



Omø South Nearshore A/S

Omø Syd Havmøllepark

TEKNISK BAGGRUNDSRAPPORT – KLIMA OG LUFTKVALITET

Omø South Nearshore A/S

Omø Syd Havmøllepark

TEKNISK BAGGRUNDSRAPPORT – KLIMA OG LUFTKVALITET

Rekvirent	Omø South Nearshore
Rådgiver	Orbicon A/S Ringstedvej 20 4000 Roskilde
Projektnummer	3621400123
Projektleder	Kristian Nehring Madsen og Birgitte Nielsen
Kvalitetssikring	Martin Macnaughton
Revisionsnr.	02
Godkendt af	Kristian Nehring Madsen
Udgivet	December 2016

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. INDLEDNING	6
2. METODE	7
2.1. Projektområdet Omø Syd	7
2.2. Anlægsfasen på havet	8
2.3. Anlægsfasen på land	11
2.3.1 Støvemission	12
2.4. Driftsfasen på havet	12
2.4.1 CO ₂ -besparelse	13
2.5. Driftsfasen på land	13
2.6. Demonteringsfasen	13
3. EKSISTERENDE FORHOLD	14
3.1.1 CO ₂ -udledning	14
3.1.2 Luftkvalitet	14
4. VURDERING AF VIRKNINGER PÅ HAVET	17
4.1. Anlægsfasen	17
4.1.1 Omø Syd	17
4.1.2 Klimaeffekt	19
4.1.3 Luftkvalitet	20
4.2. Driftsfasen	20
4.2.1 Klimaeffekt	21
4.2.2 Luftkvalitet	22
4.3. Demonteringsfasen	22
4.3.1 Klimaeffekt	23
4.3.2 Luftkvalitet	23
5. VURDERING AF VIRKNINGER PÅ LAND	24
5.1. Anlægsfasen	24
5.2. Driftsfasen	26
5.3. Demonteringsfasen	26

6. KUMULATIVE EFFEKTER.....	26
7. SAMLET VURDERING.....	27
7.1. Luftkvalitet.....	27
7.2. Klima.....	27
8. REFERENCER	29

BILAGSFORTEGNELSE

1. Bilag

1. INDLEDNING

Denne tekniske baggrundsrapport beskriver og vurderer klima og emissioner i forbindelse med havmølleprojektet Omø Syd. Projektets klimaeffekt vurderes på baggrund af CO₂-balancen og projektets indvirkning på luftkvaliteten vurderes ved emissionen af nitrogenoxider (NO_x), svovldioxid (SO₂) og partikler (PM₁₀). Fremstillingen af materialer til selve vindmøllerne indgår i vurderingen af klimapåvirkningen, da der udledes betydelige mængder af CO₂ i denne fase, afhængig af de materialer der anvendes. Derudover indgår anlægs-, drifts-, og demonteringsfasen i vurderingen af klimapåvirkningen, hvor driftsfasen medfører en udslagsgivende positiv klimagevinst, da der er tale om produktion fra vedvarende energikilder. Påvirkningen af den lokale luftkvalitet vurderes ud fra fartøjer og maskiner, der anvendes i anlægs-, drifts-, og demonteringsfasen.

Omø syd

Vindmølle anlægget bliver potentielt på mellem 240 MW og 320 MW. Generatorstørrelsen af vindmøller er endnu ikke fastlagt, men kommer til at ligge mellem 3 og 8 MW, hvilket gør, at antallet af turbiner forventes at kunne variere mellem 40-80. Endvidere forventes det, at møllerne etableres på enten monopæle eller gravitationsfundamenter. Der er endnu ikke taget stilling til om monopæle skal etableres med Transition Piece (TP), hvorfor det fremadrettet er antaget, at monopæle etableres uden disse. Der er fastsat to worst case scenarier for vindmølleparken, se Tabel 1. Disse to scenarier behandles i det følgende.

Tabel 1. Muligheder for turbine antal og type ved Omø Syd vindmøllepark

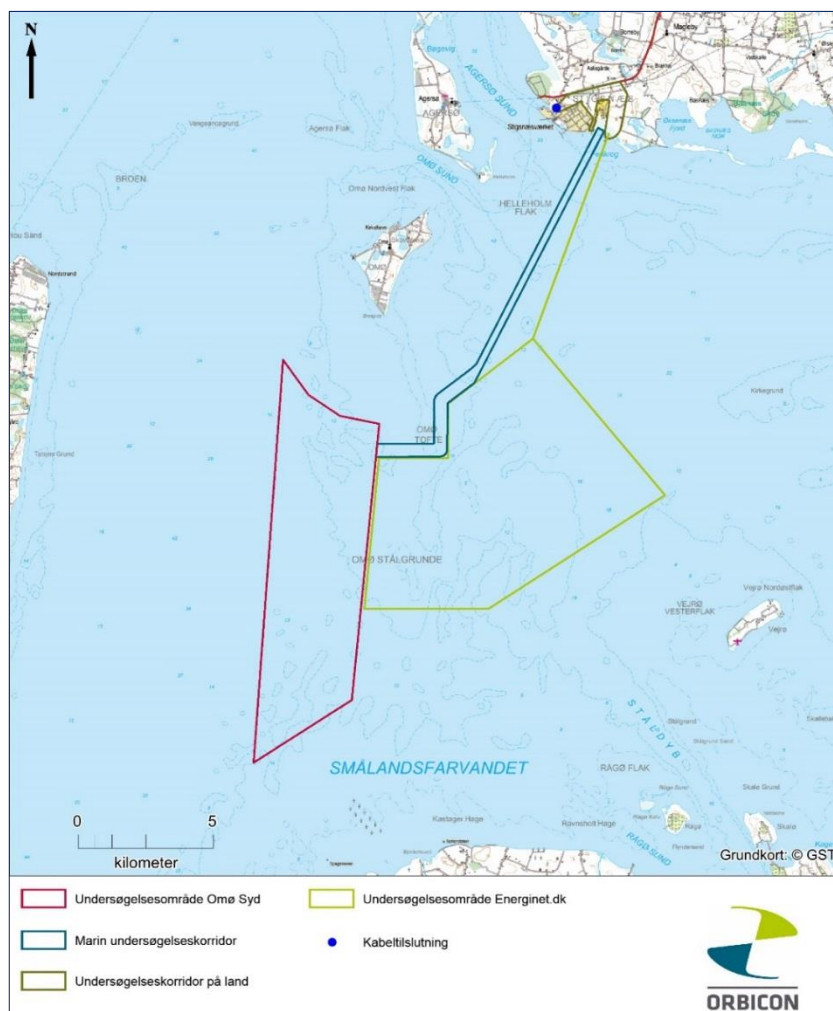
Turbine størrelse (MW)	Antal af turbiner	Energi, anlæg (MW)
3	80	240
8	40	320

