenderår og er valgt til at være år 2004, da dette år repræsenterer et gennemsnitsår godt. Valget af beregningsperioden er baseret på 24 års modellerede data (1995-2018) af strøm, vandstand, bølge og vindforhold udleveret af DHI. Beregningsperioden skal så vidt mulig repræsenterer et gennemsnitsår, særlig fokus har dog været på strømretning og strømhastighed.

I Figur 6.1 og Figur 6.2 ses bølgerosen ved Aflandshage og Nordre Flint dækkende alle 24 år. Til højre i figuren er bølgerosen for 2004 vist, mens gennemsnittet over de 24 år er vist til venstre. Oven på bølgerosen for år 2004 er gennemsnits bølgerosen for de 24 år vist med en mørkere farve. Som det fremgår, er bølgeklimatet i år 2004 meget tæt på gennemsnittet for 1995 til 2018. Ved Aflandshage kommer der dog lidt flere bølger fra syd og vestlig retning, mens antallet af bølger fra syd-øst er lidt mindre. Den samme tendens ses ved Nordre Flint.

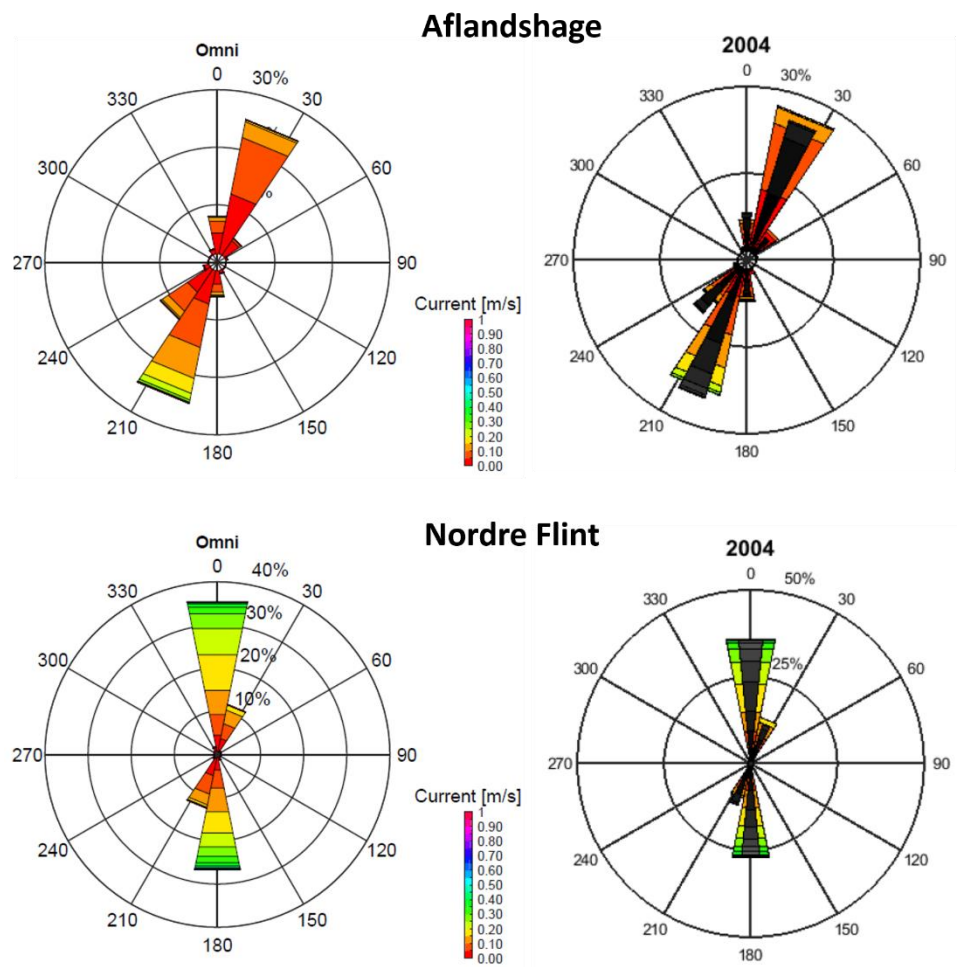
Figur 6.1: Bølgerose ved Aflandshage og Nordre Flint. Venstre: Bølgerose for 25 års modellede data (1995-2018). Højre: Bølgerose for modellede data i 2004. Bølgerosen for alle 25 år er skraveret med mørke farver oven i bølgerosen fra 2004.



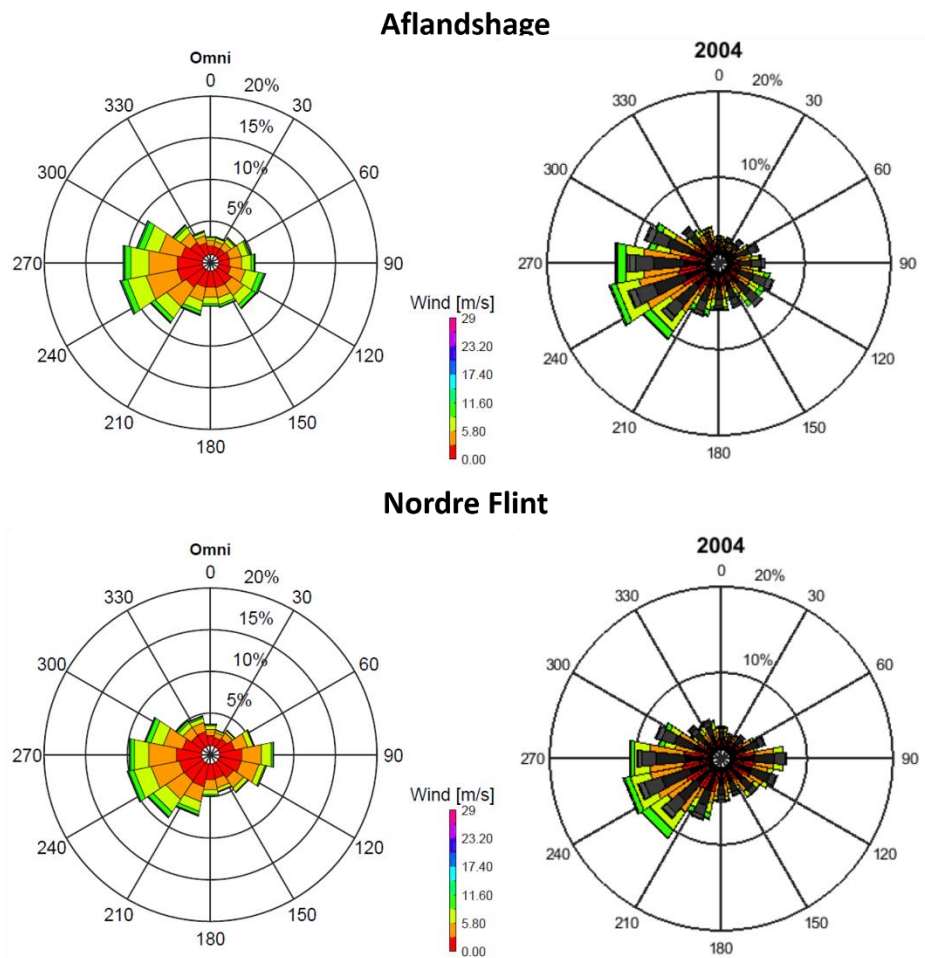
Tilsvarende plots ses i Figur 6.2 for strømhastighed og strømrretning og i Figur 6.3 for vindhastighed og vindretning. Det ses, at år 2004 også repræsenterer strømmen og vinden for alle år godt ved de to lokaliteter.

I Appendix 2 og 3 er tilsvarende plots vist for de andre år mellem 1995-2018.

Figur 6.2: Strømrose ved Af-landshage og Nordre Flint. Venstre: Strømrose for 25 års modellede data (1995-2019). Højre: Strømrose for modellede data i 2004. Strømrosen for alle 25 år er skraveret med mørke farver oven i Strømrosen fra 2004.



Figur 6.3: Vindrose ved Aflandshage og Nordre Flint. Venstre: Strømrose for 25 års modellerede data (1995-2019). Højre: Vindrose for modellerede data i 2004. Vindrosen for alle 25 år er skraveret med mørke farver oven i vindrosen fra 2004.



For sedimentspild regnes for perioden fra den 1. maj 2004, da dette er den værste periode for flora og fauna.

7 Lysdæmpning

Dæmpning af lyset gennem vandsøjlen har stor betydning for hvilket liv der kan være i havet, idet plantelivet på bunden af havet afhænger af den mængde lys, der trænger ned igennem vandsøjlen. Vandplanterne bruger lyset til fotosyntesen, som også har betydning for iltindholdet i vandet. Vandplanterne gror i forskellige dybder alt afhængigt af den naturlige mængde lys på bunden. De er stationære, og derfor kan reducerede lysforhold have store konsekvenser for udbredelsen af visse plantearter (f.eks. ålegræs). Det er derfor vigtigt at undersøge, hvad lysreduktionen bliver som følge af spredning af sediment i forbindelse med udgravning i Kolding Havn og klappning af materialet.

Når lys bevæger sig igennem et medie, vil lysintensiteten aftage eksponentielt med den strækning lyset har bevæget sig. I vand vil lysintensiteten til en dybde z , være givet ved I_z ,

$$I_z = I_{z=0} e^{-z K_d},$$

hvor $I_{z=0}$ er lysintensiteten fra solen ved vandoverfladen og K_d er dæmpningskoefficienten i vandet.

I forbindelse med VVM for Femern Bælt forbindelsen, blev der udført forsøg med lysdæmpning (DHI/IOW Consortium, 2013). Forsøgene viste, at dæmpningskoefficienten kan beskrives ud fra tværsnitsarealet, A , af partikler i vandsøjlen uafhængigt af sedimentets kornstørrelsesfordeling

$$K_d = 7,45 \cdot 10^{-4} A + K_{d0},$$

hvor K_{d0} er dæmpningskoefficienten for baggrundskoncentrationen. Uden tilføjelse af sediment i vandet er dæmpningskoefficienten i følge Femern Bælt analyserne $K_{d0}=0,0756$.

Denne formel anvendes derfor til at bestemme dæmpningskoefficienten i hvert lag i beregningsmodellen.

$$D = \frac{I_0 e^{h K_d}}{I_0 e^{-0 K_d}} = \frac{I_0 e^{h K_d}}{I_0} = e^{h K_d},$$

hvor h er vanddybden.

Lysreduktionen beregnes efter følgende formel:

$$I = I_0 e^{-z K_d},$$

hvor indeks z angiver vanddybden.

8 Effekter på bølger og strøm

8.1 Eksisterende forhold

Under stille vejrforhold bestemmes strømforholdene i Øresund af trykforskellen mellem Østersøen og Nordsøen, vind, tidevandet og overskudstilførslen af ferskvand til Østersøen fra floder. I stille perioder er der derfor ofte rolige strømforhold, men dog med overvejende nordgående strøm. I perioder med urolige vejrforhold har de regionale vind og lufttrykforhold omkring Østersøen og Kattegat stor indvirkning på vandudvekslingen gennem Øresund. Vinden bevirker, at der støver vand op i enten Østersøen eller Kattegat afhængigt af vindretningen. Kraftige vinde mellem vest og nordøst giver således anledning til højvande i den sydlige del af Kattegat og i Øresund, mens kraftige vinde fra sydøst giver anledning til lavvande i Øresund. Forskellen i vandstanden i Øresund og syd for Drogdæntærskelen bestemmer strømretningen i Øresund. Kraftige vinde mellem sydvest og nord-nordvest giver således anledning til sydgående strøm i Øresund, mens kraftige vinde mellem nordøst og syd giver anledning til nordgående strøm i Øresund. Herudover har den lokale vindpåvirkning også betydning for den lokale overfladestrøm i delområder af Øresund. Der er hyppigt lagdeling af vandet i Øresund, fordi vandet i Kattegat har et saltindhold næsten som i de store oceaner, mens vandet i Østersøen er brakvand grundet den store tilførsel af ferskvand fra floder, der har deres udløb i Østersøen. Lagdelingen bevirker, at der ofte er en fersk nordgående overfladestrøm og en saltholdig sydgående bundstrøm i de dybe dele. Nettostrømmen

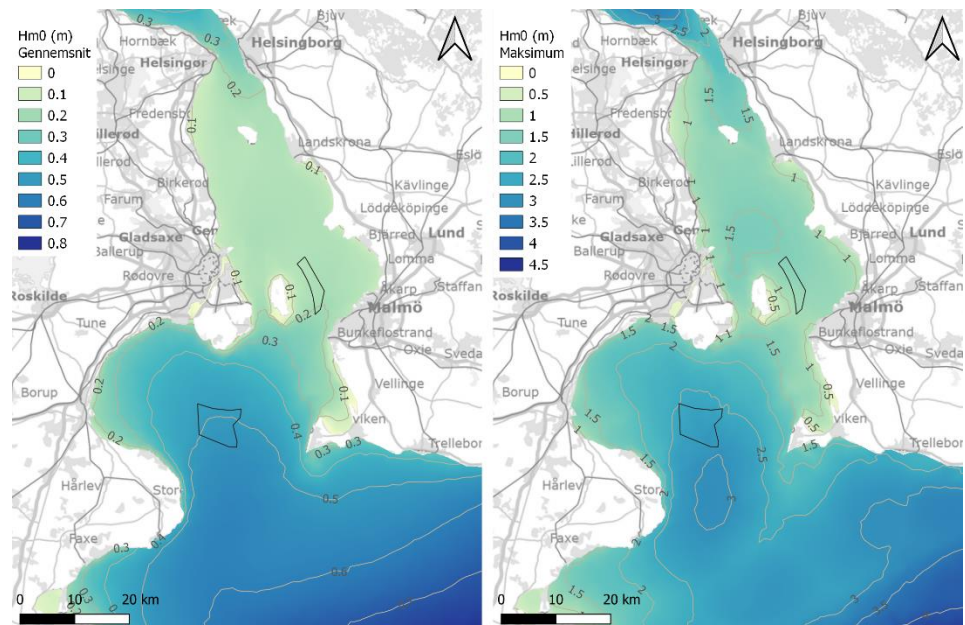
er dog nordgående på grund af vandtilførslen fra floder, der munder ud i Østersøen. Øresund, Storebælt og Lillebælt er eneste udløb.

Bølgemæssigt er det Nordlige Øresund i praksis et lukket område, hvorfor bølgerne er styret af de fremherskende vindretninger. I det sydlige Øresund, syd for Øresundsbroen, kan der i teorien komme bølger ind fra sydøst. Men i praksis er hovedparten af bølgerne vindgenererede.

8.2 Bølger eksisterende forhold

For de eksisterende forhold er de gennemsnitlige og maksimale bølger i år 2004 vist i Figur 8.1. Som det ses, er de maksimale signifikante bølgehøjder i 2004 ved Aflandshage lige over 2 m og ved Nordre Flint lige over 1 m.

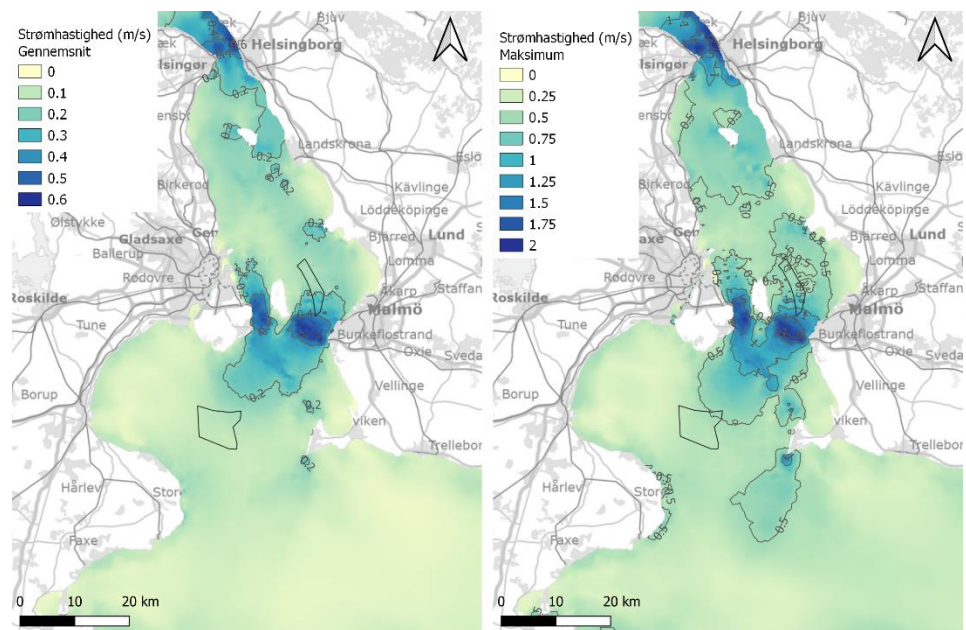
Figur 8.1: Bølgehøjde, H_{m0} . Til venstre: Gennemsnit over hele 2014. Til højre: Den maksimale bølge, der forekommer, i året 2014



8.3 Strøm eksisterende forhold

For de eksisterende forhold er gennemsnit og maksimal strømmen for år 2004 givet i Figur 8.2. Som det ses, er de maksimale strømhastigheder (imod nord) ved Aflandshage og Nordre Flint begge steder omkring 0,5 m/s. De største strømhastigheder ses ikke overraskende ved Drogden.

Figur 8.2: Strømhastighed. Til højre: Gennemsnit over hele 2014. Til højre: Den maksimale hastighed, der forekommer, i året 2014.



8.4 Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen

Der forekommer i anlægsfasen mobile enheder (skibe, pramme etc.) i mindre antal, som ikke udgør nogen påvirkning af hverken bølger eller strøm. Anlægsfasen er desuden relativt kort, hvorfor anlægget af vindmølleparken ikke vurderes at have betydende indvirkning på hverken strøm- eller bølgeforhold. Efterhånden som mølleparkens faststrukturer etableres vil påvirkningen dog gradvis bygges op og nå sit maksimum ved fuld etablering. Dette er beskrevet i afsnit 8.5.

8.5 Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen

8.5.1 Metode

Strøm og bølger er givet af trykforskelle, vind og tidevand. Ved at anlægge en vindmøllepark øges den hydrauliske modstand, hvilket potentielt kan ændre på både vandskifte-, strøm- og bølgeforhold.

Påvirkningen på strøm og bølger kommer dels fra en direkte blokering givet af vindmøllefundamenterne samt fra en nedstrøms reduktion i den lokale vind som følge af den energi vindmøllerne tager ud af vinden.

Påvirkningen fra fundamenterne er både i den hydrodynamiske model og i bølgemodellen lagt ind som punktstrukturer svarende til placeringen af fundamenterne med information vedrørende dimensionen og udformningen af fundamentet. I modellen kommer dette til udtryk ved en øget hydraulisk modstand/reflektion i de beregningsceller, hvor vindmøllefundamenterne er placeret.

Til reduktion af den nedstrøms vind er der anvendt en metode beskrevet i (Christensen, Kristensen, & Deigaard, 2014), hvor vinden reduceres i forhold til

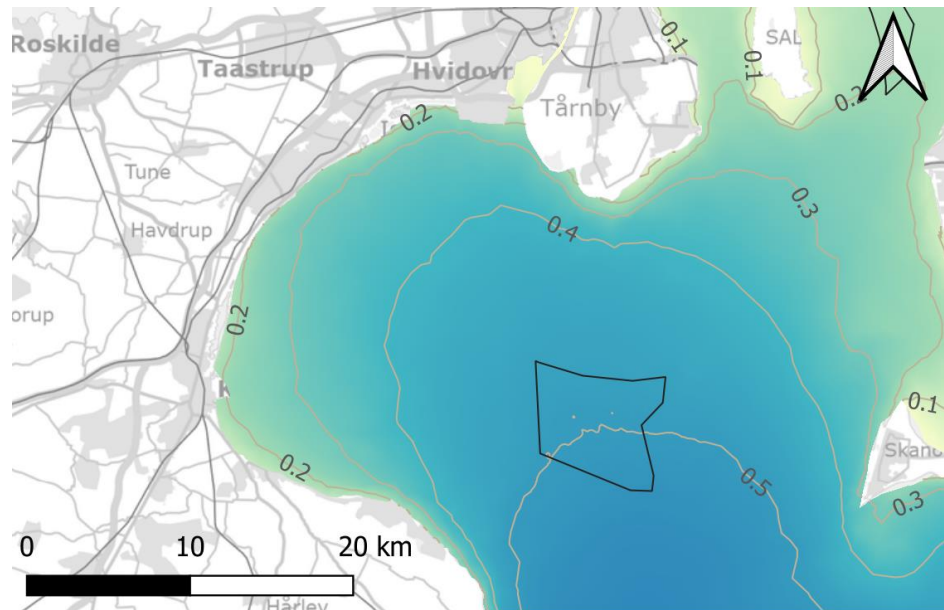
den bredde og længde, som parken har for den pågældende vindretning som funktion af afstanden til parken. Reduktionsfaktoren er fundet for vinkler af 30° , som efterfølgende er påtrykt det påsatte vindfelt.

8.5.2 Bølge- og strøm påvirkning ved Aflandshage

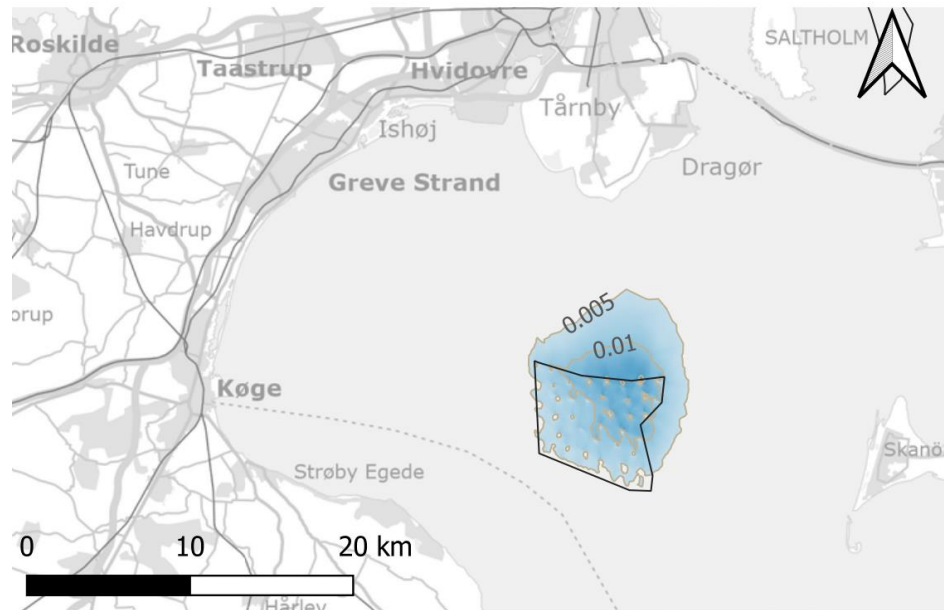
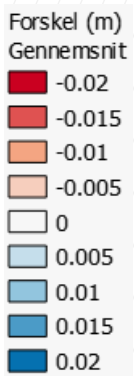
Køge Bugt er afgrænset af land mod vest og øst og til dels også mod nord. De største bølger kommer derfor fra syd, hvor vinden over en længere strækning kan opbygge bølger af en betydende størrelse, hvilket giver større bølger i den sydlige del af parken. I middel ca. 0,5 m i bølgehøjde, H_{m0} , i den sydlige del faldende til 0,45 m i bølgehøjde i den nordlige, Figur 8.3.

Under middelforhold vil bølgerne indenfor vindmølleparken kunne reduceres med op til 2% faldende til under 1% i en afstand af ca. 5 km fra vindmølleparken, Figur 8.3. For de større bølger er reduktionen i vindmølleparken på op til ca. 5% faldende til ca. 3% ved det sydlige Amager, Figur 8.4, svarende til hhv. 12 cm og 4 cm for den betragtede situation.

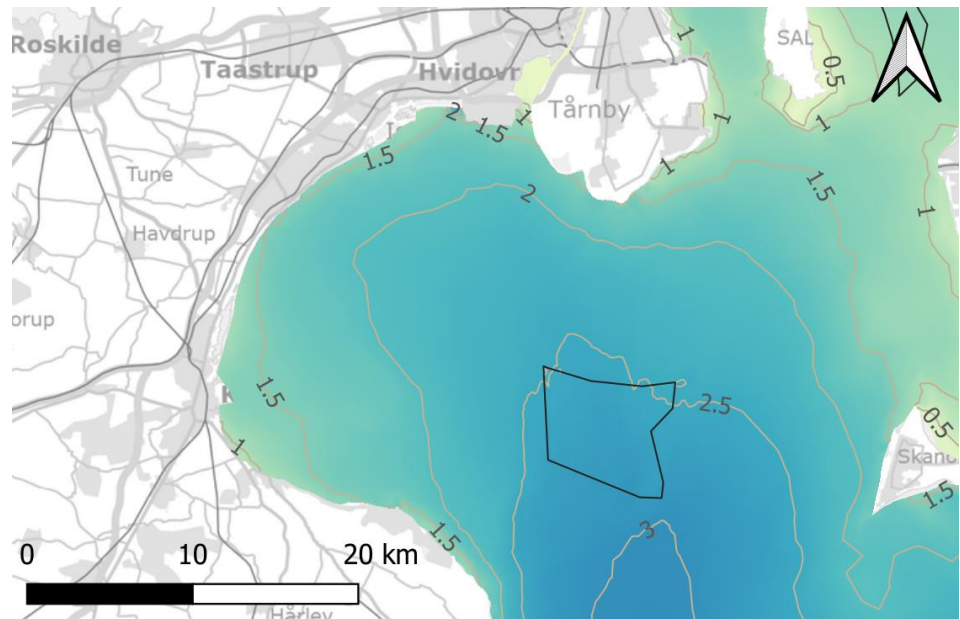
Figur 8.3: Øverst: Gennemsnitlige bølgehøjde, H_{m0} , ved Af-landshage over året 2014 i driftsfasen.