2. METODE

2.1. Projektområdet Omø Syd

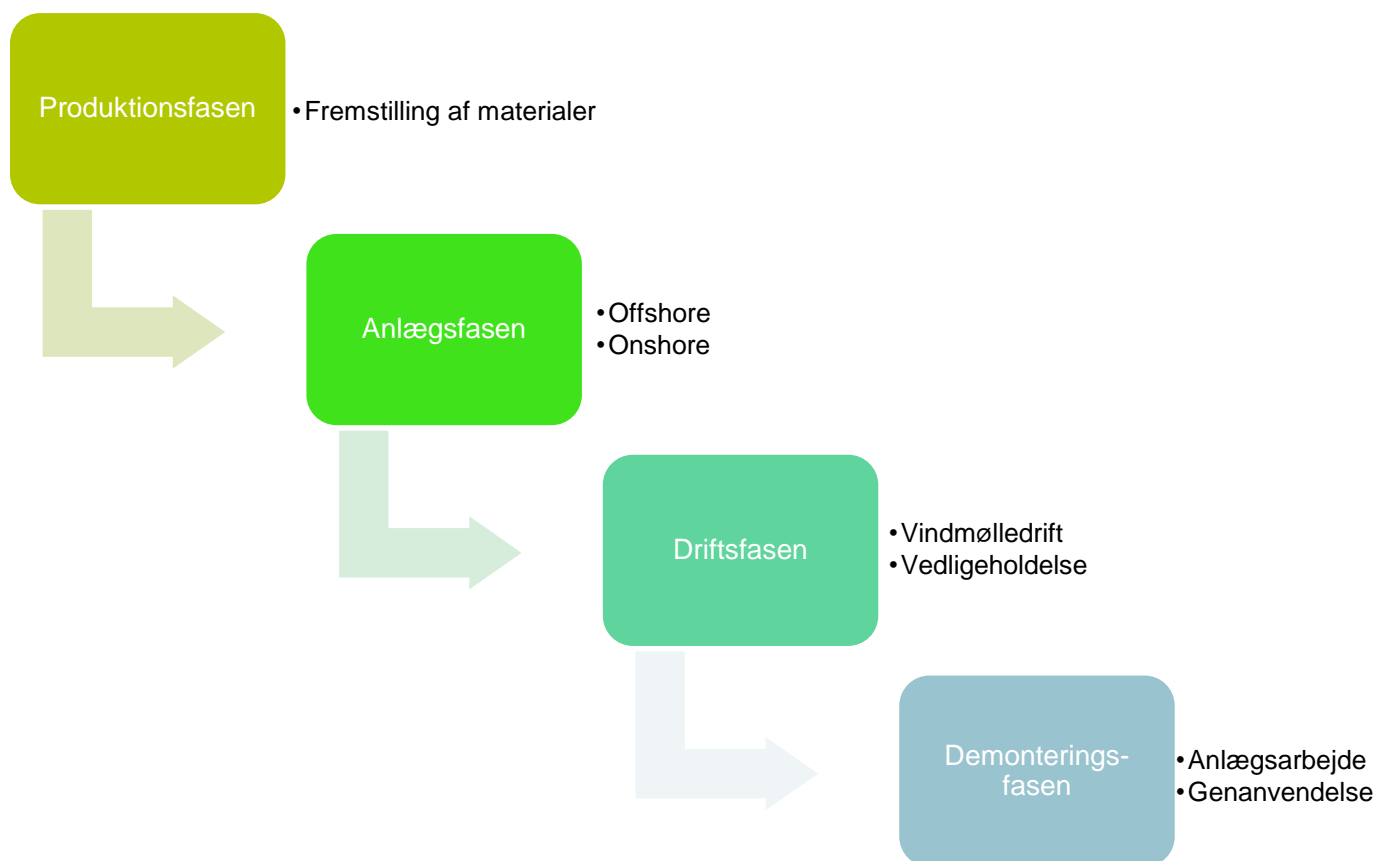
Projektområdet ligger syd for Omø ved Smålandsfarvandet. Området dækker et areal på ca. 44 km² foruden en ca. 17 km lang kabelkorridor fra vindmølleparken til kysten ved Stignæsværket. De interne kabler mellem møllerne kommer til at være 30 kV kabler og antages at bestå af aluminium.

Landføringskabler kommer til at være op til 6 stk. 66 kV med en tykkelse på 100 og 160 mm. Lederne i kablet er af aluminium og på 3*2.000 mm². Kabler på land kommer til at være de samme som ilandføringskablerne. Til at beskytte landkablerne bliver der brugt sand. Der anvendes ca. 500 m³ sand pr. tromlelængde, det vil sige pr. ca. 1.450 m kabel. Afstanden på land kommer til at være 4,5-5 km og strækker fra kysten til Stignæs. I Figur 1 ses oversigtskort over projektområdet.



Figur 1 Oversigt over projektområdet Omø Syd

Den samlede effekt på klima og luftkvalitet af projektet Omø Syd, er i det følgende vurderet ud fra faserne i figur 2.



Figur 2 Overblik over de enkelte faser, som er inddraget i vurderingen af Omø Syds påvirkning af klima og luftkvalitet

2.2. Anlægsfasen på havet

Vindmøller, fundamenter og kabler

Ved produktion af vindmøllerne vil der være en CO₂-udledning relateret til fremstilling af de materialer, der anvendes til delkomponenterne. I Tabel 2 er angivet de omregningsfaktorer som anvendes i beregning af den konkrete CO₂-udledning ud fra kendte masser af de enkelte materialer.

Tabel 2. Emissionsfaktorer i CO₂ kg/ton for materialer (Kriegers Flak, 2014)

Materiale	CO ₂ kg/ton
Beton	1.040
Stål	1.333
Støbejern	1.352
Kobber	1.731
Aluminium	6.703
Glasfiber	7.687
Jord	24,0
Sand	2,3
Sten (brugt til grus)	79,0*
Sprængte sten (brugt til erosionsbeskyttelse)	5,0*
Glas	910*

*Emissionsfaktorer fra United Kingdom Agency (2014).

Masse og type af materialer der forventes anvendt ved de forskellige vindmøller er præsenteret i Tabel 3.

Tabel 3. Massen af de forskellige komponenter til de forskellige turbine størrelser (Kriegers Flak, 2014).

Turbine komponent	Materiale	3MW	8MW
Nacelle	GRP (glasfiber)	125,4 ton	290 ton*
Nav	Støbejern	38,5 ton*	100 ton*
Mølletårn	Stål	150 ton	340 ton
Blade	GRP	10 ton/blad*	33 ton/blad

*Data i referencen er angivet for den samlede masse af stål og glasfiber for de pågældende komponenter. Derfor er massen for de respektive materialer til den enkelte komponent estimeret ud fra et skøn af deres fordeling.

Masse og type af materialer anvendt ved de to forskellige typer fundamenter er angivet i Tabel 4.

Tabel 4. Vægt/volumen af de forskellige komponenter til de to forskellige typer fundamenter, monopæle uden TP og gravitationsfundament ved de forskellige turbinestørrelser.

Materiale	3 MW	8 MW
Monopæl af stål uden TP		
Stålpæl	225 t	500 t
Erosionsbeskyttelse	1.000 m ³	2.500 m ³
Gravitationsfundament i beton		
Beton	1.200 t	3.000 t
Ballast (sand)	1.000 m ³	2.500 m ³
Erosionsbeskyttelse	800 m ³	1.300 m ³

Der skal yderligere etableres intern kabelføring mellem vindmøllerne samt et ilandsføringskabel fra vindmølleparken ind til land. Længden af kablerne og den skønnede nødvendige mængde materiale er vist i Tabel 5. Lederne i kablerne forventes at være af aluminium, som derfor anvendes i beregningerne af CO₂-udledningen. Udformningen af det interne kabelsystem er endnu ikke fastsat, hvorfor materialeforbruget til dette ikke indgår i CO₂-balancen.

Tabel 5. Længden og mængden af de forskellige kabeltyper der forventes at bruges internt mellem møllerne og til ilandsføringen ved Stigsnæsværket.

	Materiale	Længde (km)	Materiale mængde (ton)
Internt kabelsystem			
30Kv	Aluminium	Ikke fastsat	Ikke fastsat
Ilandsføringskabel			
66Kv (6 stk.)	Aluminium	17	4.957

Fartøjer

Under anlægsarbejdet på havet bliver der anvendt fartøjer, som er i drift i kortere eller længere perioder. Disse fartøjer udleder udstødningsgasser, herunder CO₂, NO_x, SO₂ og partikler (PM₁₀). Denne udledning kan estimeres ved at antage en driftsperiode for det enkelte fartøj og anvende specifikationerne for fartøjet.

Der er endnu ikke fastsat typer af fartøjer i projektet. Der er derfor taget udgangspunkt i havmølleprojektet Horns Rev 3 og tilhørende teknisk rapport om emissioner (Horns Rev 3, 2014). Som et konservativt estimat, udføres beregningen for 3MW scenariet, med flest vindmøller og derfor længst anlægsperiode og flest fartøjer i brug. Det antages at anlægsperioden for Omø Syd er ca. 80 % af anlægsperioden for Horns Rev 3, da der etableres 80 vindmøller fremfor 111 vindmøller. Det forventes at der anvendes helt samme type fartøjer i perioden, med samme tekniske specifikationer i Omø Syd projektet, som i Horns Rev 3.

For eksempel beregnes emissionen for én transportpram, under installering af kabler, ved at estimere tiden i drift (timer) samt anvende motorspecifikationen 2122 kW motorkraft med en "type 2" motor, der antages at udlede udstødningsgasser som angivet i Tabel 6:

Tabel 6 Udledning af udstødningsgasser (g/kWh) (USEPA, 2012).

Parameter	CO ₂	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
Transportpram (g/kWh) udledt	690	6,8	1,3	0,3

Samtidig skal "LF" faktoren tages i betragtning, da den beskriver effekten af motoren. For en transportpram er denne sat til 0,31.

2.3. Anlægsfasen på land

Kabler på land

På land forventes der at skulle lægges 6 stk. 66kV kabler i en korridor på ca. 5 km. Der skal ikke etableres en transformerstation på land. Metoden til at vurdere CO₂-udledningen ved anlægsarbejdet på land, er ved inddragelse af materiale til kablerne samt CO₂-udledningen ved transport af kablerne.

Tabel 7. Mængder af materiale brugt ved kabellægning på land ved Omø Syd vindmøllepark.

	Materiale	Længde (km)	Materiale mængde (ton)
Landkabel			
66Kv (6 stk.)	Aluminium	5	1.458
Dækning af kabler	Sand	5	3.793

CO₂-udledningen ved transport af materialer under kabellægning på land er baseret på, hvor langt HGV'er (heavy goods vehicle) skal køre. Der bruges en CO₂-emissionsfaktor på 0,99 kg/km¹, som er baseret på, at køretøjerne har en kapacitet på >33t. Antal køretøjer til transport af kabler og sand er dog ikke kendt på nuværende tidspunkt, hvorfor vurderingen baseres på sammenligning med lignende projekter.

Der anvendes forskellige entreprenørmaskiner (såsom gravemaskiner) til anlægsarbejdet i forbindelse med kabellægning på land. Antallet af maskiner og køretøjer er ikke kendt på nuværende tidspunkt, hvorfor vurderingen baseres på sammenligning med lignende projekter.

¹ Department for the Environment, Food and Rural Affairs (Defra), 2014, Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting.

2.3.1 Støvemission

Vurderingen af støvemissionen i forbindelse med konstruktionsarbejdet på land er baseret på kriterierne udviklet af Institute of Air Quality Management (IAQM, 2014) i forbindelse med de støveffekter som kommer ved anlægsaktiviteter.

I det følgende gennemgås de kriterier som er brugt ved vurdering af anlægsarbejdet på land i forbindelse med projektering af Omø Syd.

Områdets følsomhed over for støvemission er bestemt ud fra inddelingen i Tabel 8. I vurderingen inddrages områdets tilstand ift. menneskelige forhold samt miljøforhold, som kan være mere eller mindre følsomme over for støv under anlægsarbejdet.