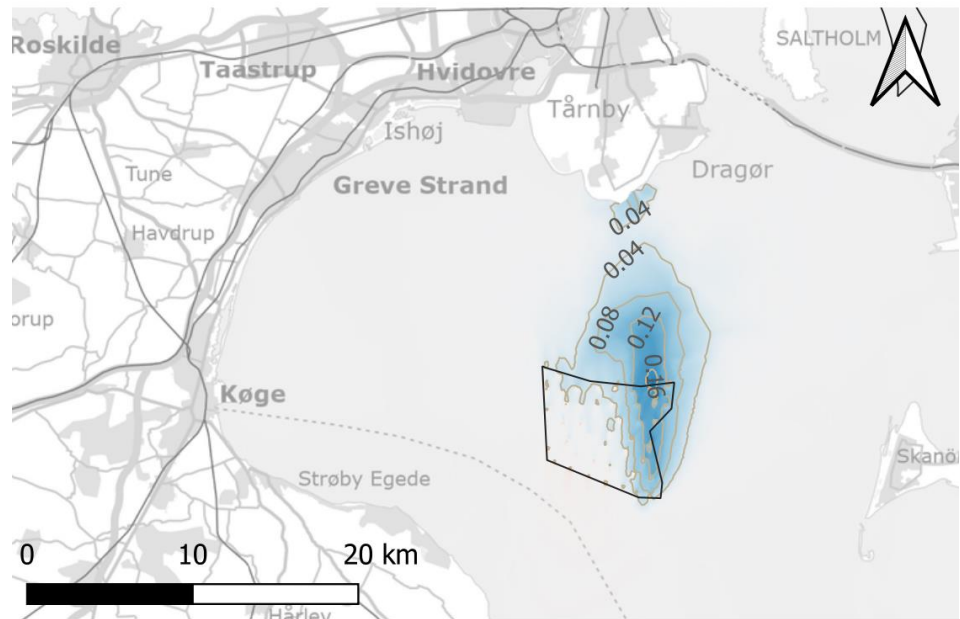
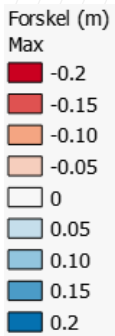
Nederst: Forskel mellem eksisterende forhold og driftsfasen. Ved positive værdier er bølgehøjden størst ved eksisterende forhold. Forskelle mindre end 0.5 cm vises ikke.



Figur 8.4: Øverst: Maksimal bølgehøjde, H_{m0} , ved Aflands- hage i løbet af året 2014.



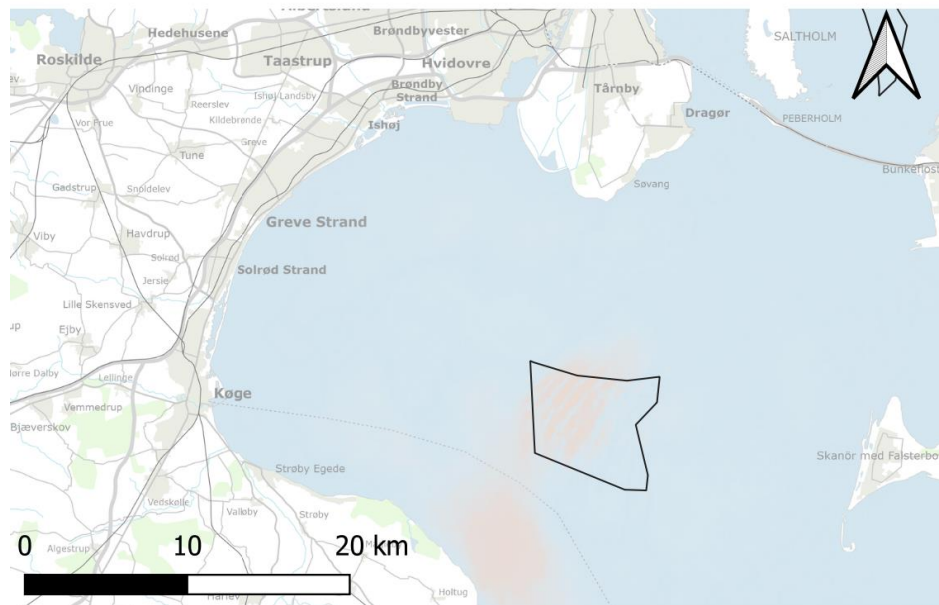
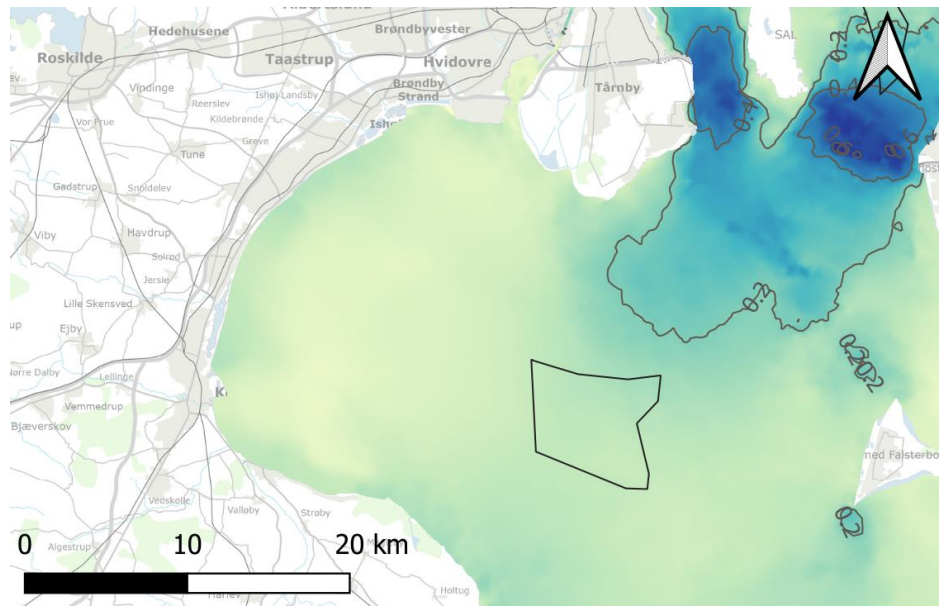
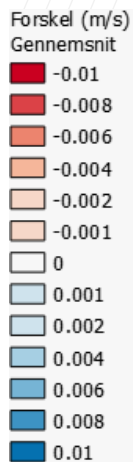
Nederst: Forskel mellem eksisterende forhold og driftsfasen. Ved positive værdier er bølgehøjden størst ved eksisterende forhold. Forskelle mindre end 1 cm vises ikke.



Figur 8.5: Øverst: Gennemsnitlige strømshastighed, U , ved Af-landshage over året 2004 i driftsfasen.



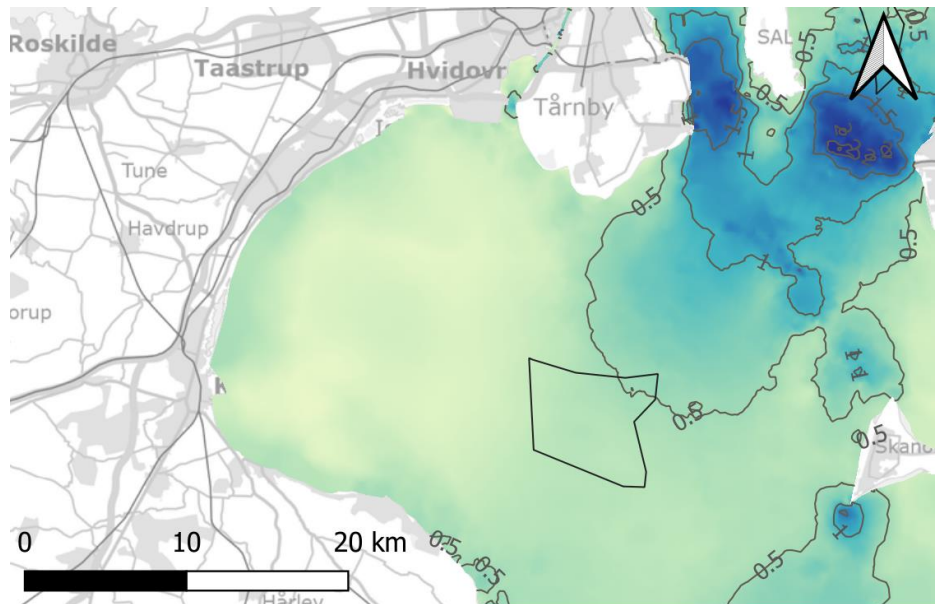
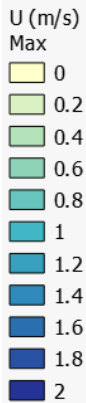
Nederst: Forskel mellem eksisterende forhold og driftsfasen. Ved positive værdier er strømshastigheden størst ved eksisterende forhold. Forskelle i gennemsnitsværdier mellem $-0,001$ og $0,001$ m/s vises ikke.



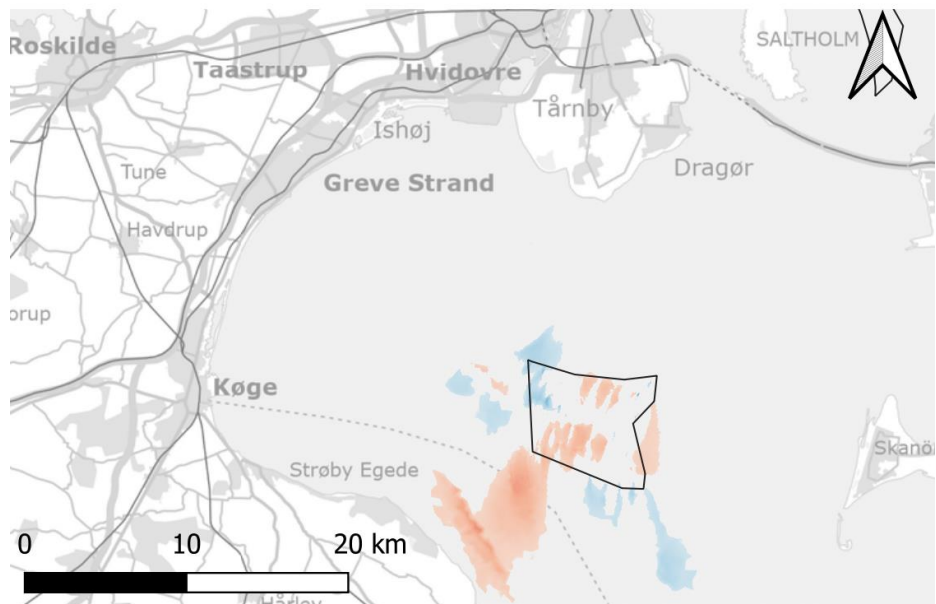
Til forskel for bølgerne er strømmen ikke så meget styret af den lokale vind, men mere af ind- og udstrømningen gennem Øresund resulterende i højere middelhastigheder i den nordlige del af parken, Figur 8.5 og Figur 8.6, som forekommende i forbindelse med sydgående strøm, (DHI, 2020).

Vindmølleparkens lævirkning er da også størst sydøst for vindmølleparken med en reduktion i gennemsnitshastigheden på et par millimeter i sekundet stigende til omkring 1 cm/s under mere ekstreme forhold. Desuden er der ligeledes under ekstreme forhold en mindre stigning i strømmen internt i parken samt sydvest for -igen i en størrelsesorden på omkring 1 cm/s.

Figur 8.6: Øverst: Maksimal strømhastighed, U , ved Af-landshage i løbet af året 2004 i driftsfasen.



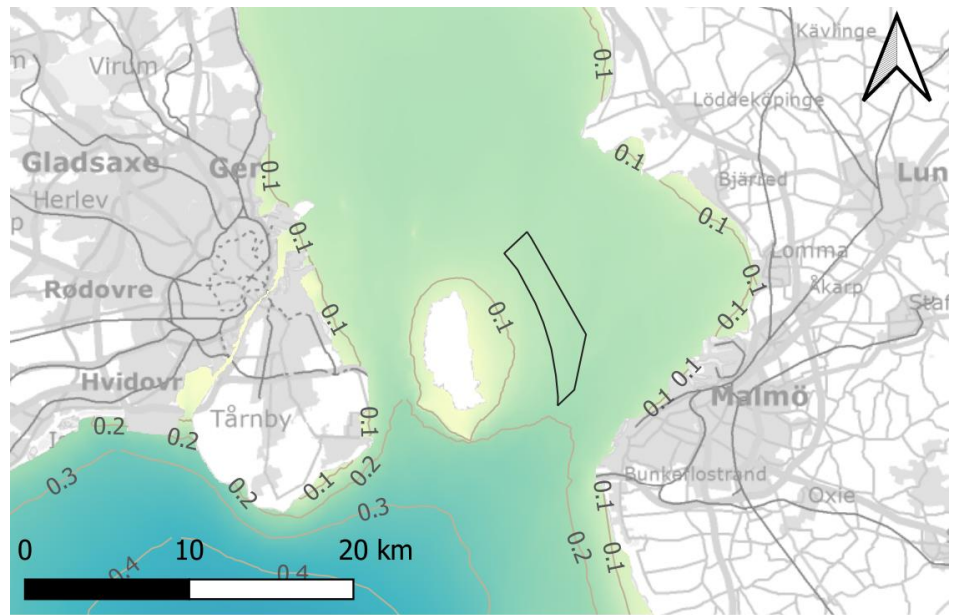
Nederst: Forskel mellem eksisterende forhold og driftsfasen. Ved positive værdier er strømhastigheden størst ved eksisterende forhold. Forskelle i gennemsnitsværdier mellem $-0,004$ og $0,004$ m/s vises ikke.



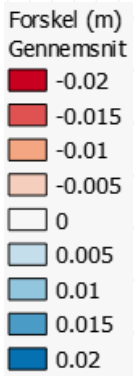
8.5.3 Bølge- og strøm påvirkning ved Nordre Flint

Placeringen af Nordre Flint gør, at den er beskyttet mod bølger fra både Østersøen og Kattegat. I gennemsnit er bølgehøjden mindre end $0,1 mH_{m0}$ og bliver sjældent over $1 mH_{m0}$, Figur 8.7. Lævirkningen er under normale forhold i størrelsesorden 5% indenfor vindmølleområdet samt op til ca. 1 km nordøst for. Under mere ekstreme forhold er reduktionen i vindmølleområdet stadig ca. 5%, hvilket også gør sig gældende for et område ca. 2 km til 5 km øst sydøst, i retning mod Malmø, samt for et område på vestsiden af park over imod Saltholm, Figur 8.8. Da området som tidligere nævnt er beskyttet og bølgehøjderne i området er relativt små medfører mølleparken ændringer i den absolutte bølgehøjde på få mm.

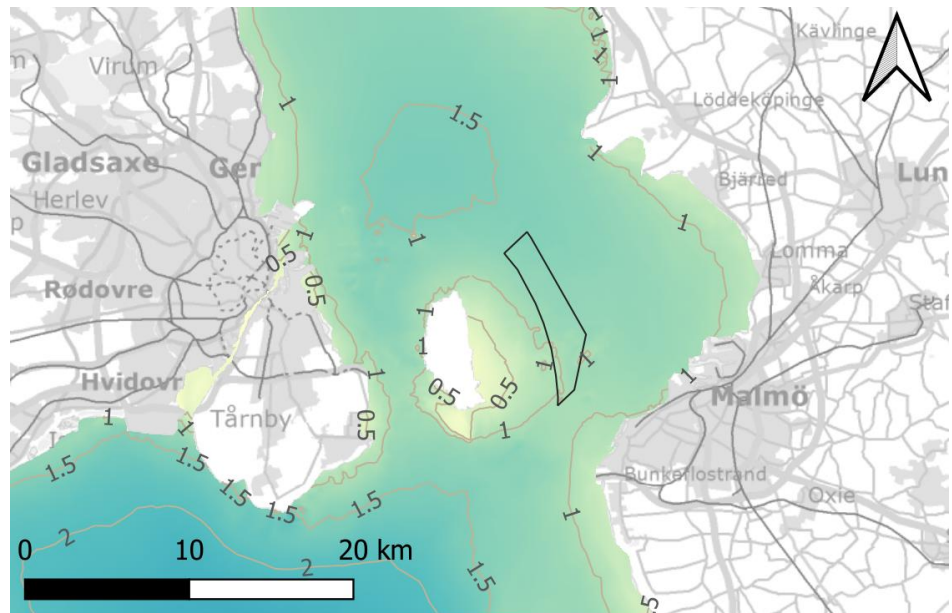
Figur 8.7: Øverst: Gennemsnitlige bølgehøjde, H_m0 , ved Nordre Flint over året 2004 i driftsfasen.



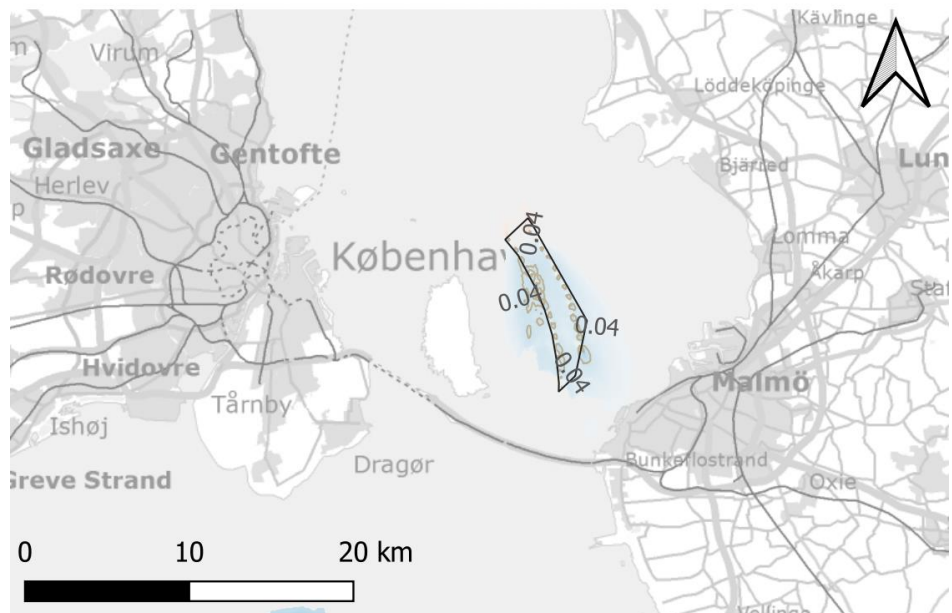
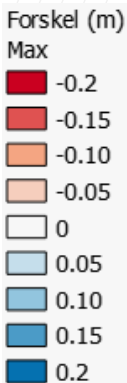
Nederst: Forskel mellem eksisterende forhold og driftsfasen. Ved positive værdier er bølgehøjden størst ved eksisterende forhold. Forskelle i gennemsnitsværdier mindre end 0.5 cm vises ikke. Forskelle i maksimumværdier mindre end 0,5 cm vises ikke.



Figur 8.8: Øverst: Maksimal bølgehøjde, H_{m0} , ved Nordre Flint i løbet af året 2004.



Nederst: Forskel mellem eksisterende forhold og driftsfasen. Ved positive værdier er bølgehøjden størst ved eksisterende forhold. Forskelle i gennemsnitsværdier mindre end 0,5 cm vises ikke. Forskelle i maksimumværdier mindre end 1 cm vises ikke.

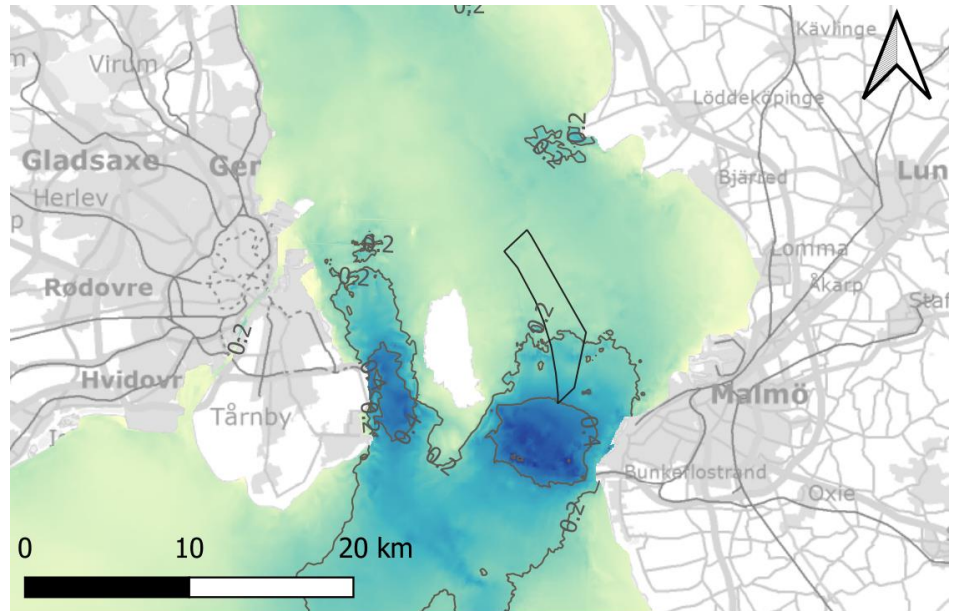


De største strømhastigheder i den sydlige del af Øresund forekommer i de to render (Drogden Rende og Flinterenden), hvor de krydses af Øresundsbroen, Figur 8.9.. Nordre Flint er beliggende nord for dette område således, at strømhastighederne i den sydlige del af vindmølleparken i middel ligger på 0,3 m/s faldende til 0,1 m/s for den nordlige del, Figur 8.9. Under mere ekstreme forhold er variationen hen over vindmølleparken mindre udpræget, og hastigheden ligger her på mellem 0,5 til 1 m/s, Figur 8.10.

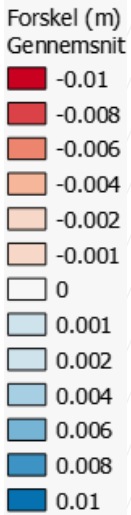
Vindmølleparkens påvirkning vil under normalforhold være meget lokal og er i udbredelse begrænset til mindre end 500 m omkring vindmøllerne med en forøgelse i

hastigheden på op til 1 cm/s. Under mere ekstreme forhold stiger forøgelse til omkring 2 cm/s for et område på ca. 1 km omkring vindmølleparken.

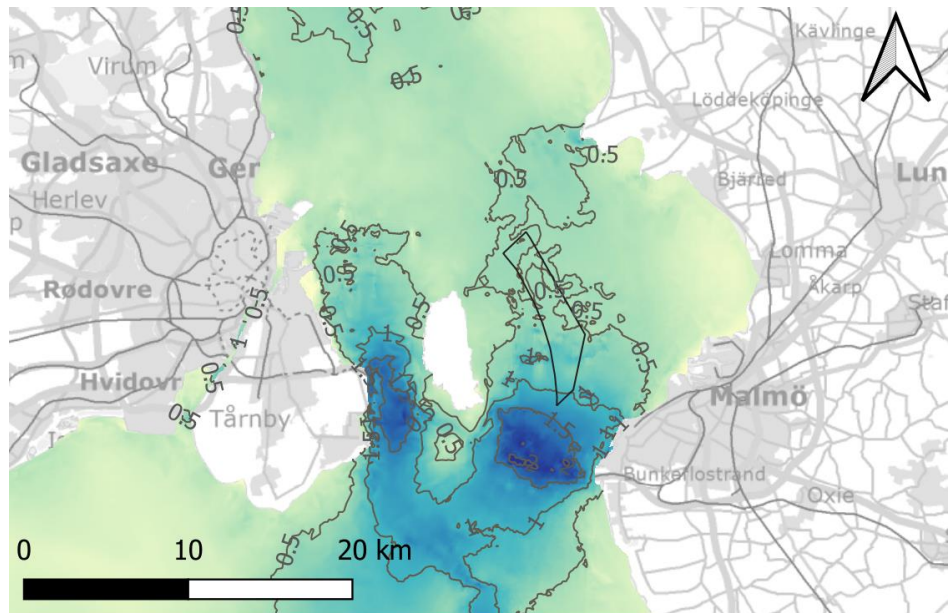
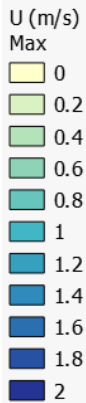
Figur 8.9: Øverst: Gennemsnitlige strømshastighed, U , ved Nordre Flint over året 2004 i driftsfasen.



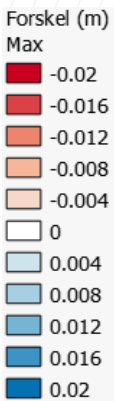
Nederst: Forskel mellem eksisterende forhold og driftsfasen. Ved positive værdier er strømshastigheden størst ved eksisterende forhold. Forskelle i gennemsnitsværdier mellem -0,001 og 0,001 m/s vises ikke.



Figur 8.10: Øverst: Maksimal strømhastighed, U, Nordre Flint i løbet af året 2004 i driftsfasen.



Nederst: Forskel mellem eksisterende forhold og driftsfasen. Ved positive værdier er strømhastigheden størst ved eksisterende forhold. Forskelle i gennemsnitsværdier mellem -0,004 og 0,004 m/s vises ikke.



8.6 Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen

Afvikling af vindmøller, kabler og fundamenter vil som udgangspunkt påvirke i samme omfang som under anlægsfasen eller mindre afhængigt af om f.eks. kablerne kan blive liggende, hvorvidt eventuelle huller ved de fjernet fundamenter skal tilbagefyldes og om eventuel erosionsbeskyttelse skal fjernes.

8.7 Kumulative virkninger

Afstanden imellem de to vindmølleparker er for stor til at der kan være en kumuleret virkning. Der er ingen andre kendte projekter som kan påvirke dette projekt på dette tidspunkt. Derfor forventes ingen kumulative virkninger.

8.8 Afværgeforanstaltninger

Der vurderes ikke at være behov for afværgeforanstaltninger.

8.9 Eventuelle mangler

Ingen.