Tabel 8 Kriterier til vurdering af et områdes følsomhed over for støjemissioner

Områdefølsomhed	Menneskelige receptorer	Miljøreceptorer
Høj	>10 beboelser <20 m fra område Særligt følsomme bebyggelser som hospitaler, skoler el. museer	Internationalt eller nationalt udpegede områder der er støvfølsomme, f.eks. med rødlistede arter
Medium	1-10 beboelser <20 m fra område Kan være parker og arbejdspladser	Nationalt udpegede områder der er støvfølsomme
Lille	0-1 beboelser <20 m fra område Kan være marker, parker, skov	Lokalt udpegede områder der er støvfølsomme

I Tabel 9 indeles de forskellige faser i forbindelse med kabellægningen i støvemissionsklasser alt efter hvor omfattende arbejdet er og derved hvor stor påvirkningen er.

Tabel 9 Kriterier til vurdering af grad af støvemission

Aktivitet	Kriterier til at vurdere støvemissionsklasser		
	Lille	Medium	Stor
Jordarbejde	Total areal <2.500 m ²	Total areal 2.500 – 10.000 m ²	Total areal >10.000 m ²
Kørsel	<25 HDV ture på en dag, ikke asfalteret vej længde <50 m	25 – 100 HDV ture på en dag, ikke asfalteret vej længde 50 - 100 m	>100 HDV ture på en dag, ikke asfalteret vej længde >100 m

2.4. Driftsfasen på havet

I forbindelse med driftsfasen på havet vil emissionerne komme fra de fartøjer der skal anvendes under vedligehold og reparationer på møllerne. Metoden til udregning er

den samme som i anlægsfasen, hvor antal fartøjer skønnes ud fra lignende havmølleparker (Horns Rev 3, 2014), se afsnit 2.2.

2.4.1 CO₂-besparelse

Da vindmøller er vedvarende energikilder, kan driftsfasen af Omø Syd skabe en positiv klimaeffekt.

Det årlige energiudbytte ved drift af Omø Syd er beregnet af European Wind Farms med programmet WindPro. Efterfølgende er reduktionen i udledning af CO₂ samt NO_x, SO₂ og partikler (PM₁₀) beregnet for drift af Omø Syd. I beregningen er det forudsat, at elproduktionen fra vindmøllerne erstatter en nuværende elproduktion, hvor der anvendes en blanding af fossile brændstoffer og vedvarende energikilder. I Tabel 10 fremgår emissionsopgørelser for de pågældende parametre, ved el produceret til forbrug, som vindmøllernes el-produktion forventes at erstatte.

Tabel 10 Emissionsopgørelser fra Energinets miljødeklaration 2013. Emissionerne er gældende for el produceret til forbrug.

Emissioner til luft i 2013	El forbrug (g/kWh)
CO ₂ (Kuldioxid - drivhusgas)	358
SO ₂ (Svovldioxid)	0,06
NO _x (Kvælstofilter)	0,24
Partikler	0,01

2.5. Driftsfasen på land

Emissioner på land i driftsfasen vurderes ud fra hvilke aktiviteter der forventes at være på land i forbindelse med for eksempel vedligehold.

2.6. Demonteringsfasen

Det forventes at demonteringsfasen vil anvende omtrent samme typer af fartøjer, som under anlægsarbejdet.

Ifølge en livscyklusanalyse udført af Vestas i 2013, kan især metallerne genanvendes når vindmøllerne er udtjent. Genanvendelsen svarer til en masseprocent på henholdsvis 92 % for stål, 92 % for aluminium og 98 % for jern (Vestas, 2013).

3. EKSISTERENDE FORHOLD

3.1.1 CO₂-udledning

CO₂ er en drivhusgas, hvis klimaeffekt indgår i den globale opvarmning. Ifølge det danske miljøøkonomiske regnskab, 2012, var den nationale udledning af CO₂ i 2012 på 93.274.000 ton (DST, 2014). Regnskabet for CO₂ inkluderer transport med danske fartøjer, fly og køretøjer i udlandet samt udledning fra forbrænding af biomasse.

Energibalance og CO₂-regnskab ved produktion, opsætning, drift og nedtagning af en 3 MW vindmølle er behandlet i en undersøgelse fra 2013 udført af Vestas. Undersøgelsen estimerer, at den energimæssige tilbagebetalingstid for en 3 MW mølle under optimale forhold vil være 6,7-8,3 måneder. En 3 MW vindmølle kan således tjene sig selv hjem cirka 29 til 36 gange i løbet af dets levetid, når den komplette livscyklus tages i betragtning (Danmarks Vindmølleforening, 2014).

3.1.2 Luftkvalitet

Luftkvaliteten i Danmark påvirkes primært af SO₂, NO_x og partikelforurening. Disse stoffer er forholdsvis lokalt forurenende og kan være både miljø- og sundhedsskadelige.

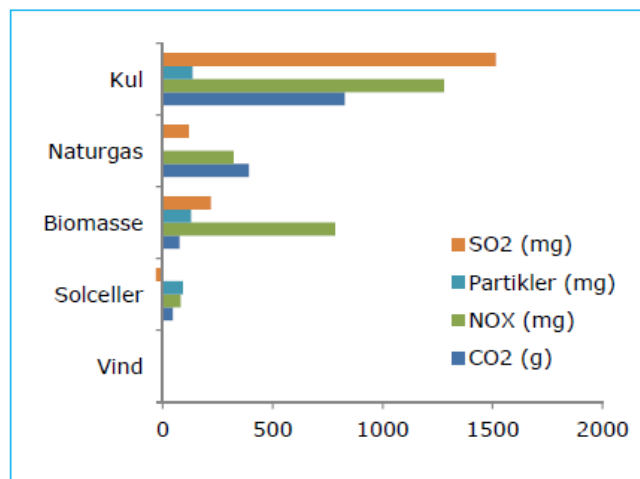
SO₂ dannes bl.a. ved afbrænding af fossilt brændstof såsom kul. Udledningen vil overvejende afhænge af rensningsgraden af den udledte røggas. Der er fastsat grænseværdier for, hvor meget SO₂ der må være i luften, da stoffet kan give luftvejsproblemer og kan i atmosfæren omdannes til svovlsyre, der udvaskes som sur regn.

NO_x er summen af NO og NO₂, som dannes ved forbrændingsprocesser. I luften kan NO omdannes til NO₂, hvis der er tilstrækkeligt ozon tilstede. NO₂ indgår i det danske system for smogvarsling, da den er påvist sundhedsskadelig. Samtidig er NO₂ miljøskadelig, da den i luften kan omdannes til salpetersyre, HNO₃ og nitrater, NO₃⁻. Disse stoffer kan derefter afsættes på land og øge kvælstofbelastningen på land og i vandmiljøet.

Luftforurening af partikler opstår ved forbrændingsprocesser. Partiklerne opdeles i fraktionerne PM₁₀ og PM_{2,5}, hvor tallet angiver maksimaldiameteren af partiklerne i µm. Undersøgelser har vist, at de fine partikler (PM_{2,5}) er særligt sundhedsskadelige, da de kan trænge dybere ned i lungerne. Forurening med partikler kan forårsage akutte gener som astma og allergi samt mere langsigtede skader som hjertekarsygdomme og lungecancer.

Luftforurening kan transporteres over store afstande, hvorfor lokale og nationale emissioner ikke nødvendigvis kan relateres til luftkvaliteten i samme område. Over afstand vil der ske en fortynding af stofferne i luften hvilket f.eks. ses ved høje punktkilder (høje skorstene), hvor stofferne fortyndes inden de når jordoverfladen (AU, 2015).

Ifølge den europæiske vindkraftorganisation EWEA, vil luftforureningen set ud fra en livscyklusanalyse af en vindmølle være forsvindende, når produktionen af 1 kWh el ved vindkraft sammenlignes med andre el-produktionsformer, se Figur 3.



Figur 3 Ekstra udledning af CO₂, NO_x, SO₂ og partikler ved produktion af 1 kWh i forhold til vindkraft (Danmarks Vindmølleforening, 2014)

Århus Universitet har målestationer fordelt i Danmark til monitorering af luftforurening. Nedenfor er angivet de i 2012 målte koncentrationer af NO_x, SO₂ og PM₁₀ for en målestation i et stærkt trafikeret område af København samt for en station uden for byområdet. De to stationer repræsenterer yderpunkterne af de målte gennemsnitskoncentrationer i det danske måleprogram.

Tabel 11 Gennemsnitskoncentrationer fra to målestationer i Danmark, i 2012. Grænseværdier for de pågældende parametre er også angivet (AU, 2015).

Måleparameter	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
Målestation uden for byområdet (LI. Valby) µg/m ³	9	-	16
Målestation 1103, i by (København, gade) µg/m ³	55	2	32
Grænseværdi µg/m ³	40	20	40

I Tabel 11 ses, at der i 2012 forekom overskridelser af grænseværdien for NO_x ved målestation 1103 i København, imens niveauerne målt ved LI. Valby er væsentlig lavere end grænseværdien. Niveaue af NO_x og partikler i luften i København og andre tilsvarende byområder, skyldes meget trafik og heraf stor udledning af udstødningsgasser. Niveaue af luftforurening ved LI. Valby målestationen giver et indtryk af baggrundsniveaue i luften i Danmark.

Beregnete udledninger af NO_x, SO₂ og PM₁₀ i forbindelse med realisering af Omø Syd kan sammenlignes med de nationale udledninger og gældende grænseværdier for

disse parametre. De nationale emissioner fra 2012 er angivet i Tabel 12, hvilket inkluderer transport med danske fartøjer, fly og køretøjer i udlandet og er for CO₂ inklusiv bidrag fra forbrænding af biomasse (DST, 2014).

Tabel 12. Nationale udledninger af relevante luftforurenende stoffer (dst.dk).

Parametre	NO _x	SO ₂	PM ₁₀	CO ₂
National udledning (ton) 2012	1.089.108	233.261	48.188	93.274.000

4. VURDERING AF VIRKNINGER PÅ HAVET

4.1. Anlægsfasen

4.1.1 Omø Syd

De totale mængder CO₂ udledt ved fremstilling af vindmøller og fundamenter til vindmølleparken ved Omø Syd er vist i Tabel 13 og Tabel 14. Resultatet er for de to worst case scenarier, henholdsvis 80 vindmøller, 3MW og 40 vindmøller, 8MW.

Tabel 13. Estimeret CO₂ (ton) emission fra fremstilling af materialerne, anvendt til turbinerne i begge worst case scenarier.

Turbine komponent	Materiale	3MW	8MW
Nacelle CO ₂ (t)	GRP	77.116	89.169
Nav CO ₂ (t)	Støbejern	4.164	10.816
Mølletårn CO ₂ (t)	Stål	15.996	18.129
Blade CO ₂ (t)	GRP	18.449	30.441
Total CO₂ ton		115.725	148.555
% ift. national CO ₂ -emission 2012 (93.274.000 t)		0,12 %	0,16 %

Tabel 14. Estimeret CO₂ (ton) emission fra fremstilling af komponenterne til fundamenterne, hele vindmølleparken

Materiale	3 MW	8 MW
Monopæle af stål uden TP		
Stålpæl CO ₂ (t)	23.994	26.660
Fundament beskyttelse CO ₂ (t)	1.000	1.250
Total CO₂ (t)	24.994	27.910
% ift. national CO ₂ -emission 2012 (93.274.000 t)	0,03 %	0,03 %
Gravitationsfundamenter i beton		
Beton CO ₂ (t)	99.840	124.800
Ballast (sand) CO ₂ (t)	412	515
Fundament beskyttelse CO ₂ (t)	800	650
Total CO₂ (t)	101.052	125.965
% ift. national CO ₂ -emission 2012 (93.274.000 t)	0,11 %	0,14 %

Tabel 15. Estimeret CO₂ (ton) emission for materialerne brugt til kabelsystemerne offshore, sammenlignet med national CO₂ emission.

Kabler offshore	Materiale	66Kv (6 stk.)
Ilandføringskabel		
CO ₂ (t)	Aluminium	33.228
% ift. national CO ₂ -emission 2012 (93.274.000 t)		0,04 %

I anlægsfasen anvendes desuden fartøjer til etablering af vindmøllerne, som vil udlede CO₂ samt NO_x, SO₂ og PM₁₀. Nedenfor i Tabel 16 ses de beregnede udledninger fra samtlige fartøjer, der forventes anvendt under anlægsarbejdet.

Tabel 16 Oversigt over fartøjsudledning af CO₂, NO_x, SO₂ og PM₁₀ for scenariet 80 stk. 3MW vindmøller. Der er taget udgangspunkt i fartøjsemissioner for havmølleprojektet Horns Rev 3 (Horns Rev 3, 2014). Det antages dog, at anlægsperioden for Omø Syd er ca. 80 % af anlægsperioden for Horns Rev 3, da der etableres 80 vindmøller fremfor 111 vindmøller.