8.10 Konklusion (Bølger og strøm)

Vindmølleparkernes påvirkning vil under normale forhold være meget lokal og er i udbredelse begrænset til mindre end 500 m omkring vindmølleparken med en forøgelse i strømhastigheden på op til 1 cm/s. Under mere ekstreme forhold stiger forøgelse til omkring 2 cm/s for et område på ca. 1 km omkring vindmølleparkerne.

Ved Aflandshage vil bølgerne under normale forhold indenfor vindmølleområdet kunne reduceres med op til 2% faldende til under 1% i afstand af ca. 5 km fra parken, Figur 8.3. For de større bølger er reduktionen i vindmølleparken på op til ca. 5% faldende til ca. 3% ved Aflandshage, Figur 8.4, svarende til hhv. 12 cm og 4 cm for den betragtede situation.

For bølger ved Nordre Flint er det således at placeringen af Nordre Flint gør, at den er beskyttet mod direkte bølger fra både Østersøen og Kattegat. I gennemsnit er bølgehøjden mindre end $0,1 mH_{m0}$ og bliver sjældent over $1 mH_{m0}$, se Figur 8.7. Lærvirkningen er under normale forhold i størrelsesorden 5% indenfor vindmølleområdet samt op til ca. 1 km nordøst for. Under mere ekstreme forhold er reduktionen i vindmølleområdet stadig ca. 5%, hvilket også gør sig gældende i for et område ca. 2 km til 5 km øst sydøst, i retning mod Malmø, samt for et område på vestsiden af park over imod Saltholm, se Figur 8.8.

9 Effekter på vandskifte

9.1 Eksisterende forhold

Vandgennemstrømningen styres af den modstand som det gennemstrømmende vand føler (den hydrauliske modstand) samt de kræfter som driver systemet. I dette tilfælde trykforskellen imellem Nordsøen og Østersøen.

Ved etablering af en vindmøllepark adders der en ekstra modstand, og der skal således i teorien en større kraft til at opretholde den samme vandføring. Det er den tankegang som gjorde, at man under byggeriet af Øresundsbroen valgte at lave en kompensationsafgravning, således at den samlede modstand forblev den samme.

Vandskiftet eller rettere vandgennemstrømningen i Øresund har i mange år været et diskussionsemne, da en del af vandudskiftningen fra Østersøen går igennem Øresund. Mere præcist sker vandudskiftningen og saltindstrømningen til Østersøen igennem Lillebælt, Storebælt og Øresund. Som tommelfingerregel siger man, at vandføringen i de tre bæltter sker i forholdet 1:7:3 (DHI 2008). Dvs. at omkring

30% af vandudskiftningen til Østersøen sker igennem Øresund. Da dette er afgørende for flora og fauna i Østersøen er det vitalt, at nybyggerier i Øresund ikke ændrer på vandgennemstrømningen.

Efter byggeriet af Øresundsbroen er der i de senere år blevet lavet en del nyudbygninger som kan påvirke vandgennemstrømningen. Blandt andet Københavns Nordhavn, vindmøllerne ved Lynetten og vindmøllerne på Kriegers Flak. Fælles for alle disse projekter er at man, ved numerisk modellering, nåede frem til at effekten på vandgennemstrømningen igennem Øresund var ubetydelig. Vandgennemstrømning må derfor, overordnet set, formodes at være relativt robust i forhold til mindre forstyrrelser.

9.2 Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen

Der forventes ikke påvirkninger i anlægsfasen, som er anderledes end i driftsfasen.

9.3 Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen

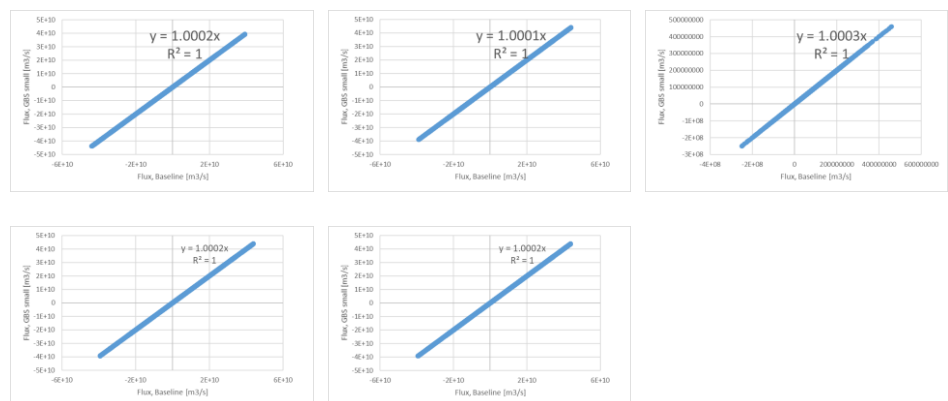
Ændringen i vandskiftet er fundet ved at betragte vandføringen gennem tværsnit hhv. øst, syd og nord for Aflandshage og nord og syd for Nordre Flint for året 2004.

Beregningen er for begge vindmølleparker udført for situationen med mange små gravitationsfundamenter, da disse vil give anledning til den største blokering. Forskellen er bestemt ved at betragte forskellen i den akkumuleret vandføring. For Aflandshage vil møllefundamenterne give anledning til en ændring mod øst, syd og vest på hhv. 0,2‰, 0,1‰ og 0,3‰. Tilsvarende for Nordre Flint mod hhv. nord og syd er 0,2‰ og 0,2‰, Figur 9.1.

Figur 9.1: Ændringen i vandføring for hhv. Aflandshage og Nordre Flint for mange små gravitationsfundamenter.

Øverst: Aflandshage – Øst, Syd og Vest

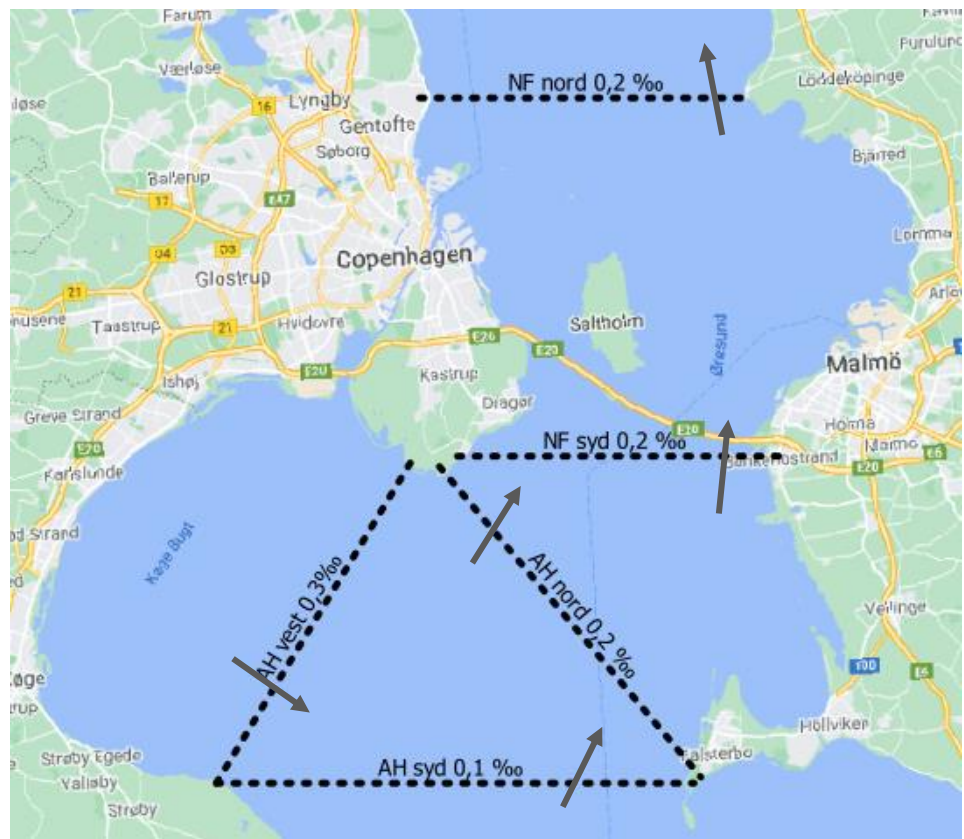
Nederst: Nordre Flint – Nord og Syd



Ved Aflandshage vil fundamenterne give anledning til en reduktion i den syd- og nordgående strøm på 0,1‰ og 0,2‰ samt medfører, at der strømmer 0,3‰ mindre vand ind i Køge Bugt Nordre Flint vil blokere indstrømningen fra syd og nord med 0,2‰.

Figur 9.2: Ændringen i vandføring for hhv. Aflandshage og Nordre Flint for mange små gravitationsfundamenter. Pilene angiver retningen i ændringen.

Vandføringen for NF nord reduceres f.eks. med 0,2 ‰



9.4 Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen

Der forventes ikke påvirkninger i afviklingsfasen, som er anderledes end i driftsfasen.

9.5 Kumulative virkninger

De to vindmølleparker ligger for langt fra hinanden til at der kan være en kumuleret virkning. Der er ikke aktuelt kendte projekter som kan give en kumuleret virkning. Derfor forventes ikke kumulative virkninger.

9.6 Afværgeforanstaltninger

Der vurderes ikke at være behov for afværgeforanstaltninger.

9.7 Eventuelle mangler

Ingen.

9.8 Konklusion (Vandskifte)

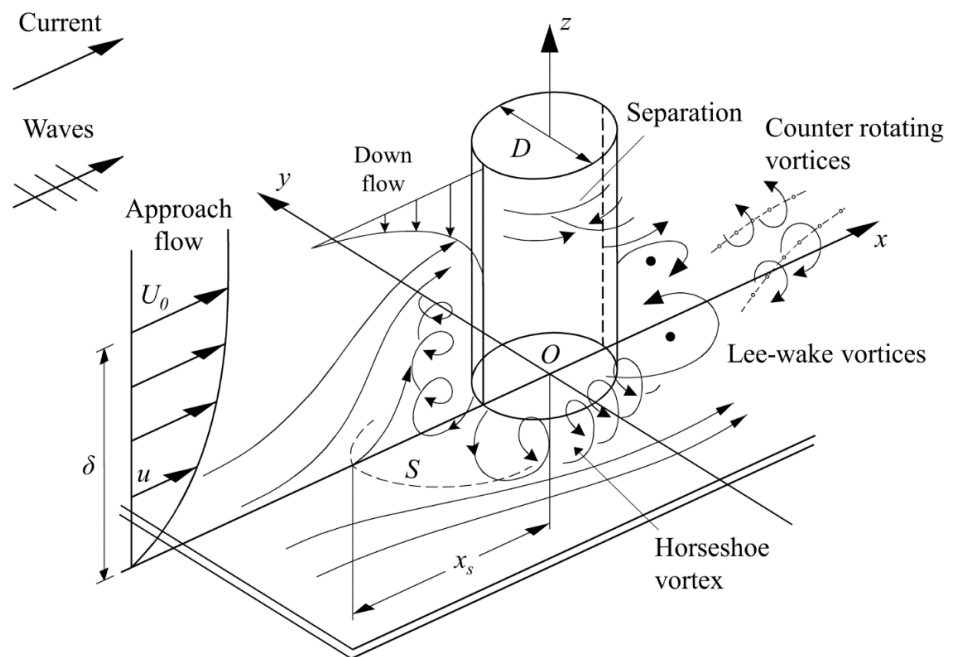
Forskellen er af en størrelsesorden mange gange mindre end den naturlige variation og vurderes at være neglignable.

10 Effekter på erosion

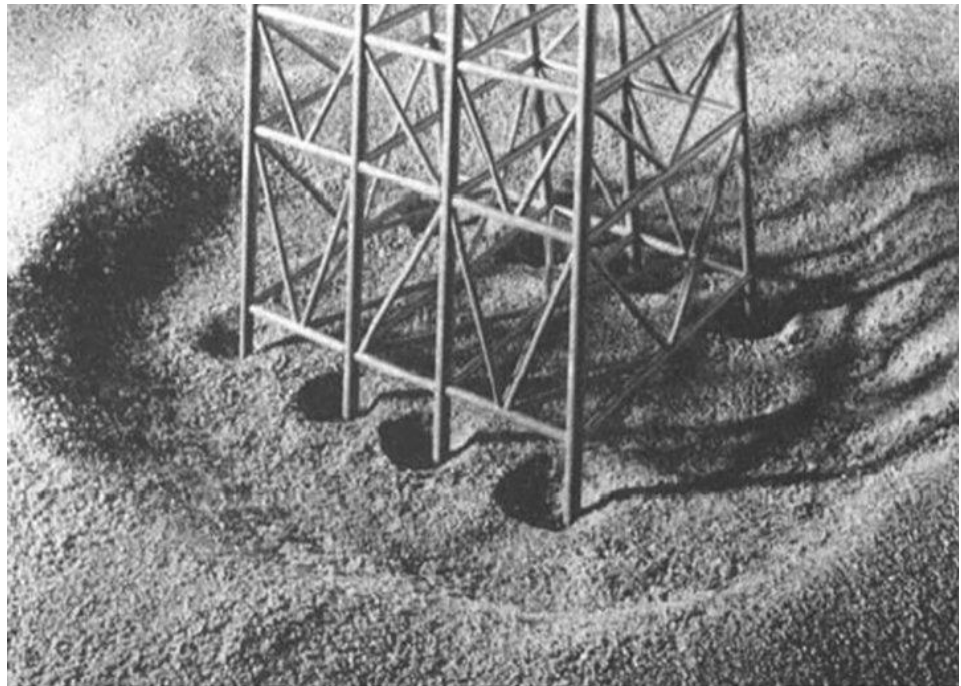
10.1 Generelt

Erosionen omkring vindmøllefundamenter kan bestå af to effekter. En lokal effekt som kaldes lokalerosion, som skyldes at vindmøllen får vandet til at rotere meget hurtigt tæt ved vindmøllefundamentet, og en global effekt som skyldes, at vindmøllefundamenterne som gruppe kan få vandet til at strømme hurtigere imellem fundamenterne, fordi der er mindre plads og et højere turbulensniveau. De to erosionstyper er skitseret i Figur 10.1 og Figur 10.2.

Figur 10.1: Effekter i forbindelse med lokalerosion (Sumer et. Al. 2002).



Figur 10.2: Eksempel på effekter i forbindelse med globalerosion (Sumer et. Al. 2002).



Der er således tale om to typer af erosion, som skal lægges sammen, hvis den samlede effekt skal findes. Det skal nævnes at global erosion kræver, at vindmøllerne står relativt tæt på hinanden. I litteraturen nævnes f.eks. en kraftigt aftagende effekt når ratio imellem afstanden imellem vindmøllefundamenterne og fundamenternes diameter kommer over en faktor 5-10.

Vindmøllefundamenterne kan også medføre en interferens på den morfologisk aktivitet i forbindelse med f.eks. sandbølger.

10.2 Eksisterende forhold

Der er ikke observeret eller beskrevet generel erosion, hverken på Nordre Flint eller Aflandshage. Der er heller ikke observeret dynamiske bundformer som f.eks. sandbølger.

Der er til gengæld sand på store dele af Aflandshage og på dele af Nordre Flint, hvorfor bunden i disse områder må formodes at være mobil.

10.3 Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen

Det vurderes at anlægsfasen er så kort, at der ikke kommer separate effekter på grund af denne.

10.4 Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen

I denne sammenhæng medtages effekten af den lokale erosion i detailed design, hvor der også vil blive taget endeligt stilling til udstrækning af erosionsbeskyttelse. Dette vil være gældende for gravitationsfundamenter, da risikoen ved ikke at anlægge erosionsbeskyttelse vil kunne influere på stabiliteten af fundamentet.

For monopæle er situationen en anden og det kan vælges at medtage et eventuelt erosions-hul i designet af monopælen. I dette tilfælde vil der kunne forventes et hul med en dybde tæt på monopælen svarende til 1,3 gange fundamentets diameter og en udbredelse på 3 gange dybden. Vælges det i stedet at udlægge erosionsbeskyttelse omkring pælen, vil erosionen stort set kunne negligeres. Dog må der forventes en mindre erosion langs kanten af den udlagte erosionsbeskyttelse.

Med hensyn til globale erosion er afstandene imellem vindmøllefundamenterne mange gange større end fundamenterne diameter (min 1:100 eller mere) hvorfor effekten formentligt kun kan ses i en model. Der er således ikke belæg for at forvente en global sænkning af havbunden. Da der ikke er væsentlig morfologisk aktivitet på havbunden, er der heller ikke grund til at forvente at vindmøllefundamenterne vil interferere her.

10.5 Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen

Der vurderes ikke at være nogen effekter i afviklingsfasen.

10.6 Kumulative virkninger

På grund af afstanden imellem de individuelle vindmøllefundamenter og den store afstand til andre installationer er der ikke nogen kumulerede virkninger.

Da der ikke er interferens imellem de to vindmølleparker rent hydraulisk, forventes der heller ingen kumulerede virkninger med hensyn til erosion.

10.7 Afværgeforanstaltninger

Der vurderes ikke at være behov for afværgeforanstaltninger.

10.8 Eventuelle mangler

Ingen.

10.9 Konklusion (Erosion)

Der forventes ingen signifikante effekter med hensyn til erosion.

11 Effekter af sedimentspild

11.1 Baggrundskoncentration

Begge lokaliteter ligger på dybt vand relativt langt fra land, hvorfor baggrundskoncentrationen af sediment må forventes at være styret af strømstyrken samt eventuelle aktiviteter i nærområdet.

Der er ikke lavet baggrundsmålinger til dette projekt, men der er gennemført intensive målinger før og under Øresundsprojektet ligesom der er gennemført intensive målinger ved Femern Bælt på lignende vanddybder.

Ved Femern Bælt observerede man meget lave koncentrationer under 1-2 mg/l i 99% af tiden (DHI/IOW 2021) og kun meget få events, hvor koncentrationen oversteg dette. Kun nær land hvor bølgerne havde en større effekt, så man periodevist højere koncentration.

Tilsvarende er der af Water Consult refereret en tilsvarende observation i Øresund på under 2 mg/l suspenderet sediment, hvilket passer fint med observationerne i

Femernbælt og de generelle observationer om, at baggrundskoncentrationen af suspenderet sediment i vandfasen på dybere vand typisk er mindre end 5 mg/l i danske farvande og i Øresund typisk på værdier mindre end 2 mg/l (Water consult, 1995).

11.2 Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen.

Med hensyn til spild sker hele påvirkningen i anlægsfasen. Sædvanligvis fokuseres der på det generelle spildbillede samt på spildet ved eventuelle sensitive receptorer såsom bestemte habitater eller vigtig infrastruktur som strande, vandindtag eller andet.

I denne sammenhæng overlades analysen af de sensitive habitater til de biologiske vurderinger. Det vurderes endvidere, at afstanden til vigtig infrastruktur er så lang, at der primært fokuseres på det generelle spildbillede samt på de analyser som er nødvendige for at lave de biologiske analyser.

I det følgende præsenteres den maksimale spildudbredelse ved overfladen og langs bunden. Dvs. et kort som viser den højeste koncentration som på et eller andet tidspunkt forekommer i dette punkt.

Endvidere præsenteres overskridelses hyppigheder over 5 mg/l, 10 mg/l og 50 mg/l ved top og bund.

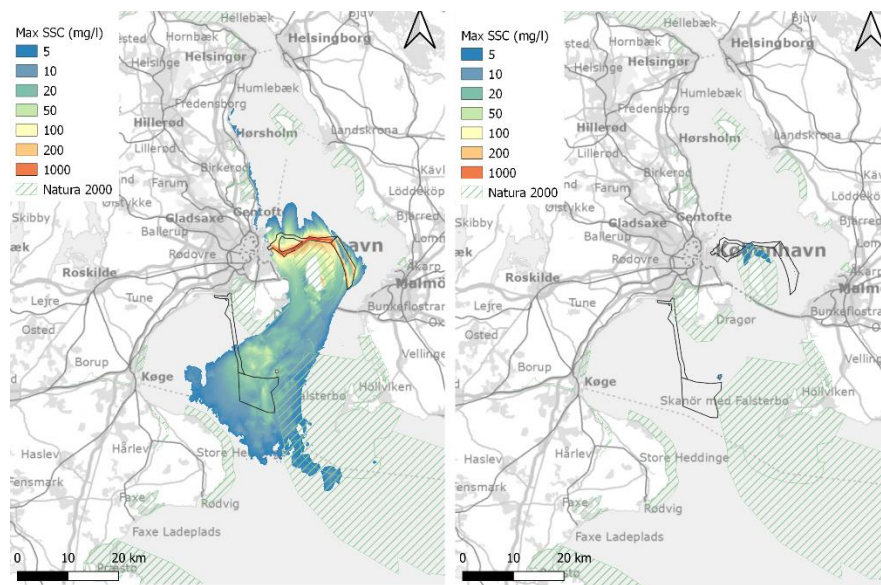
Endeligt præsenteres den maksimale deposition der forekommer under anlægsfasen.

11.3 Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen (Nordre Flint)

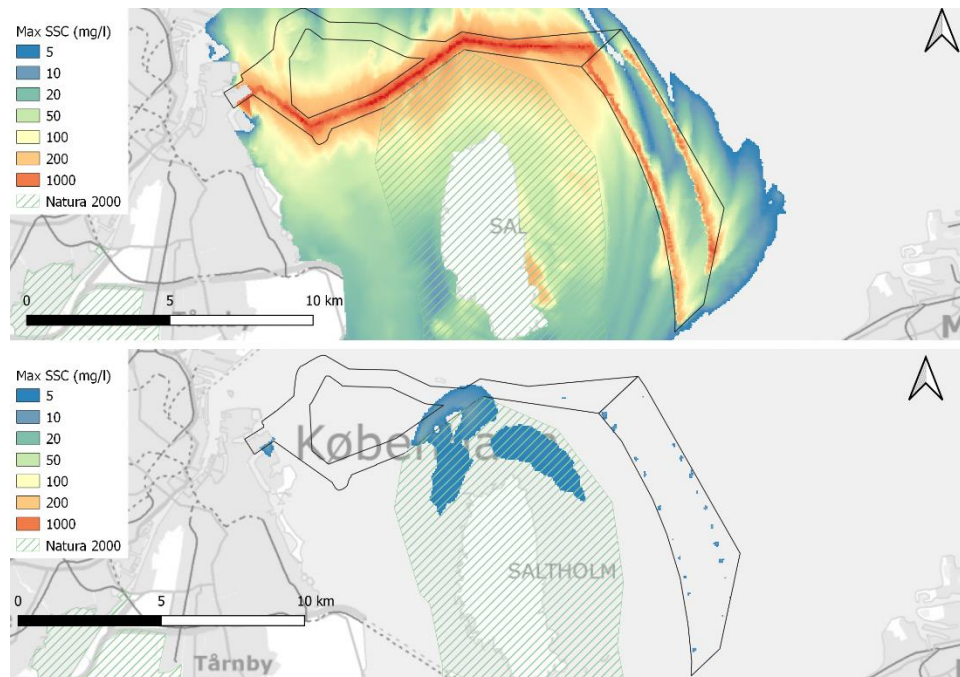
11.3.1 Koncentrationer (Nordre Flint)

I Figur 11.1 er vist de maksimale koncentrationer for de totale suspenderede sedimentkoncentrationer ved henholdsvis overfladen og bunden. Som forventet når koncentrationerne ved bunden betydeligt højere op end de gør ved overfladen. Til yderligere analyse er angivet et zoom af de maksimale koncentrationer i Figur 11.2. Udenfor forundersøgelsesområdet ses ikke koncentrationer over 200 mg/l.

Figur 11.1: Maksimale koncentrationer ved bunden (venstre) og ved overfladen (højre) pga. spild ved Nordre Flint.



Figur 11.2: Zoom af maksimale koncentrationer ved overfladen (nederst) og ved bunden (øverst) pga. spild ved Nordre Flint.

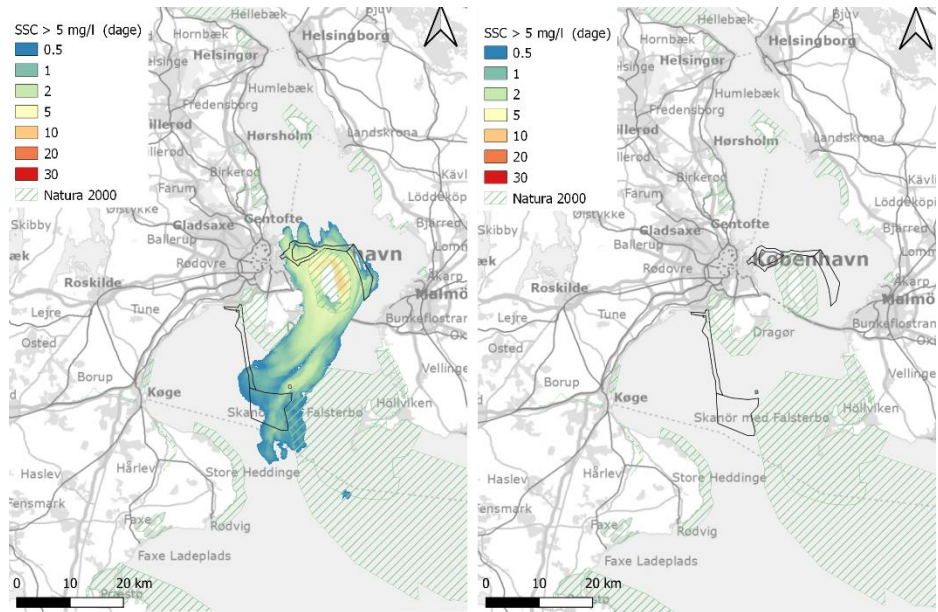


11.3.2 Overskridelseshyppigheder (Nordre Flint)

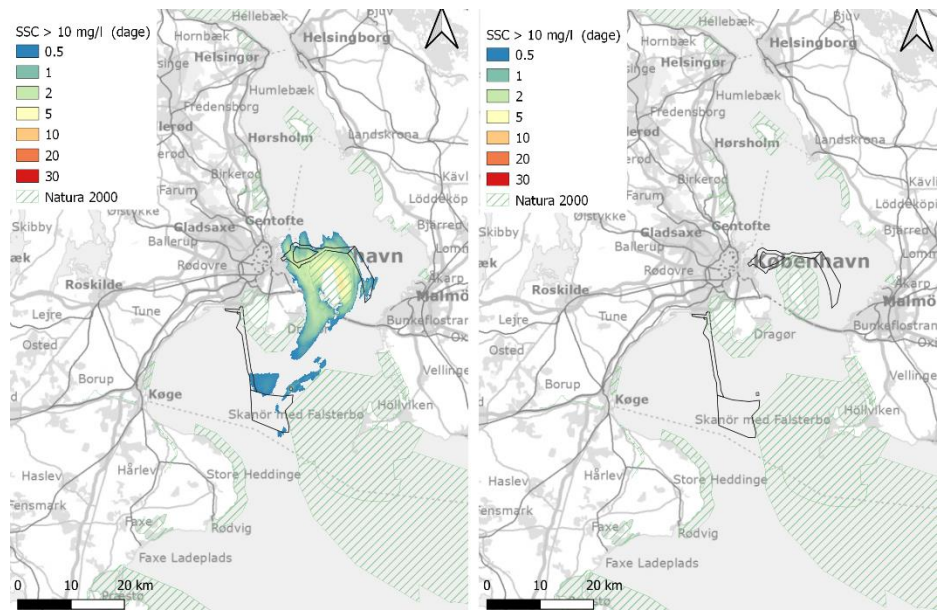
Overskridelseshyppighederne for koncentrationer over 5 mg/l (ca. synsgrænsen), 10 mg/l og 50 mg/l er angivet i Figur 11.3 til Figur 11.5. Som det ses af figureerne, vil sedimentet i korte perioder kunne ses relativt lang omkring. De højeste overskridelseshyppigheder ses langs kysten nord for Saltholm, hvor der sammenlagt

vil forekomme koncentrationer over 5 mg/l i 10 dage, Figur 11.3.. Dette skyldes, at bølgerne her i perioder vil resuspendere det deponerede materiael. En analyse af dette vil blive givet senere i afsnit 11.3.4. På dybere vand ses lavere koncentrationer hvilket skyldes, at der er mere vand, og at sedimenteret sediment får lov at ligge længere på bunden. Koncentrationer over 10 mg/l forekommer ikke i mere end omkring 8 dage (Figur 11.4), mens koncentrationer over 50 mg/l ikke forekommer mere end 2 dage (Figur 11.5).