Aktivitet	Fartøj	Antal	CO ₂	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
Etablering af turbine-Monopæle	Installations-skib	2	17.334	287,2	32,8	7,2
	Jack-up pram	3	10.123	128,8	19,2	4,8
	Transport pram	2	2.440	24	4,8	0,8
Etablering af turbine Gravitations-fundament	Installations-skib	4	60.309	928	113,6	26,4
	Jack-up pram	3	10.123	128,8	19,2	4,8
	Transport pram	2	2.440	24	4,8	0,8
Installering af sub-station	Jack-up pram	1	8.498	160	16	4
	Installations-skib	1	70,4	1,6	0	0
Installering af kabler	Kabelnedlægningsfartøj	1	2.614	25,6	4,8	0,8
	Supportskib	1	6.488	64	12	3,2
	Transport pram	1	1.220	12	2,4	0,8
Mandskab	Mandskabsfartøj	9	10.316	113,6	19,2	4,8
Andet transport - support	Supportskib	1	795	0,8	1,6	0

Aktivitet	Fartøj	Antal	CO ₂	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
Transport af komponenter	Installations-skib	1	1.102	11,2	2,4	0,8
Total, monopæle, ton (% af nationale emissioner)			61.000,4 0,07 %	828,8 0,07 %	115,2 0,05 %	27,2 0,06 %
TOTAL NATIONAL EMISSION 2012 TON			93.274.000	1.089.108	233.261	48.188
Total, gravitationsfundamenter, ton (% af nationale emissioner)			164.975,8 0,18 %	2.298,4 0,21 %	311,2 0,13 %	73,6 0,15 %
TOTAL NATIONAL EMISSION 2012 TON			93.274.000	1.089.108	233.261	48.188

Sammenlignet med monopæle vil etablering af gravitationsfundamenter vil betyde flere fartøjer i brug. Som ses i tabellen vil emissionen af CO₂, NO_x, SO₂ og partikler derfor være højere ved gravitationsfundamenter.

4.1.2 Klimaeffekt

Nedenfor i Tabel 17 er vist en oversigt over den samlede CO₂-udledning ved fremstillingen af materialer til vindmøllerne, samt udledning i hele anlægsfasen offshore.

Tabel 17. Estimeret CO₂ (ton) emission for monopæle (M) og gravitationsfundamenter (G) i hele anlægsfasen offshore, sammenlignet med national CO₂-emission fra 2012.

Scenarie	3 MW	8 MW
Turbine produktion CO ₂ (t)	115.725	148.555
Monopæle uden TP CO ₂ (t)	24.994	27.910
Gravitationsfundament CO ₂ (t)	101.052	125.965
Kabelsystem CO ₂ (t)	33.228	33.228
Fartøjer, monopæle	61.000,4	42.700,3*
Fartøjer, gravitationsfundament	164.976	115.483*
Total CO₂ ton		
Monopæle	234.947	252.393
Gravitationsfundament	414.981	423.231
% ift. national CO ₂ -emission 2012 (93.274.000 t)	0,25 %^M 0,44 %^G	0,27 %^M 0,45 %^G

*Disse tal er for 8MW scenariet estimeret som 70% af 3MW scenariet, på baggrund af væsentlig færre vindmøller, men dog større delkomponenter

Jævnfør Tabel 17, vil den samlede CO₂-udledning i anlægsfasen offshore, være 0,25 % - 0,45 % af den nationale CO₂-emission i 2012. Worst case scenariet, i forhold til

CO₂-udledning og klimaeffekt, vil knebent være ved 40 stk. 8MW vindmøller med gravitationsfundament.

4.1.3 Luftkvalitet

I ovenstående vurdering er den lokale og regionale luftkvalitet hovedsageligt påvirket af selve anlægsarbejdet ved fartøjernes drift. Luftkvaliteten lokalt og regionalt vurderes at blive påvirket i uvæsentlig grad, da udledningen af NO_x, SO₂ og PM₁₀ primært vil foregå så langt fra land, at udstødningssgasser vil blive fortyndet i markant grad, førend de når kyststrækninger og beboelsesområder. Det forventes, at koncentrationerne ved kysten ikke vil overstige de gældende grænseværdier for de pågældende luftkvalitetsparametre, se Tabel 10.

På nationalt niveau vurderes fartøjerne i anlægsfasen at udlede 0,13-0,21% af den samlede nationale emission i 2012, af de pågældende parametre. Denne størrelsesorden vurderes at udgøre en mindre til ubetydelig påvirkning af den nationale luftkvalitet.

4.2. Driftsfasen

Den beregnede udledning af CO₂, NO_x, SO₂ og PM₁₀ i driftsfasen, relateret til vedligeholdelsesfartøjer offshore er angivet i Tabel 18 og gælder for 3MW scenariet.

Tabel 18 Oversigt over estimerede udledninger af CO₂, NO_x, SO₂ og PM₁₀ i driftsfasen ved vedligeholdelse offshore.

Aktivitet	Fartøj	An-tal	CO ₂	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
Mandskab	Mandskabs-fartøj	16	5.816	60	11	3
Andet transport - support	Supportskib	1	1.458	14	3	1
Total, ton, årligt (% af nationale emissioner)			7.274 (<0,01%)	74 (<0,01%)	14 (<0,01%)	4 (<0,01%)
Total, ton, ved en levetid på 25 år (% af nationale emissioner)			181.850 (0,19 %)	1.850 (0,17 %)	350 (0,15 %)	100 (0,21 %)
TOTAL NATIONAL EMISSION 2012 TON			93.274.000	1.089.108	233.261	48.188

Udledningen af samtlige parametre ved vedligeholdelsesarbejde årligt, er svarende til mindre end 0,01 % af de danske totale udledninger i 2012. Vedligeholdelsesarbejdets CO₂-udledning over 25 år er formentlig overestimeret, da der forventes en renere og mere klimavenlig teknologi over tid.

4.2.1 Klimaeffekt

Elektricitet produceret af vindmølleparker erstatter elektricitet, der ellers ville være produceret på eksempelvis et kulkraftværk, under forbrug af fossile brændstoffer. Elproduktion fra vindmøller resulterer derfor i en besparelse af CO₂-udledning. CO₂-besparelsen i forbindelse med driften af vindmølleparken Omø Syd er præsenteret i Tabel 19.

Det ses i tabellen, at den største CO₂-besparelse sker ved opsætning af 40 stk. 8 MW møller frem for 80 stk. 3 MW møller. Dette skyldes forskellene i scenariernes årlige energiudbytte. Sammenlignes CO₂-udledningen af fartøjer i driftsfasen med CO₂-besparelsen ved selve el-produktionen fra vindmøllerne, vurderes det, at fartøjernes udledning er uden betydning. Der er en tydelig positiv klimaeffekt i driftsfasen af møllerne.