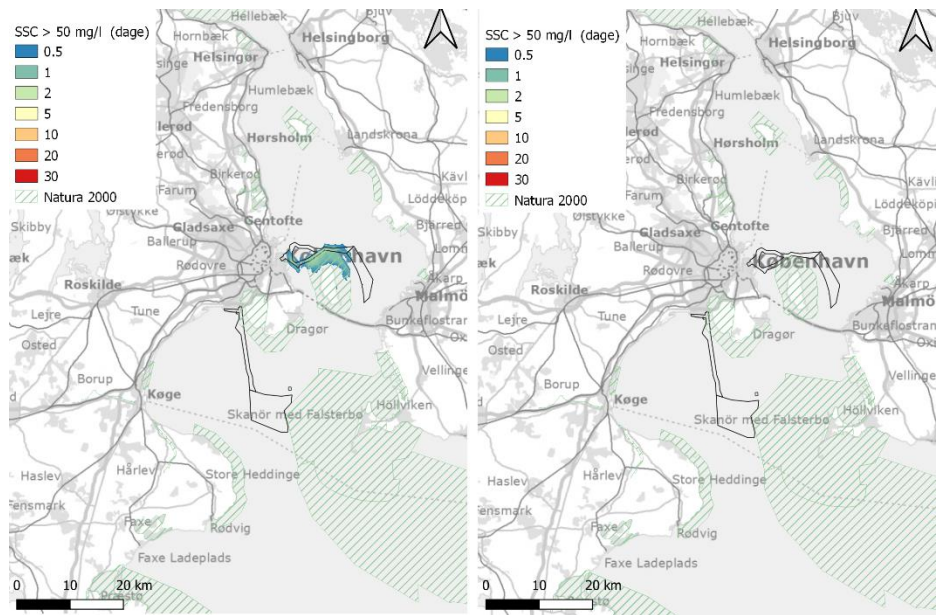
Figur 11.3: Overskridelsehyppigheder ved bunden (venstre) og ved overfladen (højre) pga. spild ved Nordre Flint over 5 mg/l.



Figur 11.4: Overskridelsehyppigheder ved bunden (venstre) og ved overfladen (højre) pga. spild ved Nordre Flint over 10 mg/l.



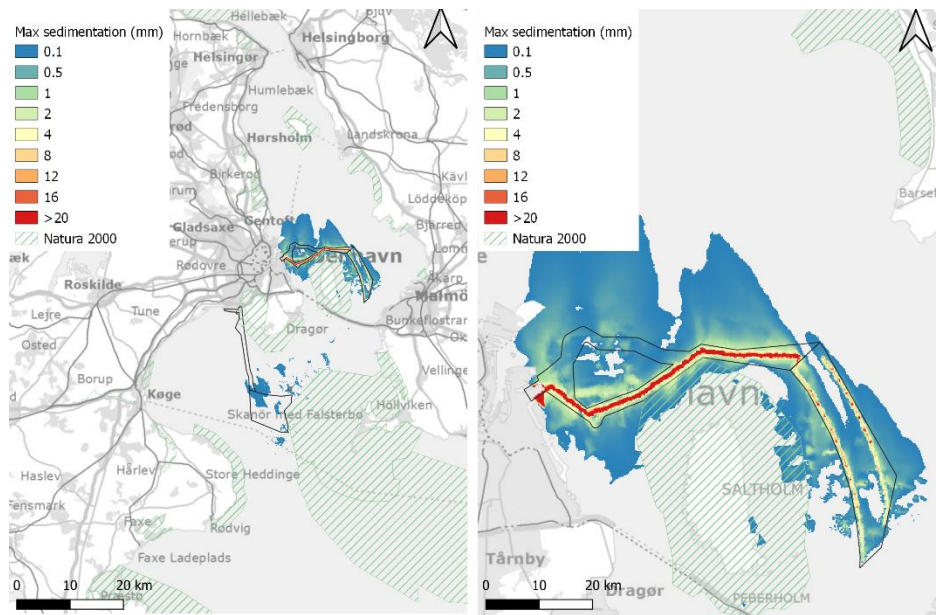
Figur 11.5: Overskridelsehypotegher ved bunden (venstre) og ved overfladen (højre) pga. spild ved Nordre Flint over 50 mg/l.



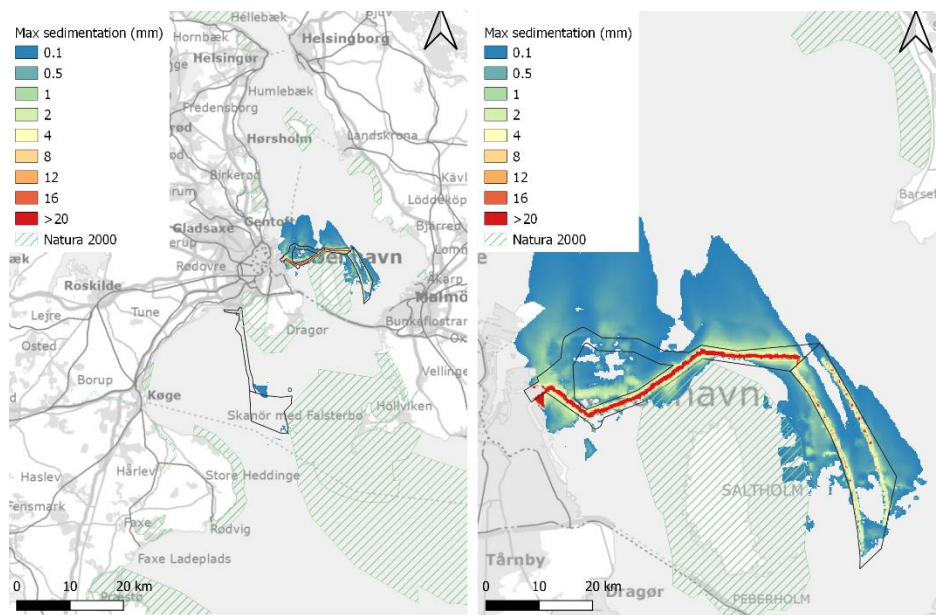
11.3.3 Maksimale deponitioner (Nordre Flint)

I Figur 11.6 ses det, at hovedparten af de højeste deponitioner sker i umiddelbar nærhed af kabeltracéet og vindmøllefundamenterne. Det skal bemærkes, at de tungeste fraktioner, som ligger udenfor de valgte fraktioner samt klumper ikke er med i analysen. Disse vil naturligt lægge sig indenfor få meter fra graveoperationen. Der observeres generelt depositions mængder på 1 mm eller derunder uden for forundersøgsområdet. Kun indenfor selve graveområdet observeres større depositions mængder. I Figur 11.20 ses deponitionen ved afslutningen af simuleringen. Det ses, at der sker en vis omlægning pga. erosion og deposition, især ved vindmølleparken og syd for eksportkablet.

Figur 11.6: Maksimale depositions-
mængder pga. spild ved
Nordre Flint



Figur 11.7: Depositionsmæng-
der pga. spild ved gravearbej-
dets afslutning ved Nordre Flint



11.3.4 Analyse af resuspension (Nordre Flint)

Til vurdering af hvorvidt de høje overskridelseshyppigheder nord og syd for Salt-
holm forekommer hele tiden, periodisk eller som funktion af den naturlige resu-
sension og deposition gives herunder tidsserier af totalkoncentrationer sammen
med bundforskydnings-spændinger. Således kan man dermed vurdere om det

spildte sediment vil være en tilvækst i et ellers lavt koncentrationsniveau, eller om det vil følge resuspension og deposition af det naturlige materiale.

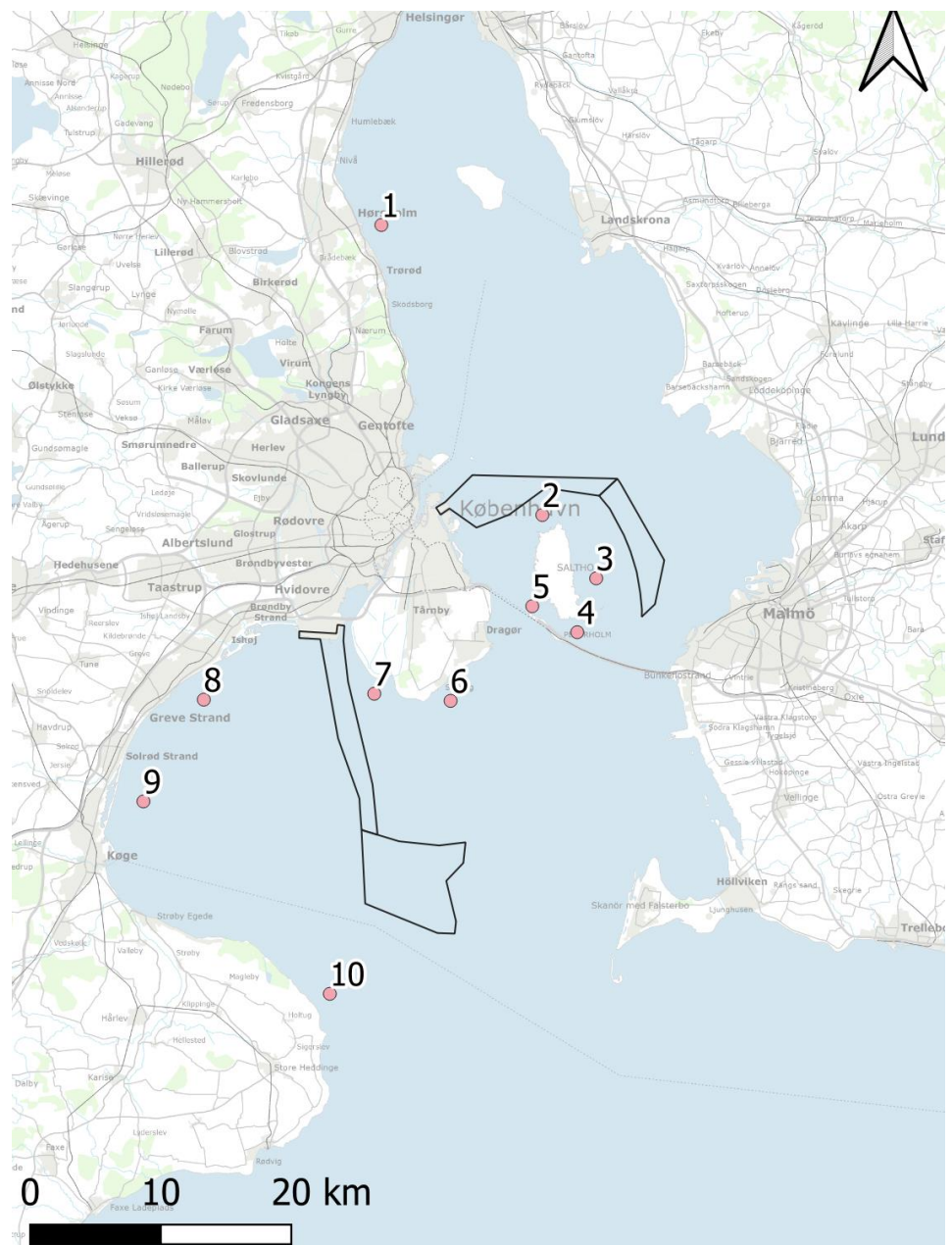
Der findes ikke en måling af baggrundskoncentrationerne, men man ved fra undersøgelserne i forbindelse med Femern Bælt, at baggrundskoncentrationerne kan variere ganske betydeligt som funktion af bølger og strøm, og at koncentrationerne kan komme meget højt op nær kysten. I Femern Bælt har man observeret over 1000 mg/l. Hvorvidt sedimenteret spildt sediment bliver kilde til en ekstra koncentration (i excess) afhænger af om erosionspotentialet i et givet punkt er opfyldt med det naturlige sediment. Er det det vil ekstra sediment ikke give anledning til ekstra sediment i vandfasen. Er det ikke det vil koncentrationen nå højere op når det spildte sediment kommer ind i puljen. Sædvanligvis giver spildt sediment anledning til en stigning i koncentrationerne i en periode efter at det er spildt. I løbet af denne periode vil sedimentet konsolidere, blive spredt eller blive blandet ned i bunden ved bioturbation. I indeværende beregning er kun spredning med hvor beregningen kan regnes lidt konservativ i forhold til koncentrationsniveauer.

I denne sektion kan vi ikke beregne den eksakte overkoncentration i forhold til baggrundskoncentrationen. Men vi kan beregne hvornår det spildte sediment agerer tidsmæssigt uafhængigt af det naturlige sediment og hvornår det agerer samtidigt. Det første sker sædvanligvis i perioden fra sedimentet er spildt til det rammer bunden første gang og det andet sker i perioden derefter når de kritiske forskydningsspændinger for erosion er overskredet. Dette er meget væsentligt da dyr og planter er mest følsomme overfor ændringer i lysmængden ved bunden. Lysmængden ved bunden varierer normalt med den naturlige baggrundskoncentration og enhver ændring som ikke følger denne vil føre til en tilvækst i den tid hvor lyset er reduceret ved bunden og dermed i planter og dyrs vækstforhold.

I Figur 11.8 ses de stationer som anvendes til analysen. I Figur 11.9 Er vist variationer i koncentrationer ved bunden i de angivne punkter.

Det ses, at resuspension af det spildte materiale først sker når materialet er blevet transporteret hen til den relevante station. Det ses endvidere, at den resuspenderede mængde er afhængig af mængden af sediment til rådighed. Af figuren kan man se, at den periode hvor det spildte sediment agerer uafhængigt er ganske kort og at det generelt følger de almindelige resuspensionsevents.

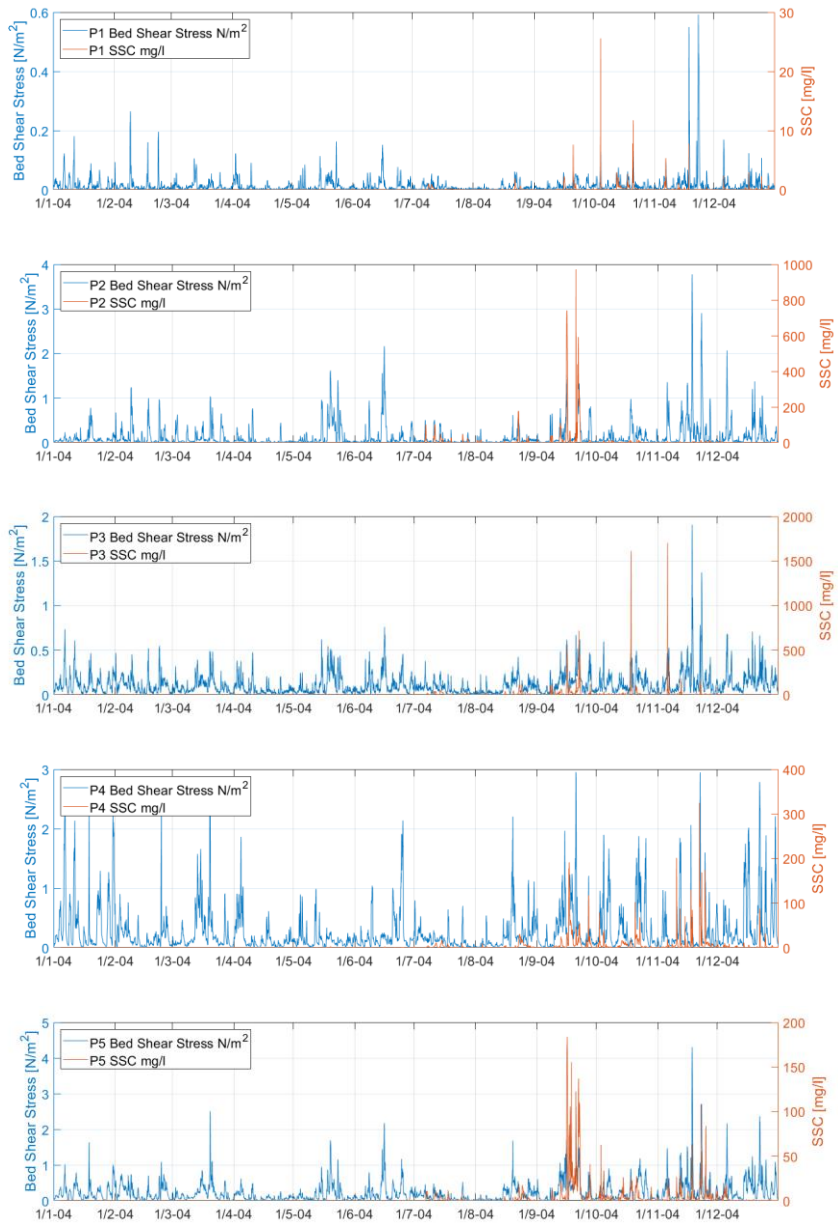
Figur 11.8: Figur der viser nummerering af analysestationer til resuspensionsanalysen.



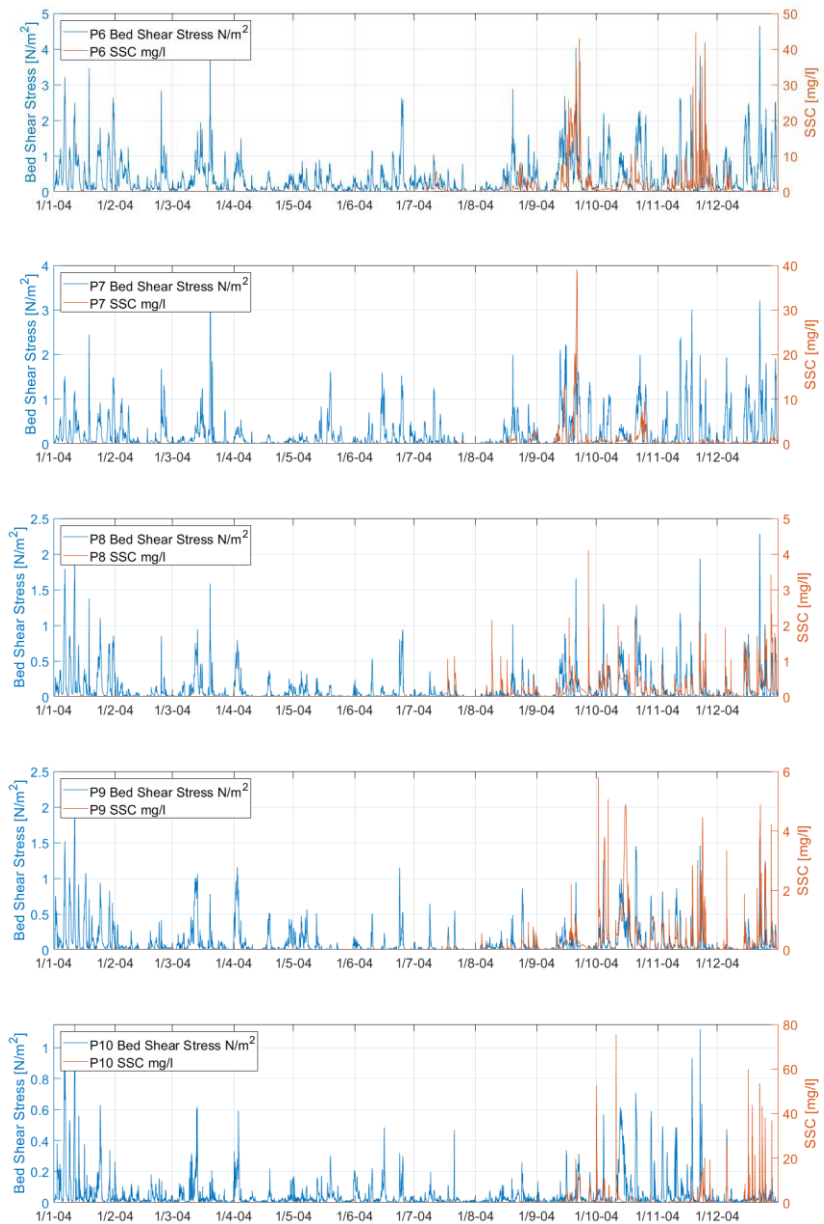
Figur 11.9: Tidsserier af koncentrationsniveauer og bundforskydningsspændinger for gravearbejdet ved Nordre Flint

Rød: Samlet koncentration (mg/l)

Blå: Bundforskydningsspænding (N/m²)



Figur 10.9 (fortsat):



Det ses, at tilvæksten i koncentration pga. gravearbejdet i de fleste tilfælde sker som en periodisk overskridelse, hvor der konstant sker en tilvækst i koncentrationsniveau. Efter gravearbejdets afslutning sker der periodevis en stigning i koncentrationen. Dette falder dog sammen med en stigning i bundforskydningsspændingen og dermed bølgepåvirkning. Det forventes derfor ikke, at koncentrationen er større end den normalt vil være tæt ved kysten ved kraftig bølgepåvirkning.

For hver station, angivet i Figur 11.8, udregnes overskridelsesfraktilerne fra 5% til 95% i arbejdsperioden, dvs. de koncentrationer i mg/l som netop er overskredet i denne procentdel af tiden på hver station. Disse er vist i Tabel 11.1. Det ses at koncentrationen på stationerne 1 og 6 til 10 i 95% af tiden er under 5 mg/l. For de

andre stationer, som ligger rundt om Saltholm er 95%-fraktilen mellem 13 og 28,6 mg/l og dermed noget højere

Tabel 11.1: Overskridelsesfraktiler i mg/l i anlægsperioden.

	5%	15%	25%	35%	45%	55%	65%	75%	85%	95%
St. 1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4
St. 2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.6	1.8	13.1
St. 3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.7	2.4	7.2	28.6
St. 4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.7	1.9	4.8	17.2
St. 5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.3	3.4	13.8
St. 6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.8	2.0	6.2
St. 7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.6	1.6
St. 8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.7
St. 9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	1.0
St. 10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.6	3.1

11.4 Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen (Nordre Flint)

Der vil ikke være nogen effekter i driftsfasen.

11.5 Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen (Nordre Flint)

Der forventes ikke større spild under afvikling.

11.6 Kumulative virkninger (Nordre Flint)

Pga. vandringslængden af sedimentfanerne vil der kunne være en kumulativ virkning såfremt de to vindmølleparker anlægges samtidigt. Men det forventes at de anlægges succesivt hvorfor der ikke forventes en effekt med hensyn til suspenderet sediment.

Med hensyn til deposition vil der kunne være en effekt fordi sediment aflejret fra gravearbejdet ved den ene vindmøllepark efterfølgende kan overlejres med sediment fra den anden vindmøllepark. Men de sedimenterede mængder i denne afstand fra vindmølleparken er så små at denne effekt er ubetydelig.

Såfremt klappads Nordhavn_B fortsat er i brug vil der kunne være en kumuleret virkning, men dette er forudsat ikke at være tilfældet.

Hvis der foretages gravearbejde i forbindelse med anlæggelsen af Lynetteholm, og sedimentet klappes i Køge Bugt samtidig med anlæggelsen af vindmølleparkerne, kan forventes en kumulativ effekt.

Det er estimeret i miljøkonsekvensvurderingen for Lynetteholm at der skal afgraves ca. 1,7 mio. m³ materiale. Det er desuden antaget at der graves med en konstant kapacitet på 500 m³/time hvilket betyder, at arbejdet udføres over en operativ periode på ca. 5 måneder. Arbejdet forventes dog udført i flere kortere faser.

Modellering gennemført som en del miljøkonsekvensvurderingen for Lynetteholm viser, at påvirkninger som følge af graveaktiviteter i forbindelse med etablering af Lynetteholm er koncentreret i området på og vest for Middelgrund. Hollænderdybet (mellem Middelgrund og Saltholm) og Drogden renden (øst for Saltholm) er upåvirket af sedimentspild i forbindelse med etablering af Lynetteholm.