Tabel 19 Emissionsbesparelser ved drift af vindmøllerne, årligt og i forhold til vindmøllernes forventede levetid

Scenarie	CO ₂ besparelse	NO _x besparelse	SO ₂ besparelse	PM ₁₀ besparelse
3MW – årligt energiudbytte = 1.080.960 MWh	386.984 ton	259,4 ton	64,9 ton	10,8 ton
3 MW, 25 års levetid	9.674.600 ton	6.485 ton	1622,5 ton	270 ton
3 MW, % ift. national emission 2012, 25 år	10,4 %	0,60 %	0,70 %	0,56 %
TOTAL NATIONAL EMISSION 2012 TON	93.274.000	1.089.108	233.261	48.188
8MW – årligt energiudbytte = 1.427.279 MWh	510.967 ton	342,5	85,6	14,3
8 MW, 25 års levetid	12.774.175 ton	8563,7	2140,9	356,8
8 MW, % ift. national emission 2012, 25 år	13,7 %	0,79 %	0,92 %	0,74 %
TOTAL NATIONAL EMISSION 2012 TON	93.274.000	1.089.108	233.261	48.188

4.2.2 Luftkvalitet

Luftkvaliteten lokalt og regionalt vurderes at blive påvirket i uvæsentlig grad i driftsfasen, da udledningen af NO_x, SO₂ og PM₁₀ er begrænset til et mindre antal fartøjer, hvor udledningen primært vil foregå så langt fra land, at udstødningsgasser vil blive fortyndet i markant grad, førend luftfanen når kyststrækninger og beboelsesområder. Det forventes således ikke, at luftkvaliteten på kysten, vil påvirkes under driftsfasen. Driftsfasen af Omø Syd vil have en positiv påvirkning af luftkvaliteten på nationalt niveau, da besparelsen i udledningen af udstødningsgasser vil være større end udledningen af disse.

4.3. Demonteringsfasen

I "worst case" forventes det, at alle møller, fundamenter og kabler skal fjernes. Der vil blive udarbejdet en plan for, hvordan dette forløber i forbindelse med demonteringen. Emissionerne forbundet med anlægsarbejdet ved demonteringen forventes at være i samme størrelsesorden som ved selve anlægsarbejdet i anlægsfasen af vindmølleparken. I vurderingen (uddrag fra Tabel 16) af fartøjernes udledning er worst case scenariet angivet nedenfor. Worst case er en 3MW vindmøllepark ved etablering af gravitationspæle:

Tabel 20 Oversigt over udledninger ved anlægsarbejdet i demonteringsfasen

Parametre	CO ₂	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
Total, gravitationspæle, udledt CO₂, ton (% af nationale emissioner)	164.975,8 0,18 %	2.298,4 0,21 %	311,2 0,13 %	73,6 0,15 %
TOTAL NATIONAL EMISSION 2012 TON	93.274.000	1.089.108	233.261	48.188

Ifølge en livscyklusanalyse udført af Vestas i 2013, kan især metallerne genanvendes når vindmøllerne er udtjent. Genanvendelsen af relevante metaller ift. denne rapport, svarer til en masseprocent på henholdsvis 92 % for stål, 92 % for aluminium og 98 % for jern (Vestas, 2013).

Turbinens og landkablets genanvendelse vil give en positive klimaeffekt, da ovenstående metaller er anvendt. Fundamenternes genanvendelsesgrad er ikke kendt, og er derfor ikke inkluderet i vurderingen nedenfor. I følgende tabel gives et overblik over massen af materiale der kan genbruges samt den positive klimaeffekt heraf, for begge worst case scenarier.

Tabel 21 Oversigt over CO₂-besparelse ved genanvendelse af udvalgte materialer

Komponent	Materiale	Genanvendelse %	3 MW	8 MW
Nav, turbine	Jern	98	4072 ton	3975 ton
Mølletårn, turbine	Stål	92	14.720 ton	16.678 ton
Kabler, ilandføring	Aluminium	92	30.569 ton	30.569 ton
Kabler, på land (ved 6 stk.)	Aluminium	92	8.991 ton	8.991 ton
Total CO₂-besparelse, ton			58.352 ton	60.213 ton
% ift. national CO ₂ -emission 2012 (93.274.000 t)			0,06 %	0,06 %

Genanvendelse af metaller vil derfor have en positiv indvirkning på luftkvaliteten, da genbruget vil fortrænge den udledning af NO_x, SO₂ og partikler, PM₁₀, som ville være udledt i tilfælde af, at metallerne skulle fremstilles på ny.

4.3.1 Klimaeffekt

Demonteringsfasen har en mindre negativ klimaeffekt. Der udledes CO₂ af fartøjer og maskiner i fasen svarende til 0,18 % af den danske udledning i 2012. Dog forventes fasen at forløbe over flere år, hvorfor den årlige procentvise udledning er lavere. Samtidig vil genanvendelse af metaller i demonteringsfasen bidrage positivt til CO₂-balancen, med en besparelse svarende på 0,06 %.

4.3.2 Luftkvalitet

Demonteringsfasen har en mindre negativ effekt på luftkvaliteten nationalt. Der udledes henholdsvis 0,21 %, 0,13 % og 0,15 % NO_x, SO₂ og PM₁₀ sammenlignet med den nationale emission (i 2012) af disse parametre. Dog vil genanvendelse af metaller i fasen kunne bidrage positiv på luftkvaliteten og således reducere den procentvise emission af de pågældende parametre.

Luftkvaliteten lokalt og regionalt vurderes at ikke at blive påvirket i væsentlig grad, da udledningen af NO_x, SO₂ og PM₁₀ primært vil foregå så langt fra land, at udstødningsgasser vil blive fortyndet i markant grad, førend luftfanen når kyststrækninger og beboelsesområder. Det forventes, at koncentrationerne ved kysten ikke vil overstige de gældende grænseværdier for de pågældende luftkvalitetsparametre, som listet i Tabel 10.

5. VURDERING AF VIRKNINGER PÅ LAND

5.1. Anlægsfasen

Anlægsfasen på land omfatter kabellægning og selve kablerne, som strækker sig over 5 km og kobler til elnettet ved Stignæsværket.

Kabler

I Tabel 22 er vist den estimerede CO₂-emission under materialefremstilling i forbindelse med kabellægning. Der forventes at lægge 6 landkabler (66Kv) bestående af hver 3 ledere. I beregningen er aluminium brugt som materiale og sand til dækning af kabler.