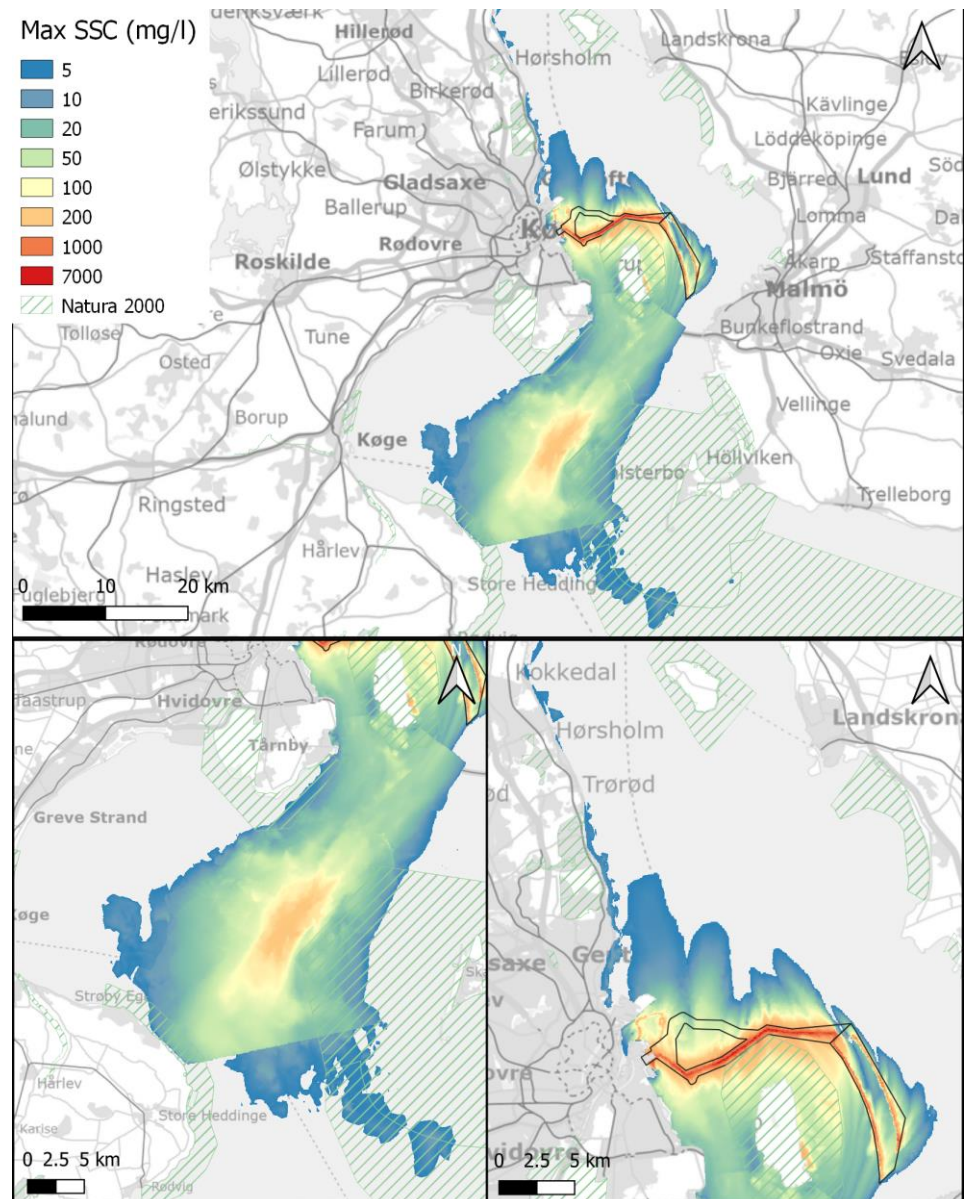
De følgende afsnit belyser den kumulative effekt på sedimentkoncentrationer og sedimentaflejring ved gravearbejde i anlæggelse af Nordre Flint og hovedforslag 2 af Lynetteholm.

Data vedr. gravearbejdet ved Lynetteholmen er udarbejdet af DHI for By & Havn.

11.6.1 Koncentrationer (Nordre Flint)

Figur 11.10 viser de kumulative maksimale koncentrationer ved Nordre Flint og Lynetteholmen (Hovedforslag 2). Der er en kumulativ effekt omkring Lynetteholmen, Middelgrunden og Amagerværket, hvor der forekommer maksimale koncentrationer på 1000 mg/l. Der forekommer derudover maksimale koncentrationer på 100 mg/l i Køge Bugt.

Figur 11.10: Kumulative maksimale koncentrationer ved Nordre Flint og Lynetteholm (Hovedforslag 2).

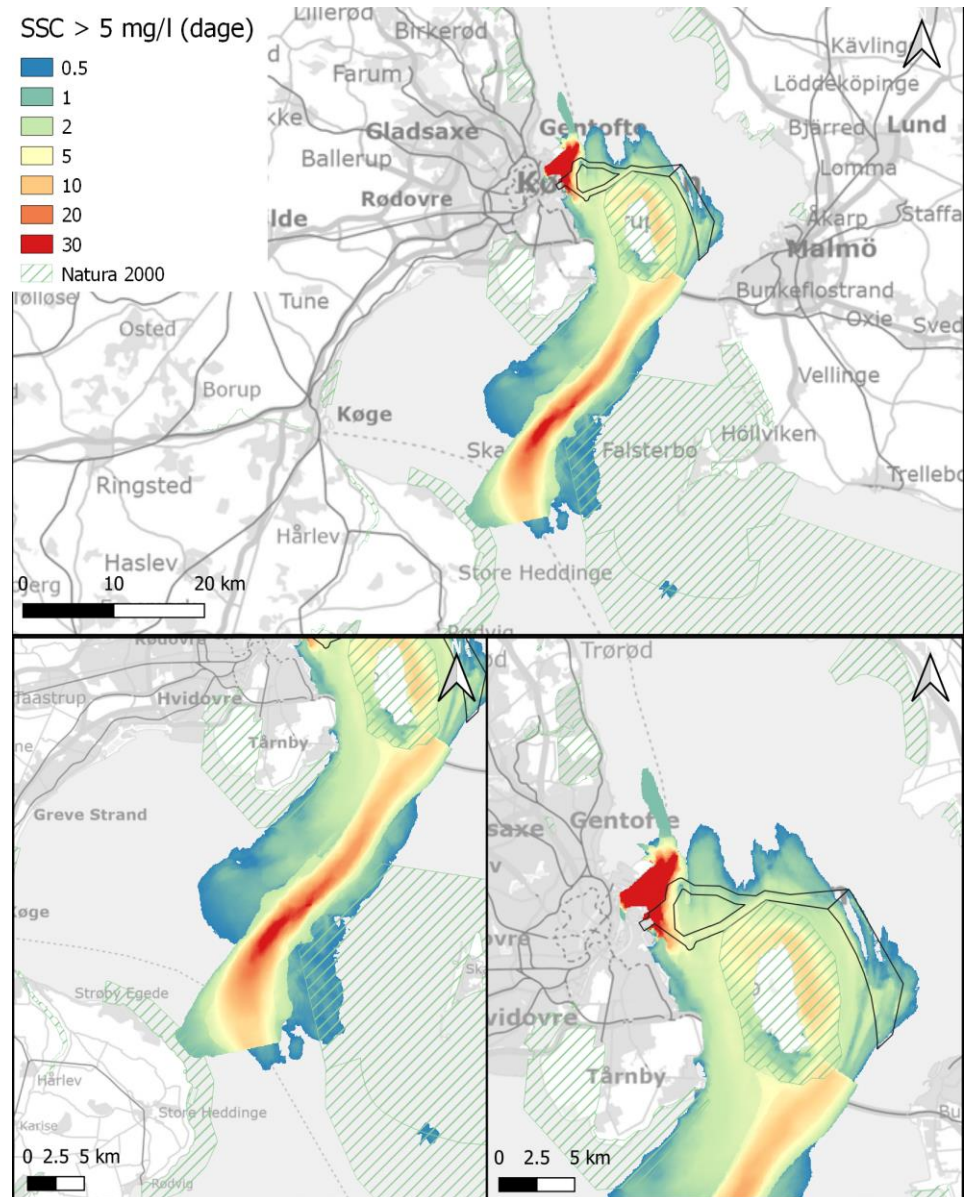


11.6.2 Overskridelseshyppigheder (Nordre Flint)

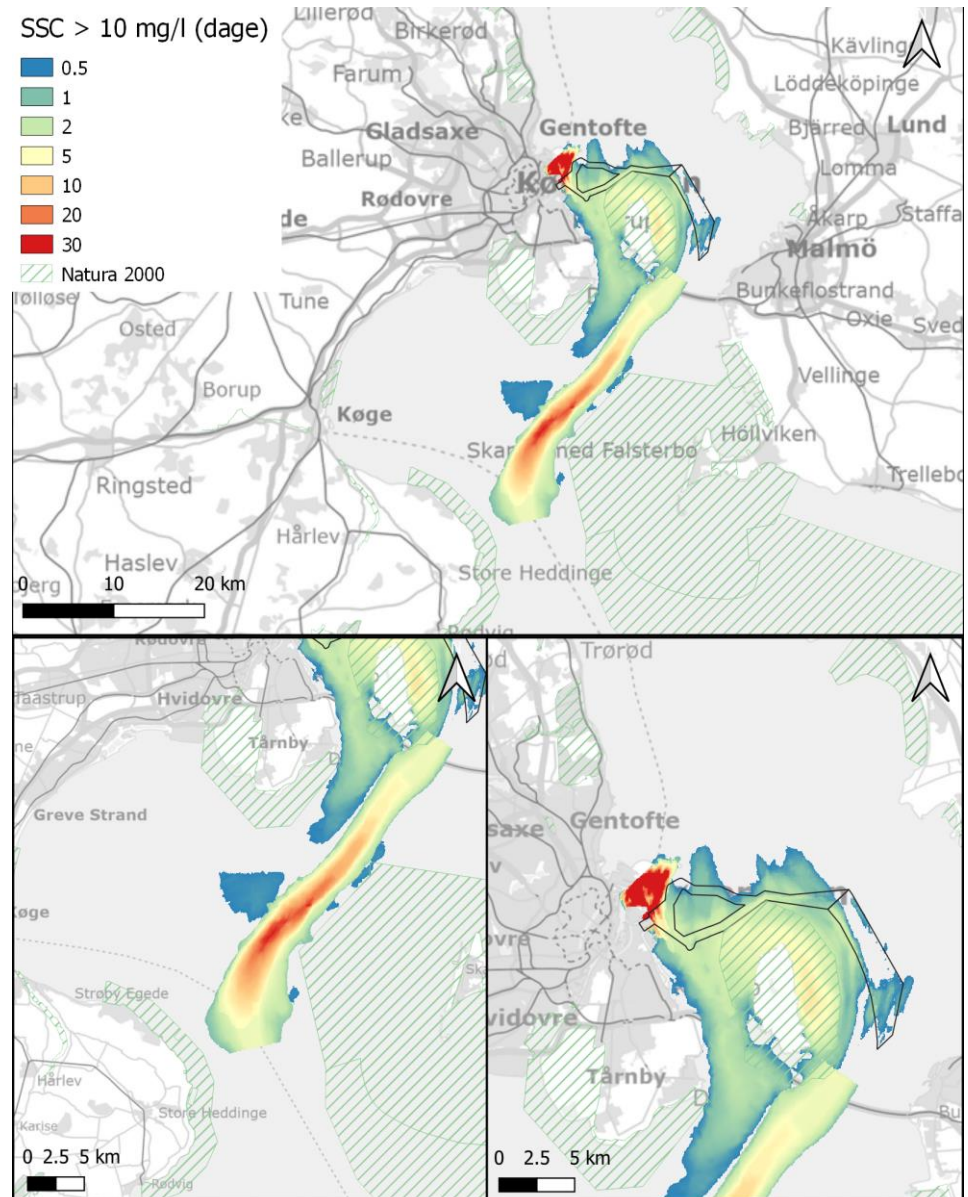
og Figur 11.11 viser overskridelseshyppigheden af en sedimentkoncentration på 5 mg/l. Der forekommer en kumulativ effekt omkring Lynetteholm, Middelgrunden og Amagerværket med overskridelseshyppighed på over 30 dage. I Køge Bugt forekommer der ligeledes et område med overskridelseshyppighed over 30 dage samt et større område med en overskridelseshyppighed på 10 og 20 dage.

Figur 11.12 viser overskrideshyppigheden af en sedimentkoncentration på 10 mg/l. Sammenlignet med overskrideshyppigheden af 5 mg/l er mønstret ens; dog med en lavere udbredelse af en overskrideshyppighed på 30 dage ved både Lynetteholm, Middelgrunden og i Køge Bugt.

Figur 11.11: Overskridelses-
hyppigheder af 5 mg/l ved Nor-
dre Flint og Lynetteholm (Ho-
vedforslag 2).



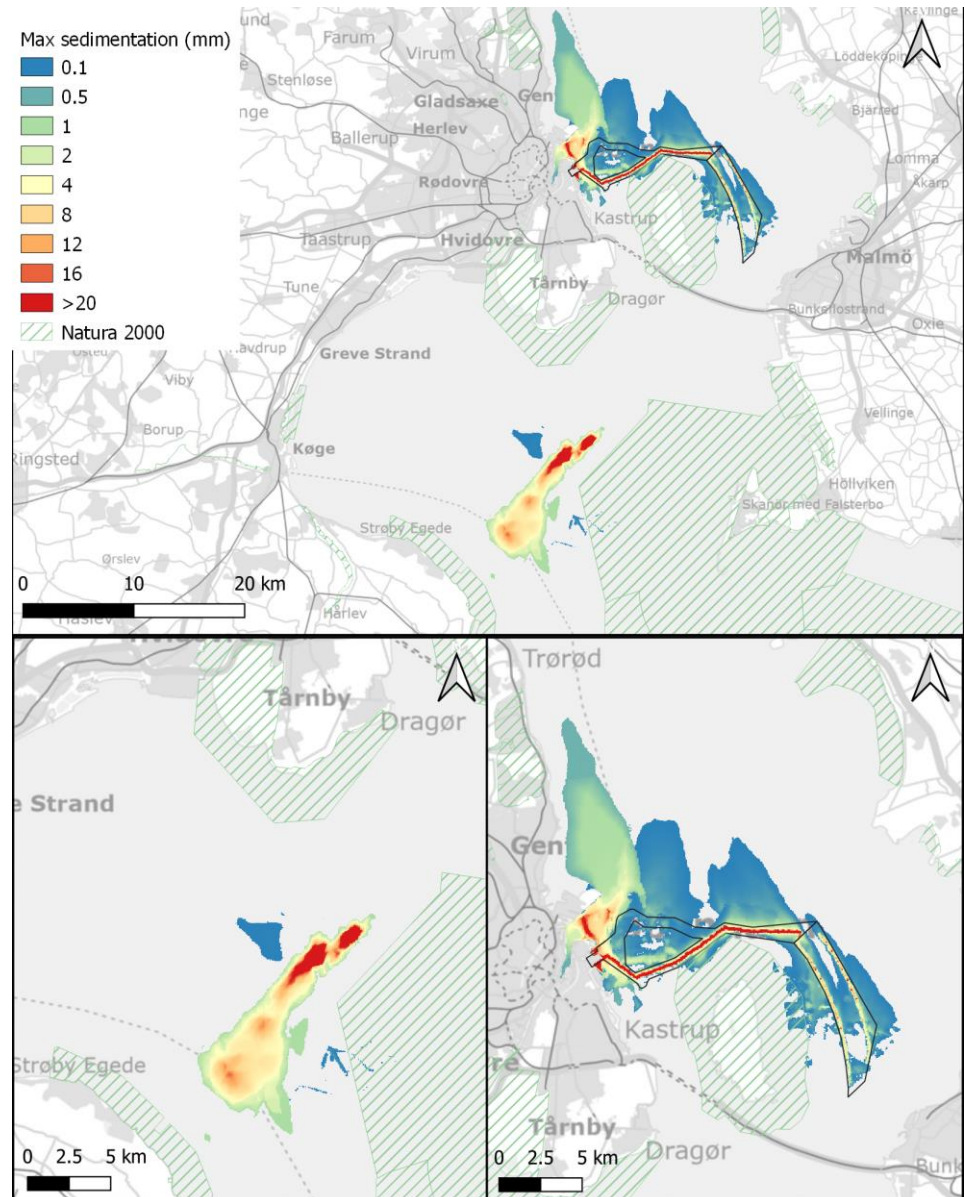
Figur 11.12: Overskridelses-
hyppigheder af 10 mg/l ved
Nordre Flint og Lynetteholm
(Hovedforslag 2).



11.6.3 Maksimale depositioner (Nordre Flint)

og Figur 11.13 viser den kumulative maksimale deposition. Der forekommer en kumulativ effekt omkring Lynetteholm, Middelgrunden og Amagerværket med områder, hvor depositionen er over 20 mm.

Figur 11.13: Maksimal deposition ved Nordre Flint og Lynetteholm (Hovedforslag 2).



11.7 Afværgeforanstaltninger (Nordre Flint)

Anlægsaktiviteterne i forbindelse med kabelinstallation kan evt. koordineres med mulige aktiviteter i forbindelse med etablering af Lynetteholm. Det kan tilstræbes, at etableringen af den vestligste 2 km strækning af kabelkorridoren vest for Middelfund gennemføres i en periode uden væsentlig aktivitet i forbindelse med Lynetteholm.

11.8 Eventuelle mangler (Nordre Flint)

Ingen.

11.9 Konklusion (Nordre Flint)

Spildet under anlægsarbejdet ved Nordre Flint er vurderet og der ses et relativt stort påvirkningsområde. Påvirkningen er imidlertid relativt kortvarig de fleste steder. Det er vist, at der ikke er blivende effekter efter at grave arbejdet slutter. Det ses, at der primært deponeres materiale i større mængder meget tæt på vindmølleparken.

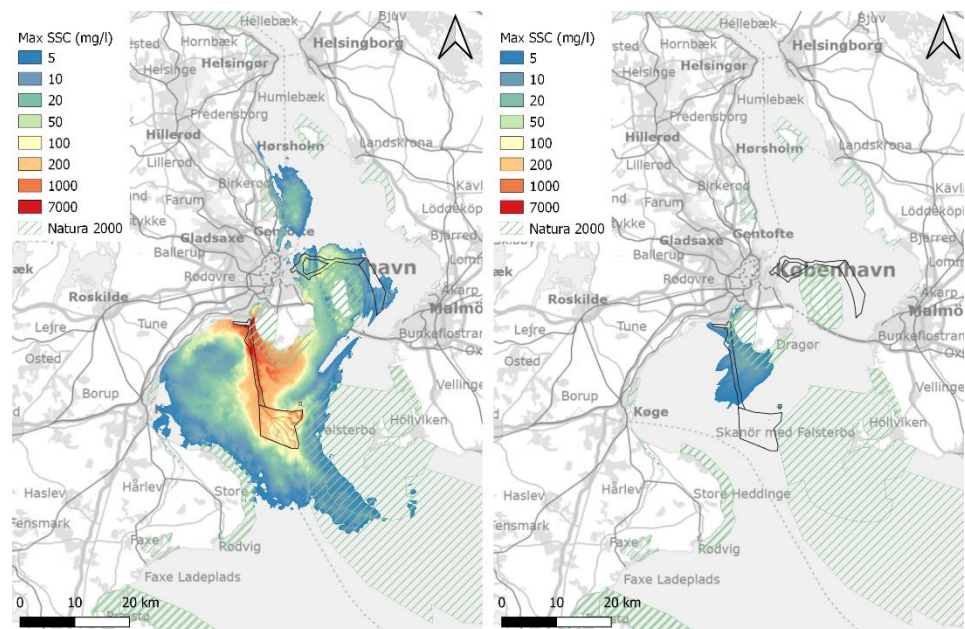
Det ses at koncentrationen på alle stationer i 95% af tiden er under 15 mg/l mens den i 85 % af tiden er under cirka 2 mg/l.

11.10 Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen (Aflandshage)

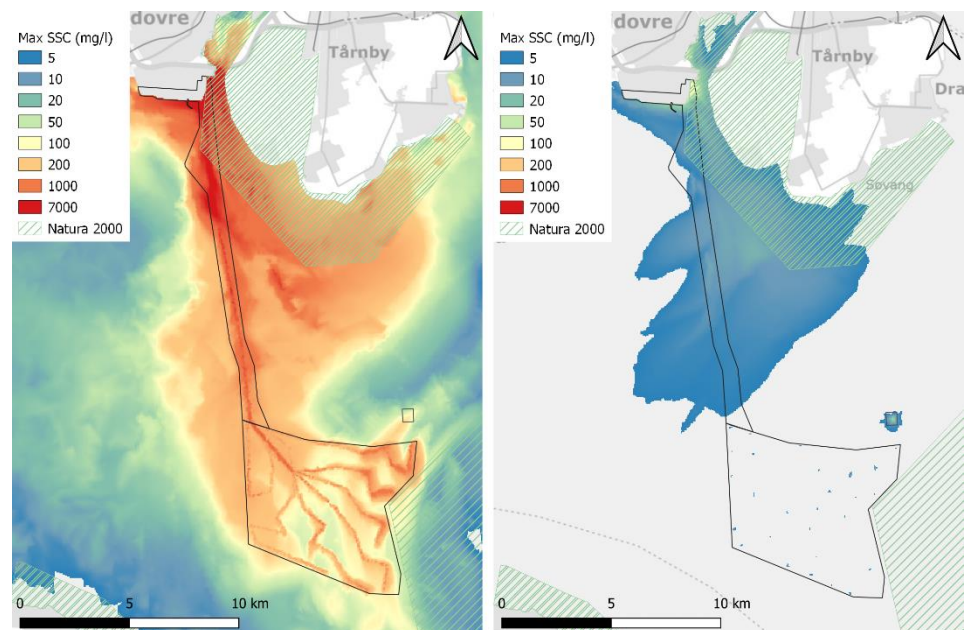
11.10.1 Koncentrationer (Aflandshage)

I Figur 11.14 er vist de maksimale koncentrationer for de totale suspendede sedimentkoncentrationer ved henholdsvis overfladen og bunden. Som forventet når koncentrationerne ved bunden betydeligt højere niveau, end de gør ved overfladen. Til yderligere analyse er angivet et zoom af de maksimale koncentrationer i Figur 11.15.

Figur 11.14: Maksimale koncentrationer ved bunden (venstre tv) og ved overfladen (højre th) pga. spild ved Aflandshage.



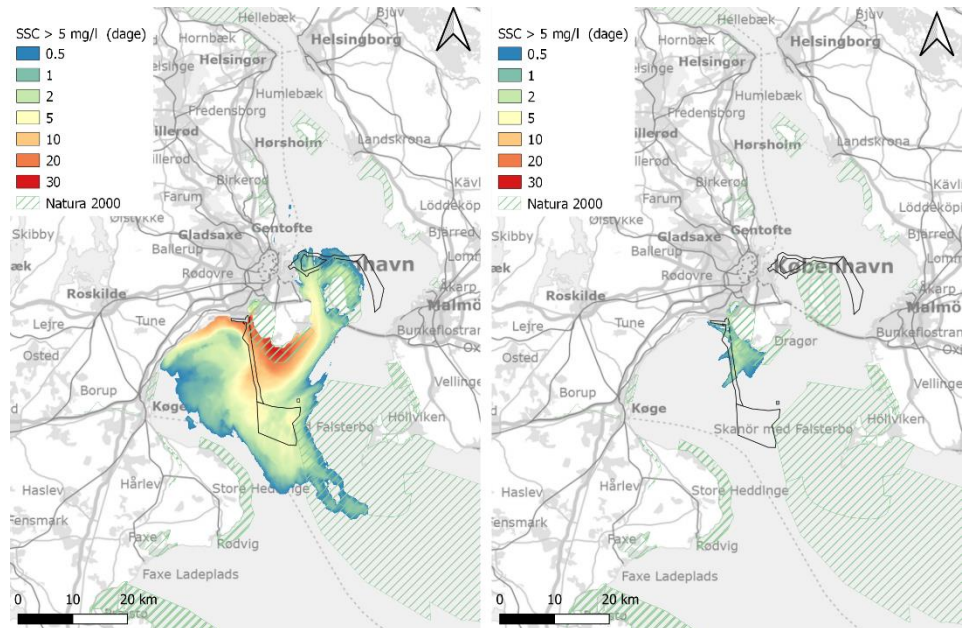
Figur 11.15: Zoom af maksimale koncentrationer ved bunden (venstre) og ved overfladen (højre) pga. spild ved Aflandshage.



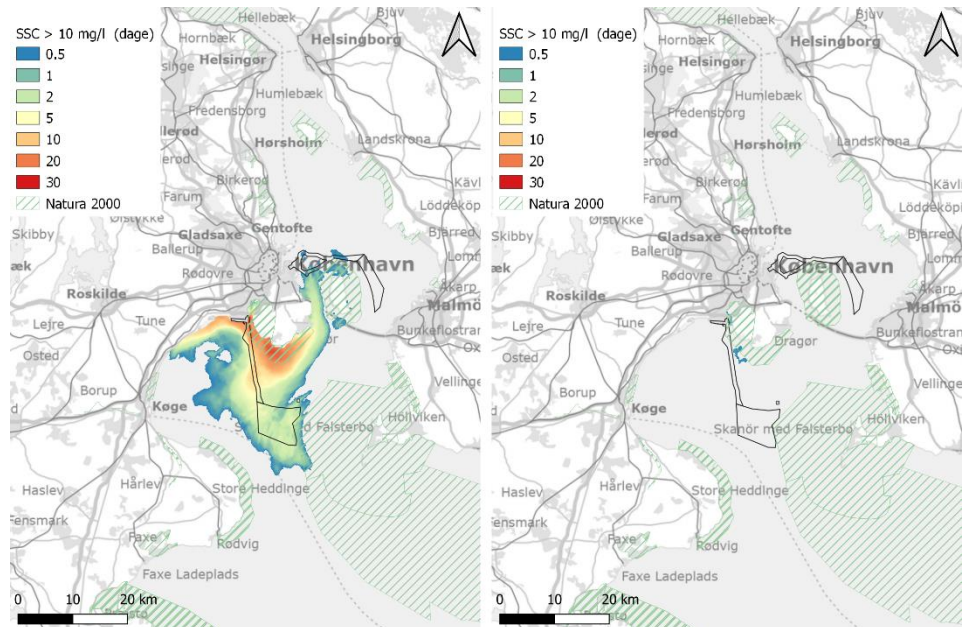
11.10.2 Overskridelseshyppigheder (Aflandshage)

Overskridelseshyppighederne for koncentrationer over 5 mg/l (ca. synsgrænsen), 10 mg/l og 50 mg/l er angivet i Figur 11.16 - Figur 11.18. Som det ses, vil sedimentet i korte perioder kunne ses relativt langt omkring. De højeste overskridelseshyppigheder ses langs kysterne. Dette skyldes, at bølgerne her i perioder vil resuspendere det deponerede materiale sammen med det naturlige sediment. En analyse af dette vil blive givet senere i afsnit 11.10.4. Længere ude ses lavere koncentrationer hvilket skyldes, at der er mere vand, og at sedimenteret sediment får lov at ligge længere på bunden. Faktisk vil man i 10% af anlægsperioden kunne se sediment i vandet nord for Saltholm.

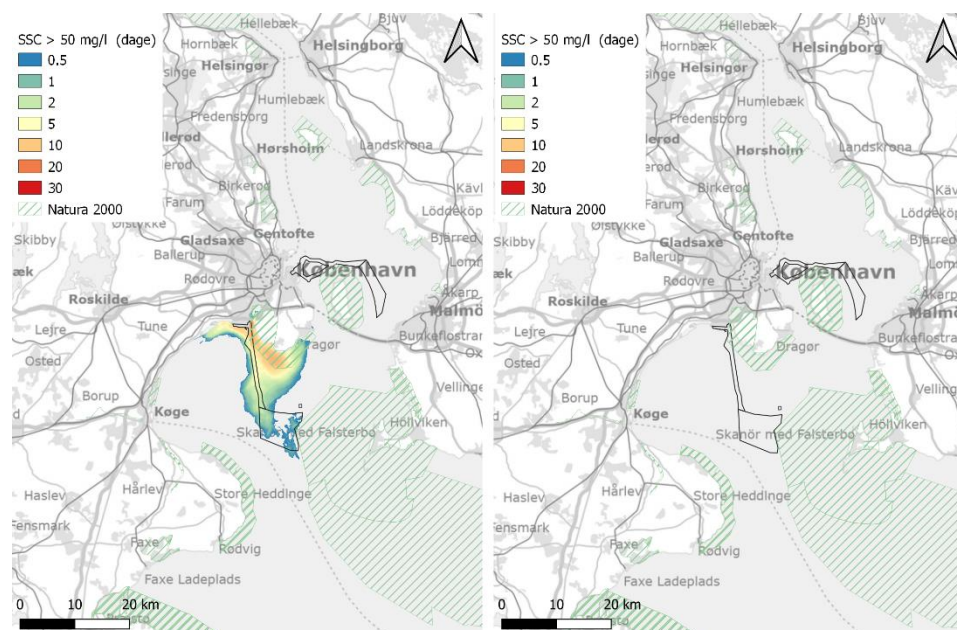
Figur 11.16: Overskridelses-
hyppigheder ved bunden (ven-
stre) og ved overfladen (højre)
pga. spild ved Aflandshage over
5 mg/l.



Figur 11.17: Overskridelses-
hyppigheder ved bunden (ven-
stre) og ved overfladen (højre)
pga. spild ved Aflandshage over
10 mg/l.



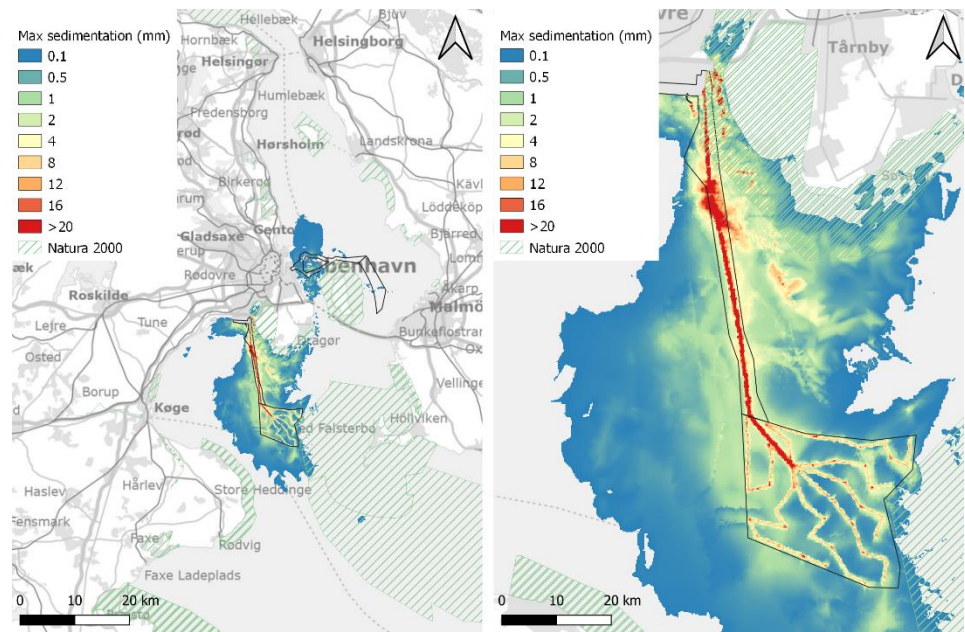
Figur 11.18: Overskridelses-
 hyppigheder ved bunden (ven-
 stre) og overfladen (højre) pga.
 spild ved Aflandshage over 50
 mg/l.



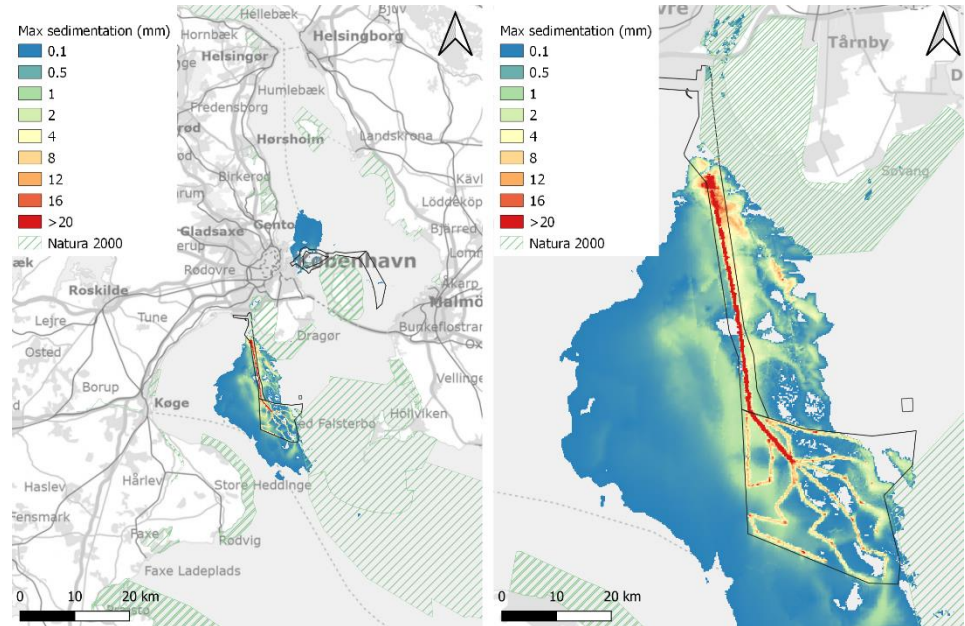
11.10.3 Maksimale depositioner (Aflandshage)

I Figur 11.19 ses det, at hovedparten af de højeste depositioner sker i umiddelbar nærhed af kabeltraceet og vindmøllefundamenterne. Dette er konsistent med den fundne kornstørrelsesfordeling. Det skal bemærkes, at de tungeste fraktioner, som ligger udenfor de valgte fraktioner, samt klumper ikke er med i analysen. Disse vil naturligt lægge sig indenfor få meter fra graveoperationen. I en afstand af 1-2 km fra graveområdet kan der forekomme mindre områder med depositions-mængder på 8-10 mm. Generelt er depositions-mængderne uden for graveområdet dog under 4 mm. Kun indenfor selve graveområdet observeres større depositions-mængder. I Figur 11.20 ses depositionen ved simuleringens afslutning. Der observeres nogle forskelle som skyldes resuspension og omlejring.

Figur 11.19: Maksimale depositions­mængder pga. spild ved Aflandshage



Figur 11.20: Depositionsmængder pga. spild ved gravearbej­dets afslutning ved Aflands­hage.

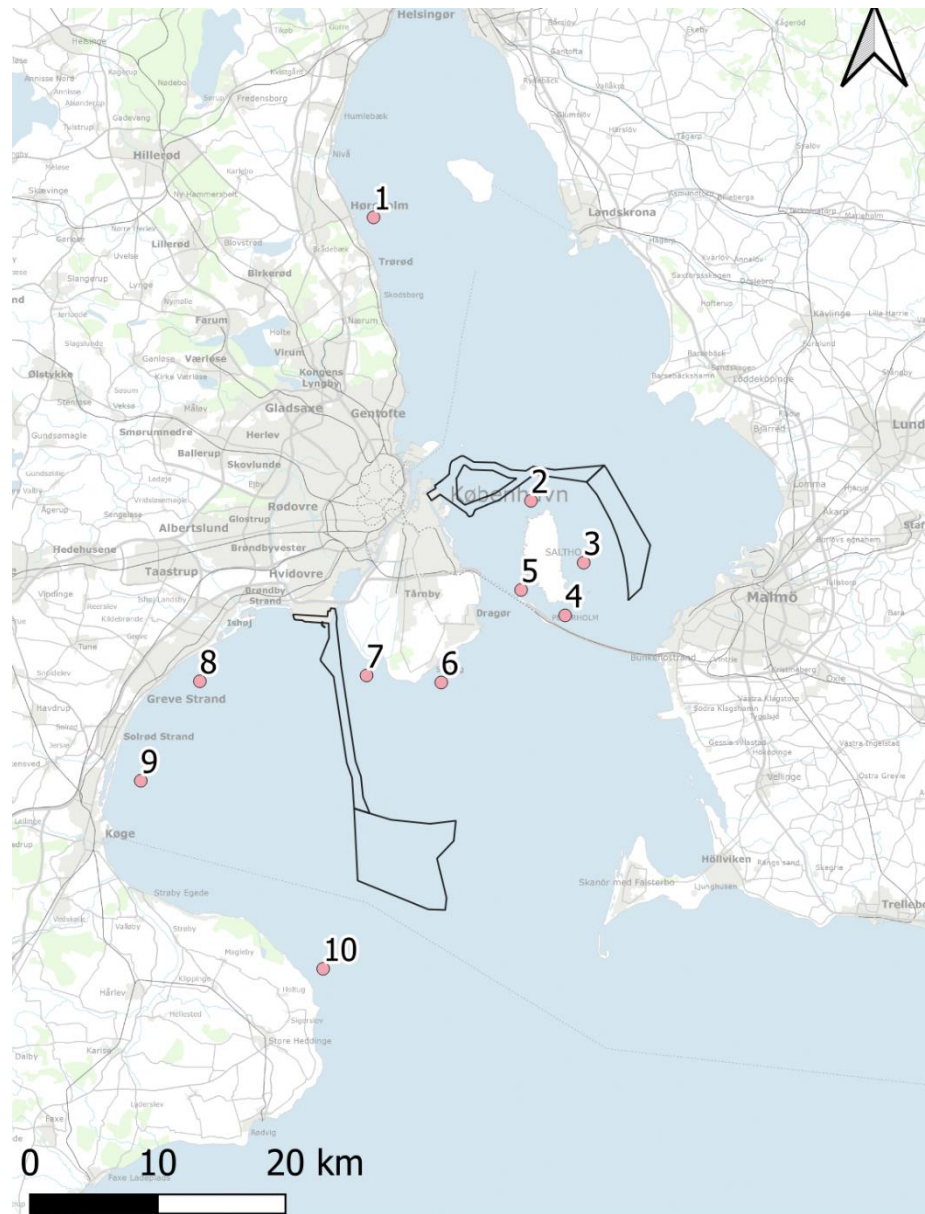


11.10.4 Analyse af resuspension (Aflandshage)

Til vurdering af hvorvidt de høje overskridelseshyppigheder nord og syd for Salt­holm forekommer hele tiden, periodisk eller som funktion af den naturlige resu­spension og deposition gives herunder tidsserier af total­koncentrationer sammen

med bundforskydningsspændinger, således at man kan vurdere om det spildte sediment vil være en tilvækst i et ellers lavt koncentrationsniveau, eller om det vil følge resuspension og deposition af det naturlige materiale. I Figur 11.21 ses de stationer som anvendes til analysen. I Figur 11.22 er vist variationer i koncentrationer ved bunden i de angivne punkter.

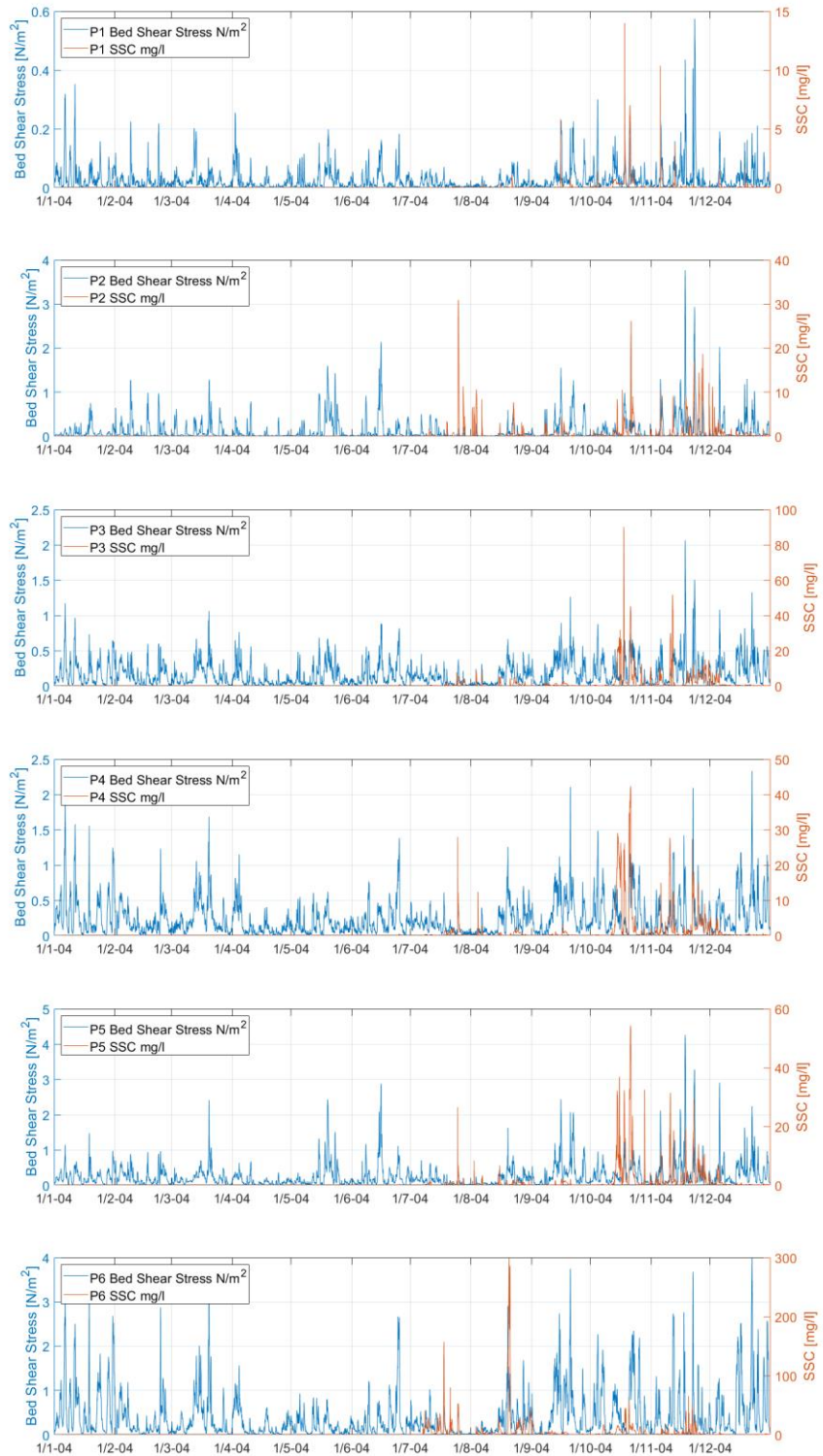
Figur 11.21: Figur der viser nummerering af analysestationer til resuspensionsanalysen.



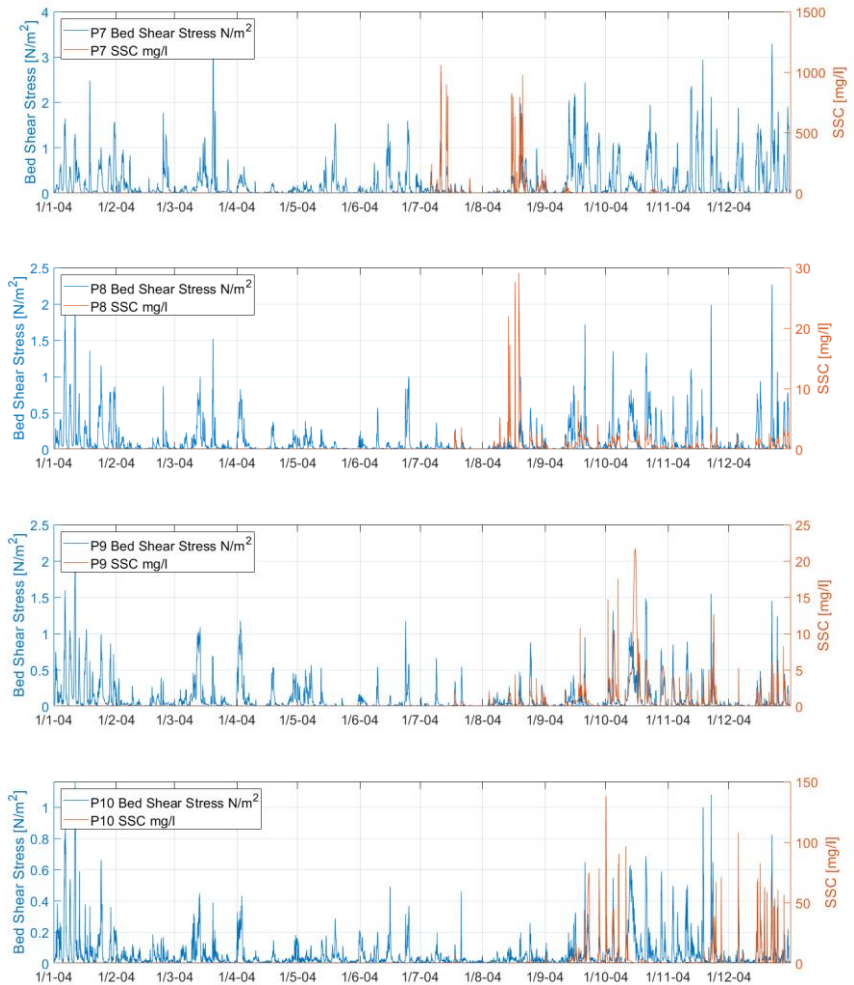
Figur 11.22: Tidsserier af koncentrationsniveauer og bundforskydningsspændinger ved gravearbejde ved Aflandshage,

Rød: Samlet koncentration SSC (mg/l)

Blå: Bundforskydningsspænding (N/m²)



Figur 10.18 (fortsat):



Det ses, at tilvæksten i koncentration pga. gravearbejdet i de fleste tilfælde sker som en periodisk overskridelse, hvor der konstant sker en tilvækst i koncentrationsniveau. Efter gravearbejdets afslutning ses det, at der periodevist sker en stigning i koncentrationen. Denne falder dog sammen med en stigning i bundforskydningspændingen og dermed bølgepåvirkning. Det forventes derfor ikke, at koncentrationen er større end den normalt vil være tæt ved kysten ved kraftig bølgepåvirkning.

For hver station udregnes overskridelsesfraktilerne fra 5% til 95% i anlægsperioden i det øverste lag i vandsøjlen svarende til 9/10 af vanddybden. Altså de koncentrationer i mg/l som netop er overskredet i denne procentdel af tiden på hver station. Disse er vist i Tabel 11.2. Det ses, at koncentrationen på de fleste stationer er under 10 mg/l i 95 % af tiden. Dog er koncentrationen ved position 6 og 7, som ligger ved Amagers sydkyst, højere. Her er koncentrationen under henholdsvis 17,5 og 40,6 mg/l i 95 % af tiden.

Tabel 11.2: Overskridelsesfraktiler i mg/l i anlægsperioden.

pos\%	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.7	3.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5	1.4	6.6
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.9	4.6
5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.9	4.7
6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	0.9	1.8	4.6	17.5
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	1.2	3.2	40.6
8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.8	1.8
9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.8	3.5
10	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.0	12.3

11.11 Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen (Aflandshage)

Der vil ikke være nogen effekter i driftsfasen.

11.12 Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen (Aflandshage)

Der forventes ikke større spild under afvikling.

11.13 Kumulative virkninger (Aflandshage)

Pga. vandringslængden af sedimentfanerne vil der kunne være en kumulativ virkning såfremt de to vindmølleparker anlægges samtidigt. Men det forventes at de anlægges succesivt hvorfor der ikke forventes en effekt med hensyn til suspenderet sediment.

Med hensyn til deposition vil der kunne være en virkning fordi sediment aflejret fra den ene vindmøllepark kan overlæres med sediment fra den anden vindmøllepark senere. Men de sedimenterede mængder væk fra vindmølleparken er så små at denne effekt er ubetydelig.

Såfremt klapplads Nordhavn_B fortsat er i brug vil der kunne være en kumuleret effekt, men dette er forudsat ikke at være tilfældet.

Der kan forventes en kumulativ effekt af gravearbejdet ved Lynetteholm samt klappning af sediment herfra i Køge Bugt.

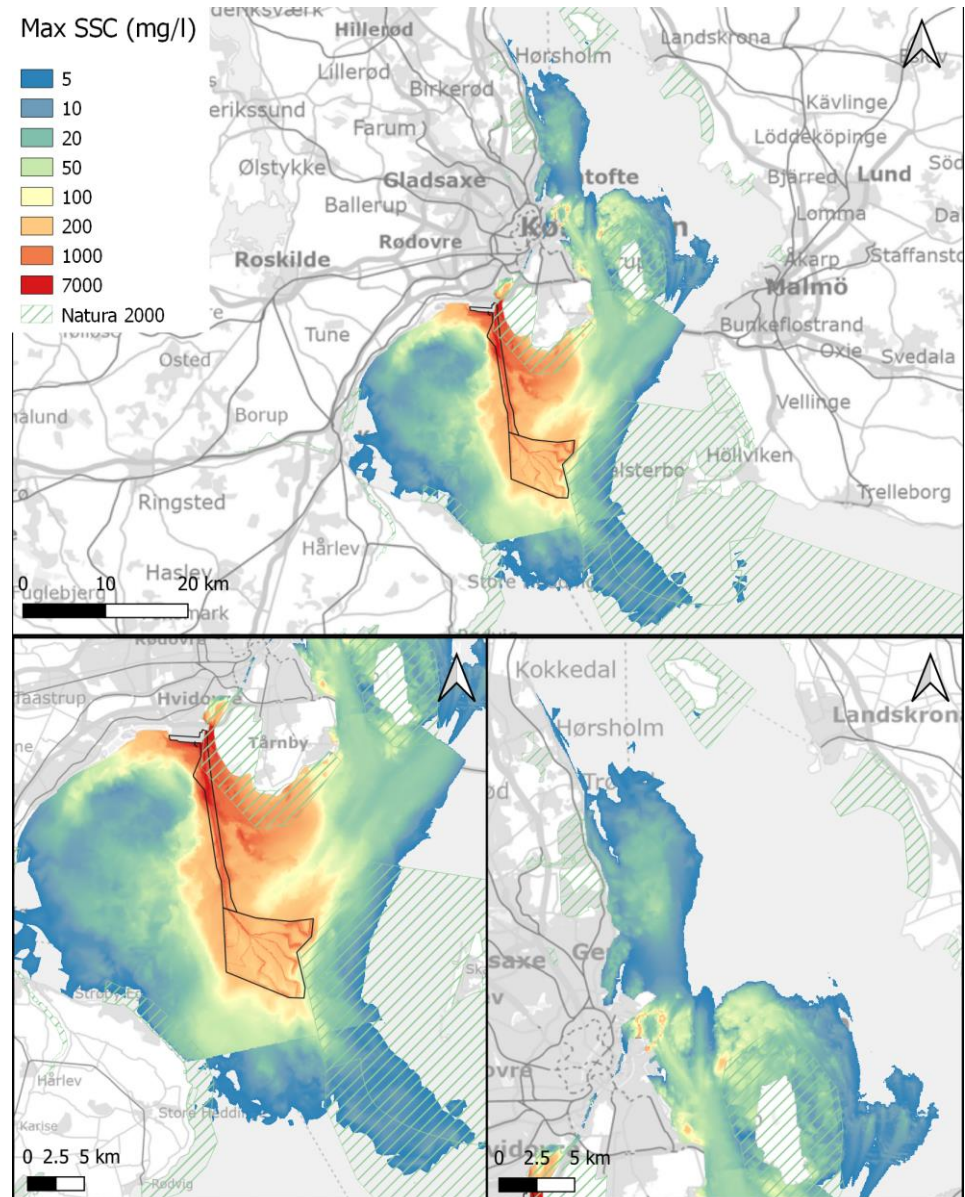
Det er estimeret i miljøkonsekvensvurderingen for Lynetteholm at der skal afgraves ca. 1,7 mio. m³ materiale. Det er desuden antaget at der graves med en konstant kapacitet på 500 m³/time hvilket betyder, at arbejdet udføres over en operativ periode på ca. 5 måneder. Arbejdet forventes dog udført i flere kortere faser.

De følgende afsnit viser den kumulative effekt på sedimentkoncentrationer og sedimentaflejring ved gravearbejde i anlæggelse af Aflandshage og hovedforslag 2 af Lynetteholm.

11.13.1 Koncentrationer (Aflandshage)

Figur 11.23 viser de kumulative maksimale koncentrationer ved Aflandshage og Lynetteholm for Hovedforslag 2. Der forekommer en kumulativ effekt ved Aflandshage hvor der i det meste af området er maksimale koncentrationer på 200 mg/l.

Figur 11.23: Kumulative maksimale koncentrationer ved Aflandshage og Lynetteholm (Hovedforslag 2).

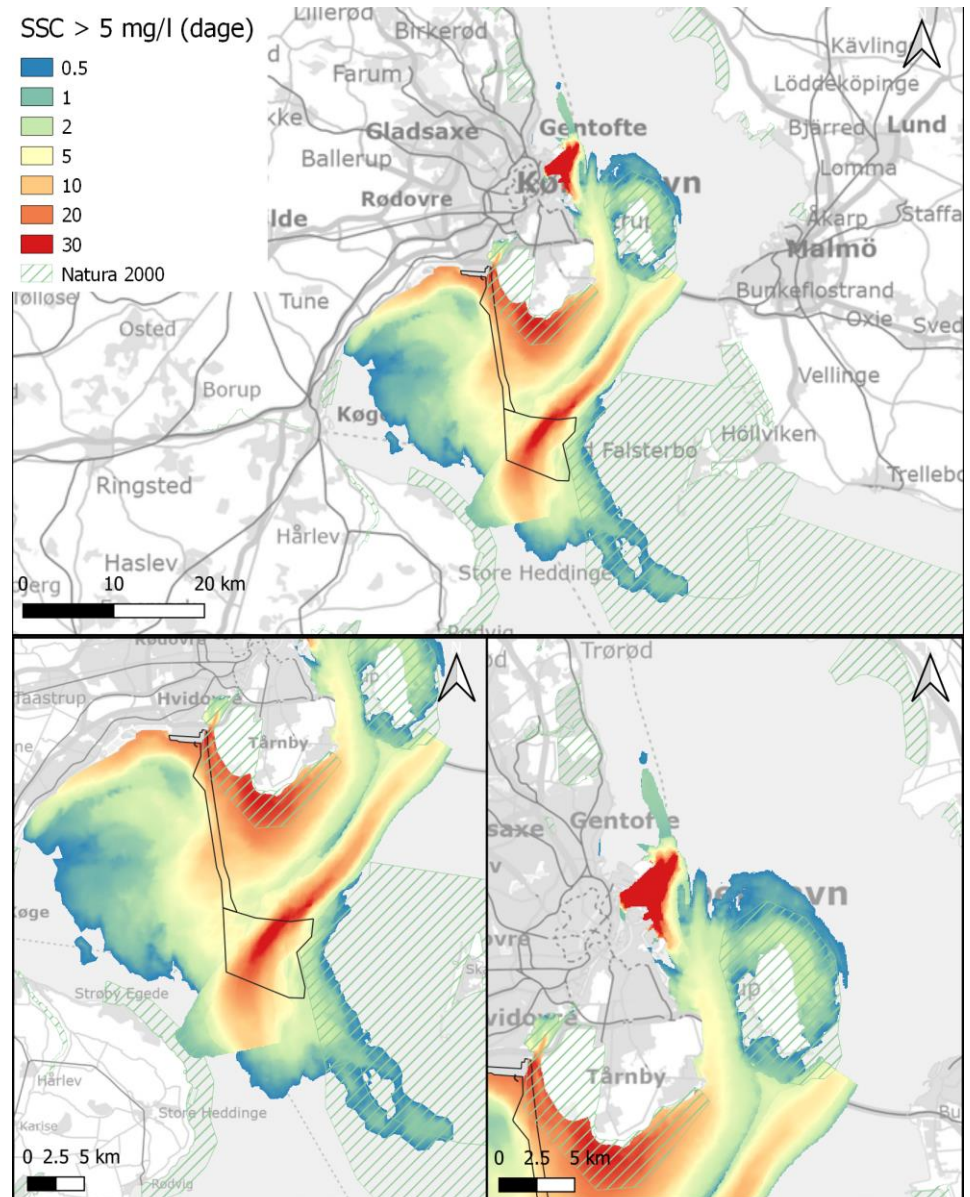


11.13.2 Overskridelseshyppigheder (Aflandshage)

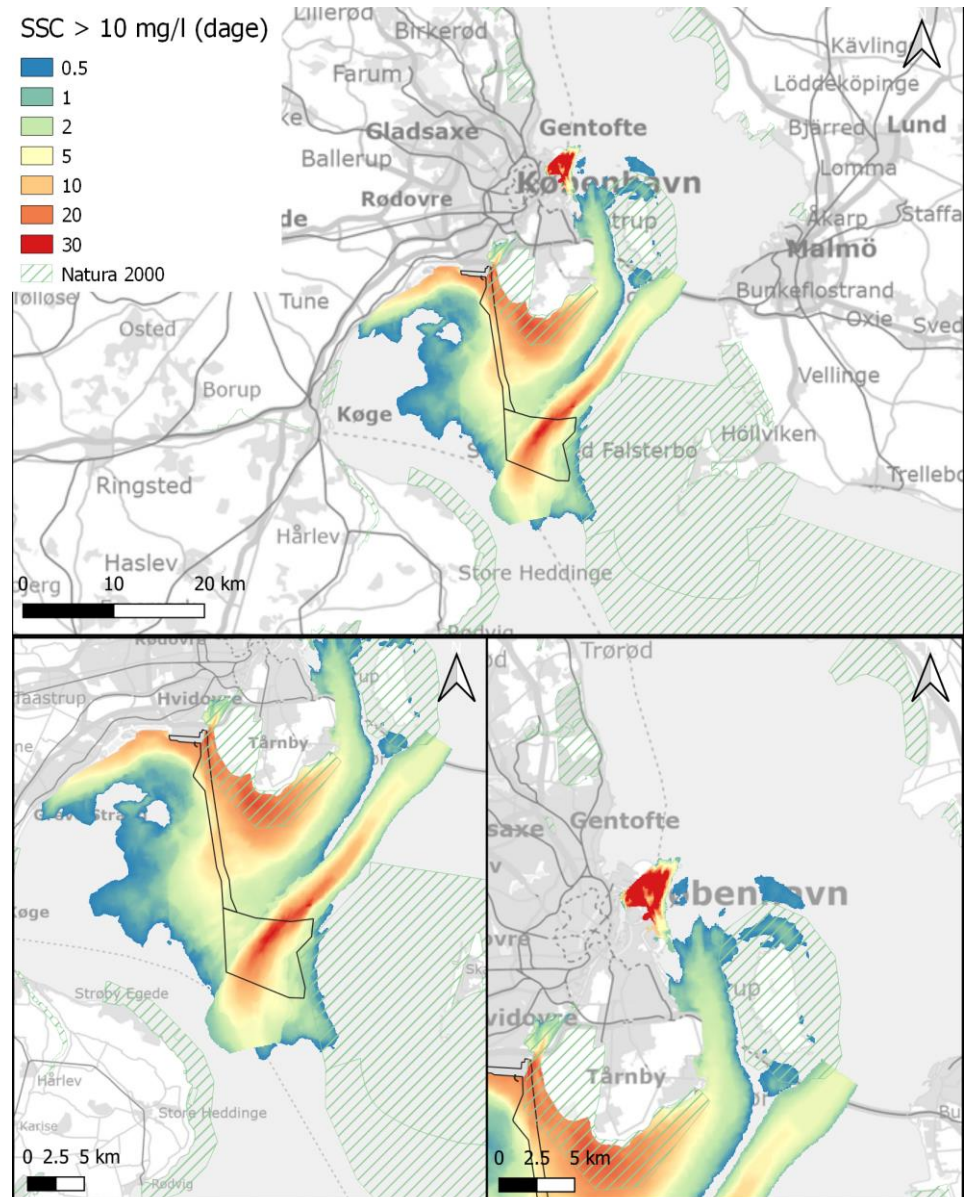
Figur 11.24 viser overskridelseshyppigheden af en sedimentkoncentration på 5 mg/l. Der forekommer en kumulativ effekt omkring Lynetteholm og Aflandshage med områder hvor overskridelseshyppigheden er over 30 dage. I Køge Bugt forekommer der derudover et større område med en overskridelseshyppighed på 10 og 20 dage.

Figur 11.25 viser overskrideshyppigheden af en sedimentkoncentration på 10 mg/l. Sammenlignet med overskrideshyppigheden af 5 mg/l er mønstret ens dog med en lavere udbredelse af en overskrideshyppighed på 30 dage ved både Lynetteholm, Middelgrunden og i Køge Bugt.

Figur 11.24: Overskridelses-
hyppigheder af 5 mg/l ved Af-
landshage og Lynetteholm (Ho-
vedforslag 2).



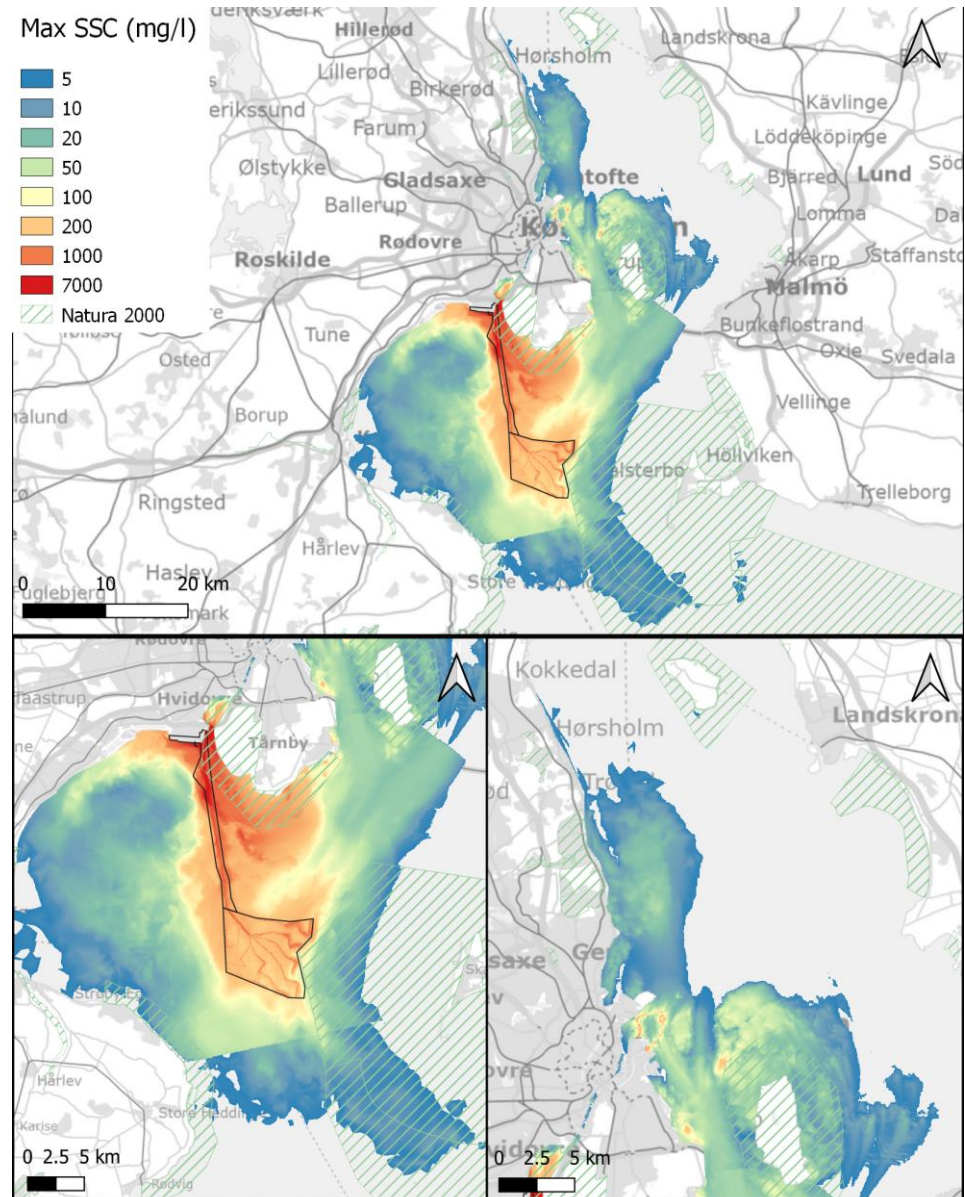
Figur 11.25: Overskridelses-
hyppigheder af 10 mg/l ved Af-
landshage og Lynetteholm (Ho-
vedforslag 2).



11.13.3 Maksimale depositioner (Aflandshage)

Figur 11.26 viser den kumulative maksimale deposition. Der forekommer en kumulativ effekt omkring Lynetteholm og Aflandshage med områder hvor depositionen er over 20 mm.

Figur 11.26: Maksimal deposition ved Aflandshage og Lyngnetteholm (Hovedforslag 2).



11.14 Afværgeforanstaltninger (Aflandshage)

Der vurderes ikke at være behov for afværgeforanstaltninger.

11.15 Eventuelle mangler (Aflandshage)

Ingen.

11.16 Konklusion (Aflandshage)

Spildet ved i forbindelse med Aflandshage er vurderet og der ses et relativt stort påvirkningsområde. Påvirkningen er imidlertid relativt kortvarig de fleste steder. Det ses at der primært deponeres materiale i større mængder over 10 mm meget tæt på vindmølleparken.

For udvalgte stationer er overskridelsesfraktilerne fra 5% til 95% i anlægsperioden udregnet. Altså de koncentrationer i mg/l som netop er overskredet i denne procentdel af tiden på hver station. Disse er vist i Tabel 11.2. Det ses, at koncentrationen på alle stationer i 95% af tiden er under cirka 20 mg/l mens den i 85 % af tiden er under cirka 5 mg/l.

12 Effekter på Kyster

12.1 Eksisterende forhold

På begge sider af Øresund findes kyster som pt. må forventes at være i en eller anden form for dynamisk udvikling. Det betyder ikke, at alle kyster er stabile, men de er generelt inde i en udvikling, som styres af bølger. Det er derfor relevant at betragte de nærmeste kyster med henblik på hvorvidt de styrende kræfter ændrer sig som følge af vindmølleparkerne. Der er identificeret 7 kyster for henholdsvis Aflandshage og 6 for Nordre Flint, som vurderes at kunne blive påvirket af vindmølleparkerne. Disse er vist på Figur 12.1.

Figur 12.1: Kyster som muligvis kan påvirkes af de to vindmølleparker. Gul er mulig påvirkning fra Nordre Flint og rød er mulig påvirkning fra Aflands-hage



For hver af disse positioner er de lokale bølger udenfor brydningszonen beregnet for året 2004. Disse er vist i Figur 11.2 - Figur 11.14, Resultaterne viser at der kun sker mindre ændringer på alle lokaliteter. Dette skal imidlertid suppleres med en lidt mere detaljeret analyse, da selv små ændringer i bølgeenergien kan give ændringer på kysterne. NIRAS har derfor lavet en overordnet beregning af ændringen af bølgehøjder og perioder. Baseret på denne forventes der ikke store ændringer i sediment transporterne. Som yderligere sikkerhed har NIRAS på basis af CERC (Shore protection manual US Army Core of Engineers) beregnet de relative ændringer i de langsgående sediment transport rater. Disse er ligeledes givet i Figur 12.2 - Figur 12.14.

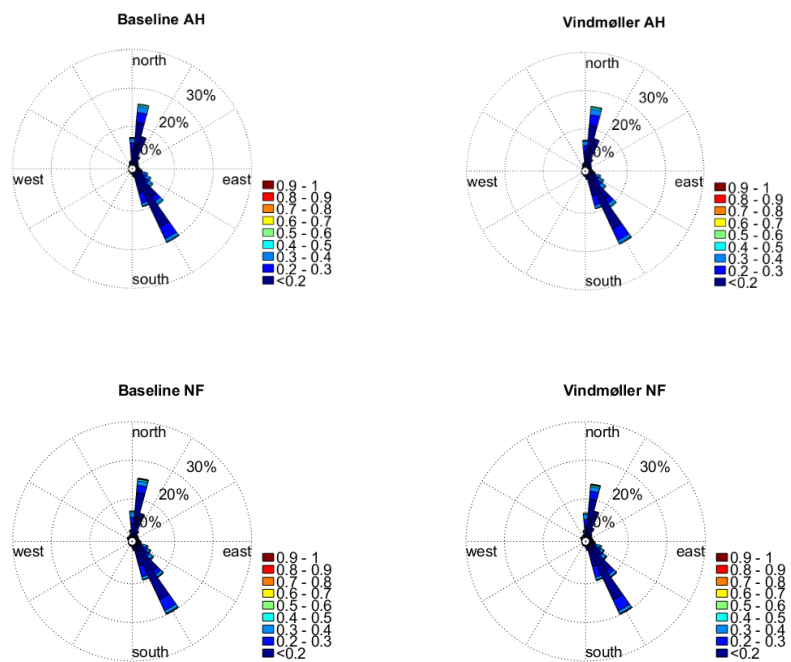
12.2 Vurdering af påvirkningerne i anlægsfasen

Der forventes ikke separate påvirkninger i anlægsfasen.

12.3 Vurdering af påvirkningerne i driftsfasen

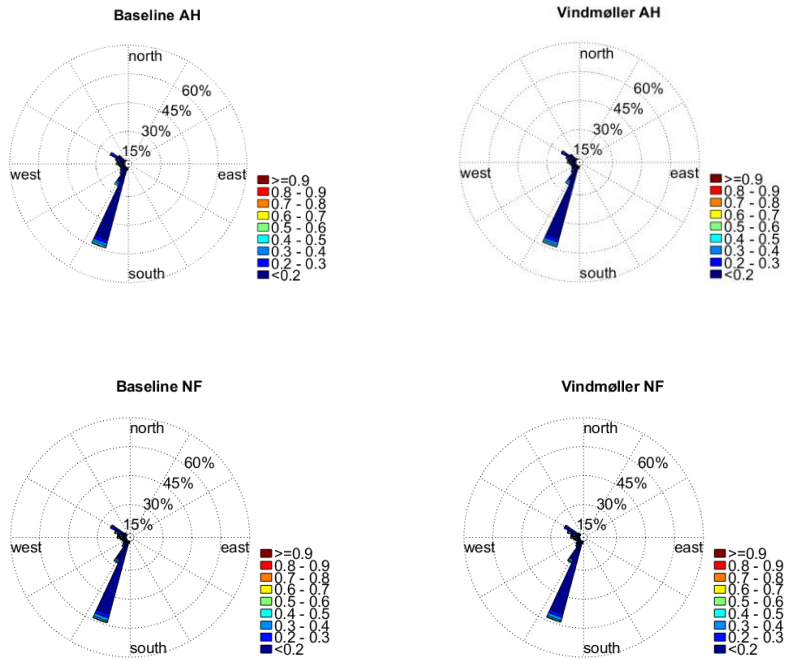
I driftsfasen vurderes ændringen i bølgehøjder, retninger og sedimenttransport efter vindmøllerne er konstrueret. Til beregning af sedimenttransport anvendes CERC formelen. I Figur 12.2 til Figur 12.14 vises bølgeroser med og uden vindmøller samt den tilhørende langsgående sedimenttransport. Til vurdering af følsomheden er det beregnet, hvad sedimenttransporten er, hvis kysten drejer +/-10 grader. Dette er medtaget, da størrelsen på sedimenttransporten er meget følsom overfor kystens orientering.

Figur 12.2: Bølgeroser ved Bellevue. I tabellen er den sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/-10 grader.



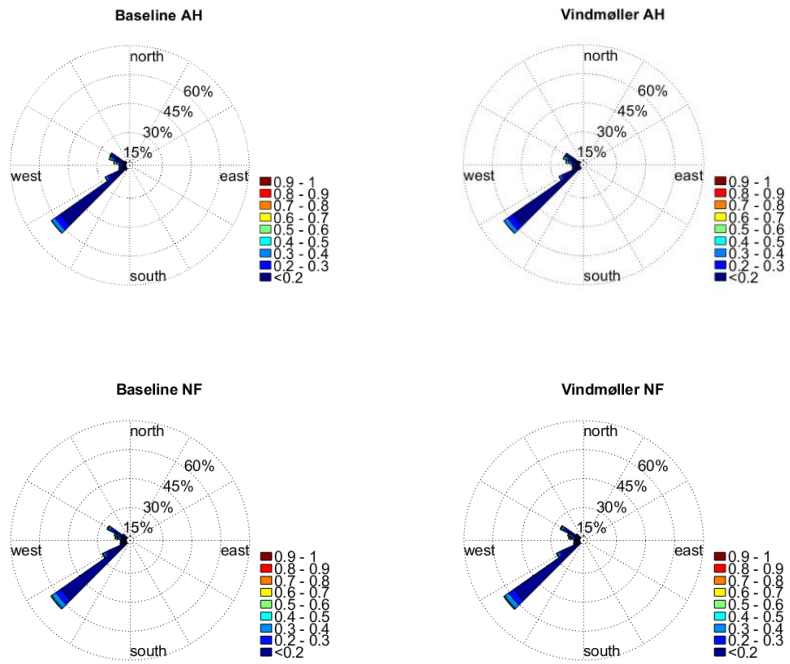
	Baseline (m ³ /m)	Aflandshage (m ³ /m)	Forskel (%) (%)	Baseline (m ³ /m)	Nordre Flint (m ³ /m)	Forskel (%) (%)
	-559	-559	0.02	-522	-517	-1.01
+10 gr.	-346	-346	0.03	-332	-327	-1.57
-10 gr.	-656	-656	0.01	-599	-594	-0.74

Figur 12.3: Bølgeroser ved Salvikken. I tabellen er den sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/- 10 grader.



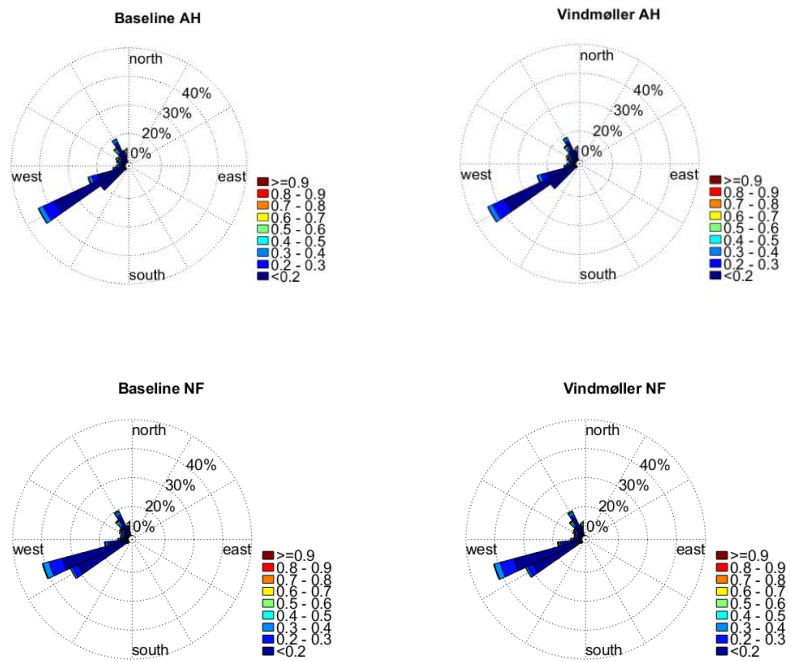
	Baseline (m ³ /m)	Aflandshage (m ³ /m)	Forskel (%)	Baseline (m ³ /m)	Nordre Flint (m ³ /m)	Forskel (%)
	-942	-941	0.05	-1049	-1070	1.99
+10 gr.	-1071	-1070	0.06	-1085	-1084	-0.09
- 10 gr.	-830	-830	0.05	-975	-1010	3.43

Figur 12.4: Bølgeroser ved Lomma. I tabellen er sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/-10 grader.



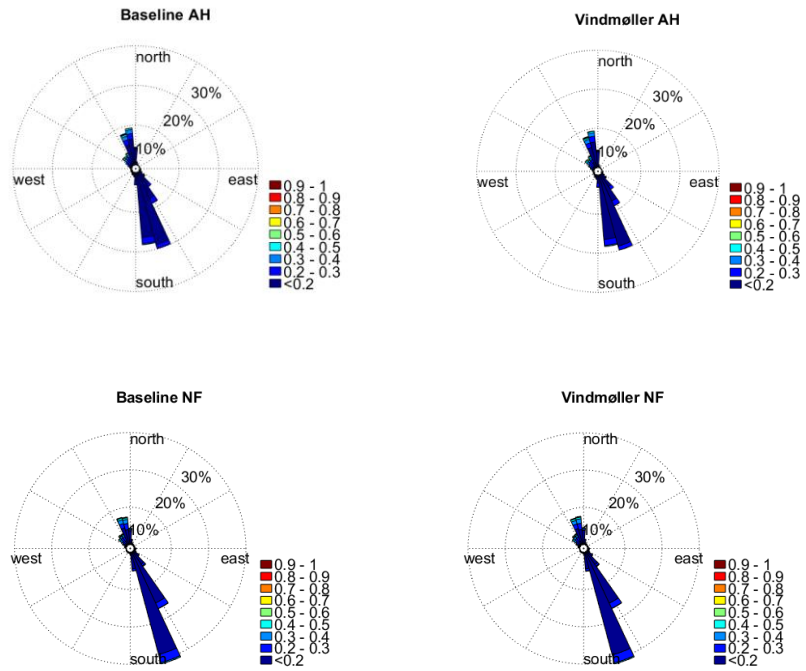
	Baseline (m ³ /m)	Aflandshage (m ³ /m)	Forskel (%)	Baseline (m ³ /m)	Nordre Flint (m ³ /m)	Forskel (%)
	-665	-668	-0.38	-733	-729	-0.45
+10 gr.	-1024	-1026	-0.15	-1097	-1083	-1.24
-10 gr.	-232	-235	-1.37	-306	-313	2.31

Figur 12.5: Bølgeroser ved Västervang. I tabellen er sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/-10 grader.



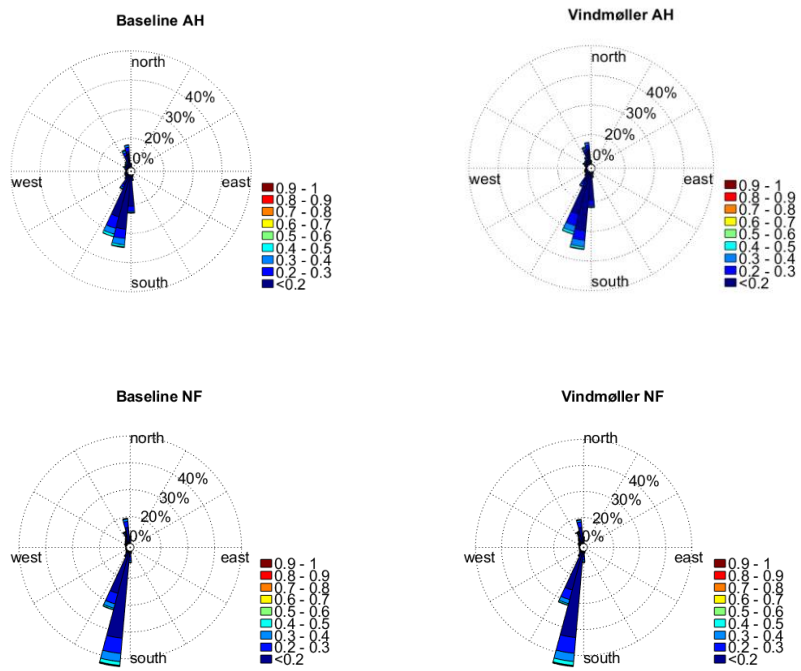
	Baseline (m ³ /m)	Aflandshage (m ³ /m)	Forskel (%)	Baseline (m ³ /m)	Nordre Flint (m ³ /m)	Forskel (%)
	911	907	0.50	953	927	-2.77
+10 gr.	583	576	1.10	568	578	1.79
-10 gr.	1220	1219	0.13	1330	1275	-4.33

Figur 12.6: Bølgeroser ved Saltholm Nord. I tabellen er sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/- 10 grader.



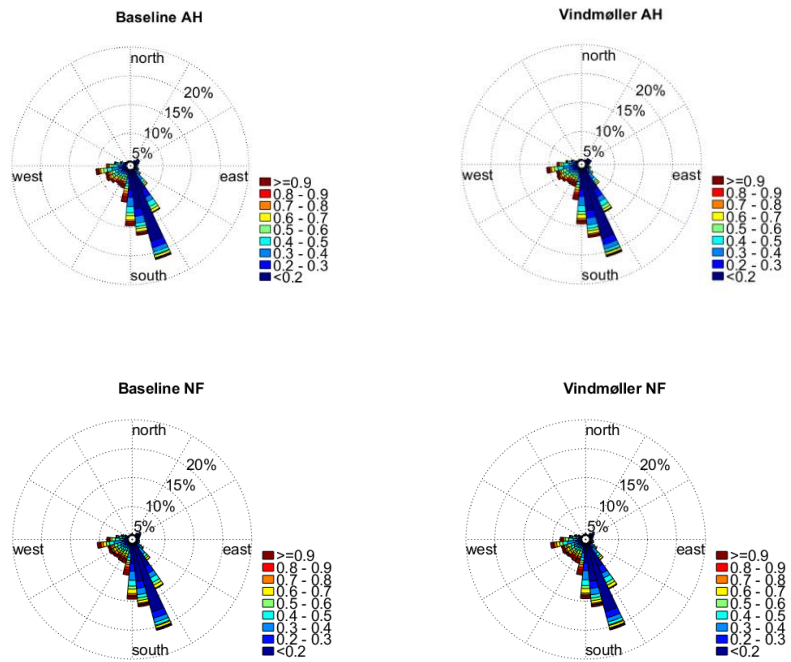
	Baseline (m ³ /m)	Aflandshage (m ³ /m)	Forskel (%)	Baseline (m ³ /m)	Nordre Flint (m ³ /m)	Forskel (%)
	-504	-504	0.02	-445	-445	-0.08
+10 gr.	-426	-426	0.01	-426	-427	0.36
-10 gr.	-688	-688	0.02	-598	-597	-0.05

Figur 12.7: Bølgeroser ved Saltholm Syd. I tabellen er sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/- 10 grader.



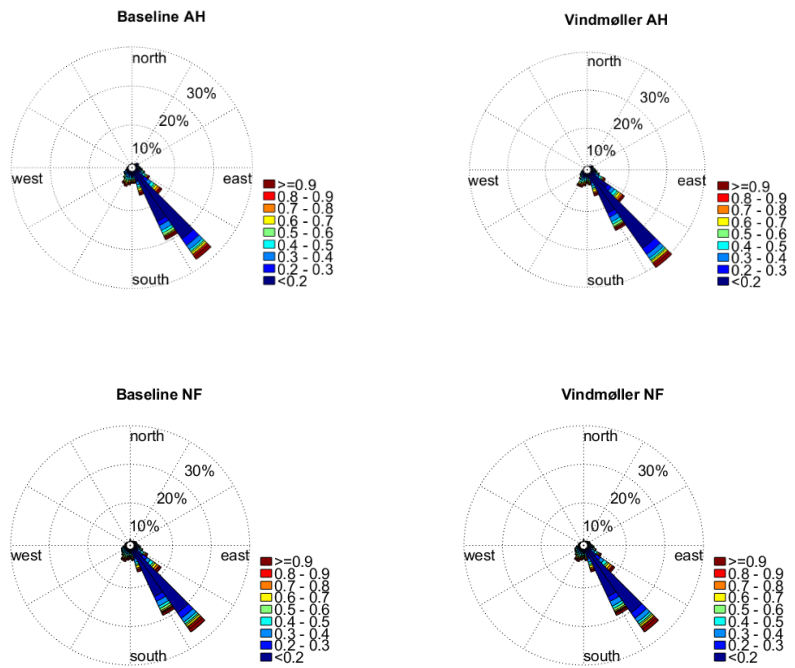
	Baseline (m³/m)	Aflandshage (m³/m)	Forskel (%) (%)	Baseline (m³/m)	Nordre Flint (m³/m)	Forskel (%) (%)
	897	893	0.46	1078	1101	2.11
+10 gr.	1081	1078	0.30	1289	1326	2.82
- 10 gr.	515	511	0.79	638	657	2.94

Figur 12.8: Bølgeroser ved Dragør/Aflandshage. I tabellen er sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/- 10 grader.



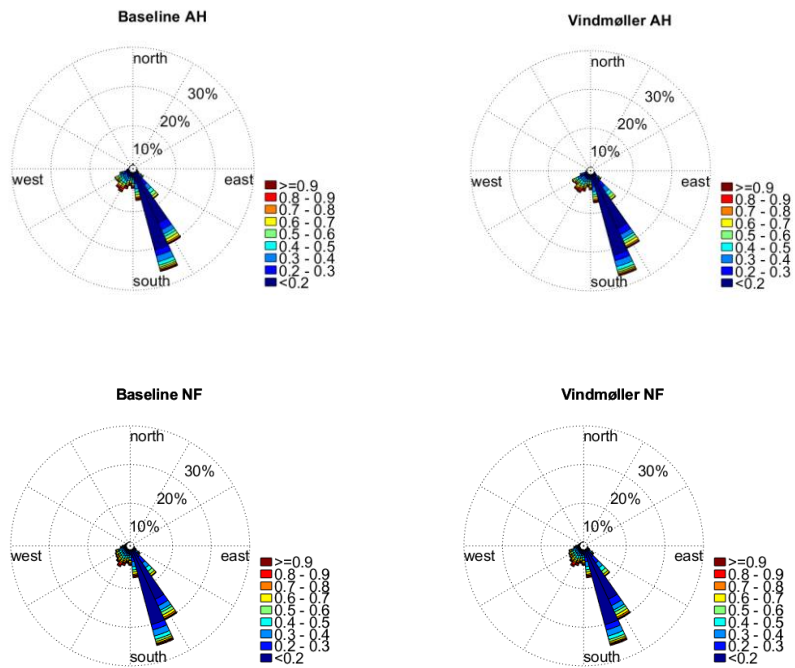
	Baseline (m ³ /m)	Aflandshage (m ³ /m)	Forskel (%) (%)	Baseline (m ³ /m)	Nordre Flint (m ³ /m)	Forskel (%) (%)
	-8911	-8536	4.21	-9144	-9149	0.01
+10 gr.	-10430	-9989	4.22	-10669	-10663	0.00
-10 gr.	-6931	-6671	3.75	-7166	-7178	0.02

Figur 12.9: Bølgeroser ved Mose Strand. I tabellen er sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/- 10 grader.



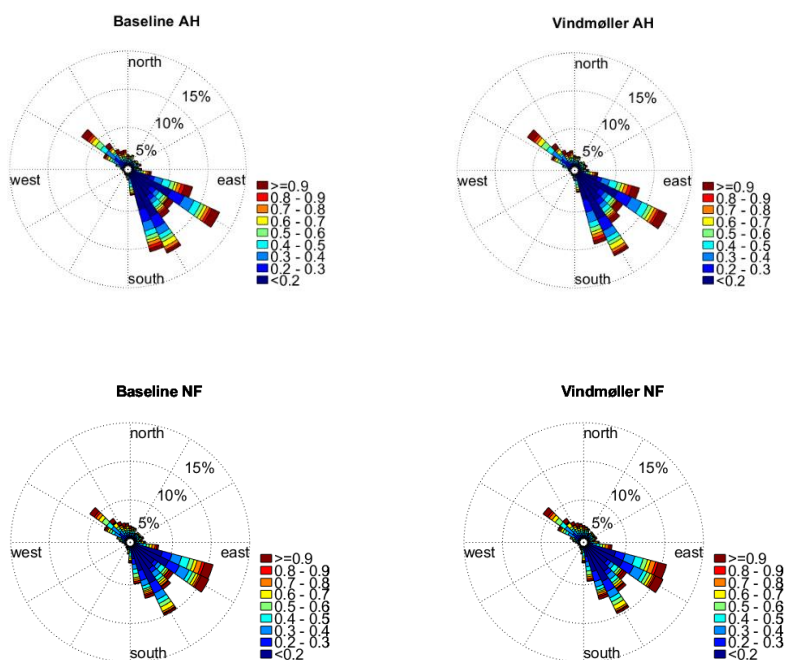
	Baseline (m ³ /m)	Aflandshage (m ³ /m)	Forskel (%) (%)	Baseline (m ³ /m)	Nordre Flint (m ³ /m)	Forskel (%) (%)
	-2858	-2881	-0.80	-2894	-2888	-0.23
+10 gr.	-5250	-5227	0.44	-5336	-5328	-0.15
-10 gr.	-243	-298	-22.88	-285	-279	-1.92

Figur 12.10: Bølgeroser ved Vallensbæk Strand. I tabellen er sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/- 10 grader.



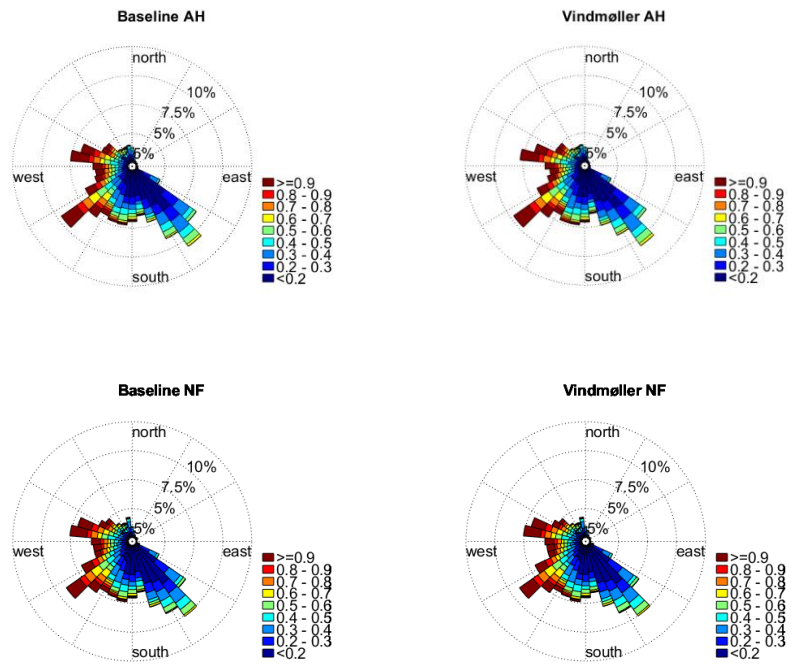
	Baseline (m ³ /m)	Aflandshage (m ³ /m)	Forskel (%)	Baseline (m ³ /m)	Nordre Flint (m ³ /m)	Forskel (%)
	-5705	-5667	0.66	-5643	-5641	-0.05
+10 gr.	-6849	-6782	0.98	-6877	-6875	-0.04
-10 gr.	-4059	-4066	-0.17	-3953	-3951	-0.04

Figur 12.11: Bølgeroser ved Præsteskov. I tabellen er sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/- 10 grader.



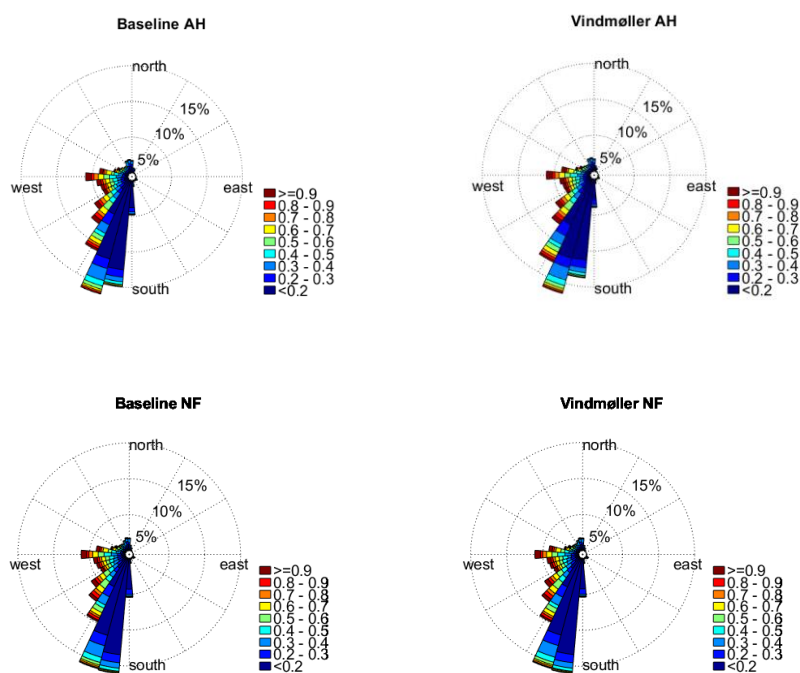
	Baseline (m ³ /m)	Aflandshage (m ³ /m)	Forskel (%)	Baseline (m ³ /m)	Nordre Flint (m ³ /m)	Forskel (%)
	-6732	-6646	1.28	-6274	-6273	-0.02
+10 gr.	-5249	-5159	1.71	-4643	-4654	0.24
- 10 gr.	-8387	-8332	0.65	-7956	-7942	-0.18

Figur 12.12: Bølgeroser ved Falsterbo Syd. I tabellen er sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/- 10 grader.



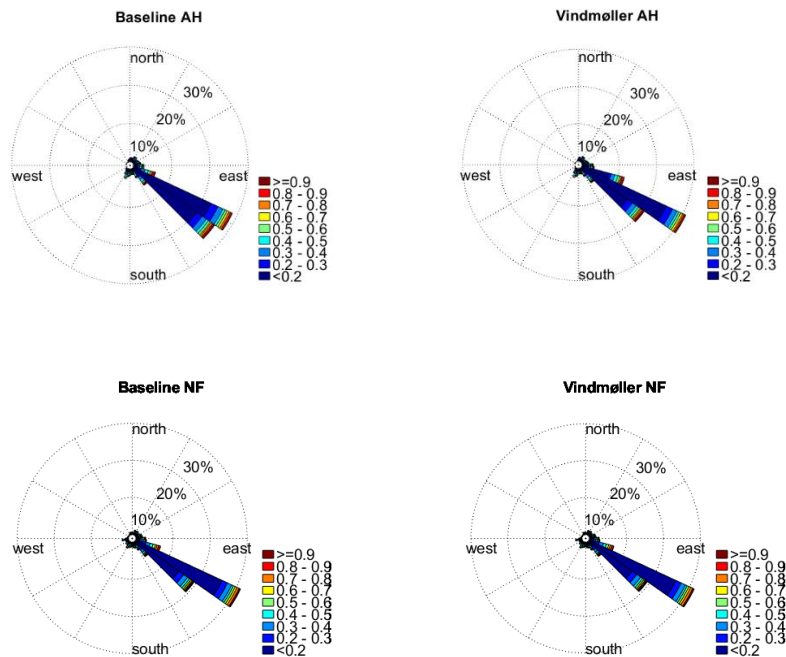
	Baseline (m ³ /m)	Aflandshage (m ³ /m)	Forskel (%) (%)	Baseline (m ³ /m)	Nordre Flint (m ³ /m)	Forskel (%) (%)
	8563	8658	-1.11	8130	8114	-0.19
+10 gr.	5353	5517	-3.06	4849	4834	-0.31
- 10 gr.	11188	11171	0.15	10993	10970	-0.21

Figur 12.13: Bølgeroser ved Falsterbo Nord. I tabellen er sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/- 10 grader.



	Baseline (m ³ /m)	Aflandshage (m ³ /m)	Forskel (%)	Baseline (m ³ /m)	Nordre Flint (m ³ /m)	Forskel (%)
	8875	8762	1.28	8598	8599	0.01
+10 gr.	8737	8654	0.94	8383	8382	-0.02
- 10 gr.	8262	8130	1.59	8061	8061	0.00

Figur 12.14: Bølgeroser ved Ølsemagle Strand. I tabellen er sedimenttransportkapaciteten angivet. Øverst for den valgte kystorientering og nederst hvor vinklen varierer +/-10 grader.



	Baseline	Aflandshage	Forskel (%)	Baseline	Nordre Flint	Forskel (%)
	(m ³ /m)	(m ³ /m)	(%)	(m ³ /m)	(m ³ /m)	(%)
	-3250	-3224	0.81	-3040	-3034	-0.21
+10 gr.	-4057	-4024	0.82	-3873	-3869	-0.10
-10 gr.	-1958	-1944	0.70	-1702	-1694	-0.47

Helt generelt påvirker vindmøllerne ved Aflandshage ikke strandene nord for Øresundsbroen ligesom vindmøllerne ved Nordre Flint ikke påvirker strandene syd for Øresundsbroen.

Det ses endvidere, at Nordre Flint har en relativt lille effekt på sedimenttransporten på den danske side. Kun på den sydlige del af Saltholm ses en mindre effekt. På den svenske side ses lidt større effekter på op til 3-5%. Men generelt er sedimenttransporterne små, og små ændringer af små sedimenttransportrater forventes ikke at give mærkbare ændringer på kysterne.

Syd for Øresundsbroen ses ligeledes relativt små årlige sedimenttransportrater. Ligeledes ses små ændringer under 2%. Kun ved Dragør/Aflandshage ses en lidt større effekt, som dog muligvis kan skyldes modelusikkerheder på det lave vand. På alle stationer ses relativt små sedimenttransportrater, hvor disse små ændringer kun forventes at give små ubetydelige påvirkninger langs kysterne.

12.4 Vurdering af påvirkningerne i afviklingsfasen

Ingen.

12.5 Kumulative virkninger

De to vindmølleparker ligger langt fra hinanden. Bølgedæmpningen fra den ene kan således ikke ramme den anden. Der forventes derfor ingen kumulerede virkninger.

Der er heller ingen andre kendte projekter som kan give en kumuleret effekt.

12.6 Afværgeforanstaltninger

Der vurderes ikke at være behov for afværgeforanstaltninger.

12.7 Eventuelle mangler

Ingen

12.8 Konklusion (Kyster)

Beregninger af lokale bølger udenfor brydningszonen og sedimenttransporten langs kysten viser, at der kun sker små ændringer i bølgehøjde og transportraten. Da sedimenttransporten generelt er lille vil anlæg af vindmølleparkerne ikke give anledning til mærkbare ændringer langs strandene.

13 Konklusion (Samlet)

Der er udført en undersøgelse af sedimentet i de to forundersøgelingsområder, og opstillet et modelkompleks, som kan vurdere på vindmøllernes effekt på bølger, strøm, morfologi og sediment spild. Modellen er baseret på Mike systemet fra DHI. Hver enkelt af disse effekter er vurderet separat i ovenstående.

Mht. strøm vil vindmølleparkernes påvirkning under normalforhold være meget lokal og er i udbredelse begrænset til mindre end 500 m omkring vindmøllerne med en forøgelse i hastigheden på op til 1 cm/s. Under mere ekstreme forhold stiger forøgelse til omkring 2 cm/s for et område på ca. 1 km omkring vindmøllerne.

Mht. bølger ved Aflandshage er det, således at under middelforhold vil bølgerne indenfor vindmølleområdet kunne reduceres med op til 2% faldende til under 1% i afstand af ca. 5 km fra vindmølleparken, Figur 8.3. For de større bølger er reduktionen af bølgehøjden i vindmølleparken på op til ca. 5% faldende til ca. 3% ved Aflandshage, Figur 8.4, svarende til hhv. 12 cm og 4 cm for den betragtede situation.

Mht. bølger ved Nordre Flint er det, således at placeringen af Nordre Flint gør, at den er beskyttet mod direkte bølger fra både Østersøen og Kattegat. I gennemsnit er bølgehøjden mindre en $0,1 mH_{m0}$ og bliver sjældent over $1 mH_{m0}$, se Figur 8.7. Lævirkningen er under normale forhold i størrelsesorden 5% indenfor vindmølleområdet samt op til ca. 1 km nordøst for. Under mere ekstreme forhold er reduktionen i vindmølleområdet stadig ca. 5%, hvilket også gør sig gældende i for et område ca. 2 km til 5 km øst sydøst, i retning mod Malmø, samt for et område på vestsiden af vindmølleparken over imod Saltholm, se Figur 8.8.

Mht. vandskifte er det fundet at forskellen i ændret vandgennemstrømning er af en størrelsesorden mange gange mindre end den naturlige variation og vurderes at være neglige.

For erosion blev det vist, at der ikke forventes hverken en lokal eller global havbundssænkning.

Mht. spildet ved Aflandshage ses et relativt stort påvirkningsområde. Påvirkningen er imidlertid relativt kortvarig de fleste steder. Det ses, at der primært deponeres materiale i større mængder meget tæt på vindmølleparken. For udvalgte stationer er overskridelsesfraktilerne fra 5% til 95% i anlægsperioden udregnet. Altså de koncentrationer i mg/l som netop er overskredet i denne procentdel af tiden på hver station. Disse er vist i Tabel 11.2. Det ses, at koncentrationen på alle stationer i 95% af tiden er under cirka 20 mg/l mens den i 85 % af tiden er under cirka 5 mg/l.

Mht. spildet ved Nordre Flint ses også et relativt stort påvirkningsområde. Påvirkningen er imidlertid relativt kortvarig de fleste steder. Det ses, at der primært deponeres materiale i større mængder meget tæt på vindmølleparken.

Det ses, at koncentrationen på alle stationer i 95% af tiden er under 15 mg/l mens den i 85 % af tiden er under cirka 2 mg/l.

Mht indvirkning på kyster er bølgeændringer og ændringer i den langsgående sedimenttransport beregnet. På grundlag af dette vurderes det at der kun er små ændringer som ikke giver anledning til mærkbare ændringer langs strandene.

14 Referencer

- Brøker, I., Johnsen, J., Lintrup, M., & Jensen, A. (1994). The spreading of dredging spoils during construction of the Denmark-Sweden link. *Coastal Engineering*, 2958-2971.
- Christensen, E., Kristensen, S., & Deigaard, R. (2014). Impact of an Offshore Wind Farm on Wave Conditions and Shoreline Development. *Coastal Engineering Proceedings*.
- CIRIA C547. (2001). Scoping the assessment of sediment plumes from dredging.
- DHI. (2020). *Aflandshage OWF, Metocean Study - Part B*. HOFOR.
- DHI/IOW Consortium. (2013). *Fehmern Fixed Link. Marine Biology Services (FEMA). Hydrographic Services (FEHY). Marine Water and Fauna and Flora Impact Assessment. Water Quality and Plankton of the Fehmarnbelt Area*.
- DHI/IOW Consortium. (2013). *Sediment Spill during Construction of the Fehmarnbelt Fixed Link*. Fehmarnbelt Fixed Link Hydrographic Services (FEHU) / co DHI.
- NIRAS. (2020). Offshore Technical Project Description: Nordre Flint Windfarm. HOFOR VIND A/S.
- NIRAS. (2021). Offshore and Onshore Technical Project Description: Aflandshage Windfarm. HOFOR Vind A/S.

Sumer, B.M. and Fredsøe, J., 2002. *The Mechanics of Scour in the Marine Environment*. World Scientific Publishing.

Water Consult. (1995). *Kastrup Halvø Jordindbygning, erfaring vedrørende spildovervågning*.

Sprogø vindmøllepark. *Hydrografiske forhold og vandkvalitet. Bidrag til VVM redegørelsen*. DHI Juli 2008

Scoping the assessment of sediment plumes from dredging. CIRIA C547. London 2000.

Shore Protection Manual, 1984. *CERC, Waterways Experiment Station, Vicksburg, USA*

Appendix 1: Kornkurver

Appendix 2: Bølger ved Nordre Flint fra 1995 - 2019

Appendix 3: Bølger ved Aflandshage fra 1995 -til 2019