Tabel 22. Estimeret CO₂-udledning ved kabellægning på land.

Onshore	Materiale	Materiale (ton)	CO ₂ (ton)
66Kv (6 stk.)	Aluminium	1.458	9.773
Dækning	Sand	3.793	9
Total CO₂ ton			6 stk.: 9.782
% ift. national CO ₂ -emission 2012 (93.274.000 t)			<0,01 %

Udledningen af CO₂ på baggrund af produktion af de anvendte materialer til kabellægning på land er vurderet til at være ubetydeligt lille.

Omfanget af anlægsarbejdet i forbindelse med nedlægning af kabler er meget begrænset, da kablets længde er ca. 5 km og der ikke skal anlægges transformerstation mv. I denne fase vil der dog være brug af maskiner og lastbiler til fragt af kablet.

Til sammenligning er landkablets længde ifm. havmølleparken Horns Rev 3 (Horns Rev 3, 2014) 50-60 km, hvor anlægsarbejdet samt lastbilernes udledninger under denne 50-60 km kabellægning, også er vurderet til at være forsvindende lille. På denne baggrund vurderes det, at selve kabellægningen på land i forbindelse med havmølleparken Omø Syd, er så begrænset, at der ikke vil være en indvirkning på klima eller luftkvalitet.

Samlet set vurderes anlægsfasen på land ikke at have en indvirkning på klima eller luftkvalitet.

Støv

Støvemission ved lægning af kabler på land er vurderet i Tabel 23. Vurderingen er udført for begge de to mulige kabeltracéer.

Tabel 23. Vurdering af støv i forbindelse med kabellægning på land ved to mulige tracéer.

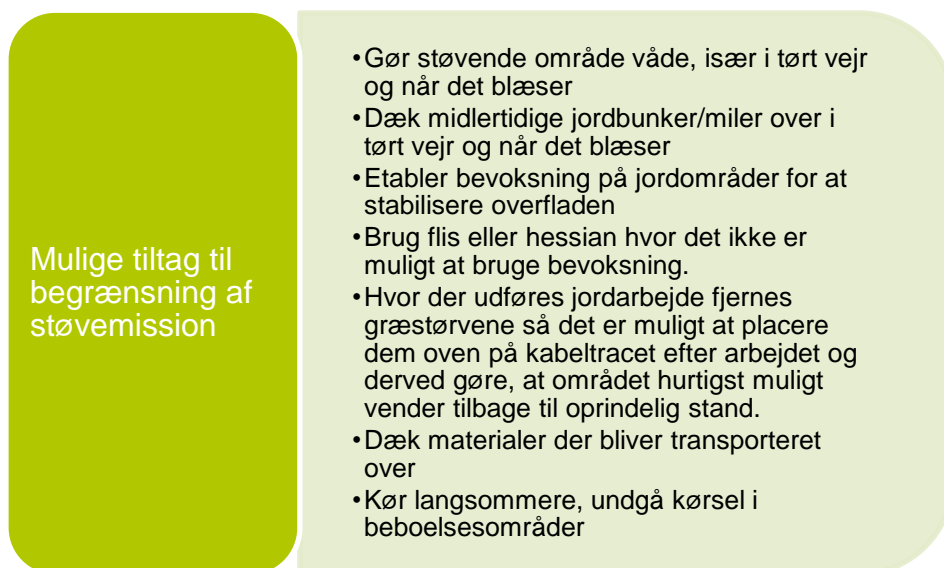
	Begrundelse	Vurdering
Sensibilitet		
Menneskelige receptorer	Tracé 1: Der er 4 beboelser der ligger indenfor 20 m af tracéområdet eller i området. Derudover er der også 2 erhvervsjendomme.	Mellem
	Tracé 2: Der er 7 beboelser der ligger i eller indenfor 20 m af kabel traceområdet. Derudover er der 1 erhvervsjendom.	Mellem
Miljø receptorer	Tracé 1: Beskyttet vandløb og beskyttet strandeng*	Mellem
	Tracé 2: Natura 2000 området nr. 162 <i>Skælskør Fjord og havet og kysten mellem Agersø og Glænø</i> ligger i selve kabelkorridoren Ramsar område, EF- habitatsområde, fuglebeskyttelses område, beskyttet sø og strandeng, beskyttet vandløb*	Høj
Aktivitet		
Jordarbejde	Det totale areal af kabelgraven forventes at være max. 10.000 m ²	Medium
Kørsel	Antallet af lastbilsture forventes at være 3-5 om dagen, med en total anlægsperiode på 6 måneder	Lille

*Data hentet på Danmarks Miljøportal, 2014

Særligt miljøreceptorerne på land er følsomme over for støvemission ved kabellægningen. Som angivet i Tabel 23, er særligt tracé 2 kritisk i forhold til mulig påvirkning af miljøforhold, hvorfor vurderingen taler mod at vælge løsningen med tracé 1.

Støvemissionen ved kabellægningen forventes ikke at forøge mængden af partikler i luften i en sådan grad, at situationen vil svare til en trafikeret gade i en større by. Det forventes derfor at den nationale grænseværdi for PM₁₀ i luften vil være overholdt under hele kabellægningen.

Det er dog vigtigt at foretage tiltag under arbejdet, som kan mindske støvmængden fra lastbiler, maskiner og jordhåndtering. I Figur 4 listes mulige afværgende tiltag, der kan foretages under kabellægningen på land i Omø Syd projektet.



Figur 4 Liste over mulige tiltag til begrænsning af støvemission under kabellægningen på land

5.2. Driftsfasen

Efter kablerne er nedgravet og i funktion, forventes det, at trafik på land vender tilbage til det eksisterende niveau. Der vil være minimal vedligehold af kablerne og emissioner forbundet hermed forventes at være ubetydelige.

5.3. Demonteringsfasen

I forbindelse med demontering på land drejer det sig kun om de nedgravede kabler. Det vil blive vurderet, om kablerne kan bruges til andet formål. Er det ikke tilfældet, forventes det, at kablerne vil blive skåret over og trukket ud samt, at hullerne vil blive fyldt op. Der vil blive udarbejdet en plan for mulige forløb i forbindelse med demonteringen. Emissionerne forbundet med demonteringen forventes at være i samme størrelsesorden som ved etableringen af vindmølleparken, jævnfør afsnit 5.1. Dog vil der være et positivt bidrag til effekten af klima og luftkvalitet, hvis materialet i kablerne genanvendes.

6. KUMULATIVE EFFEKTER

Der er placeret en sejlroute ca. 3.000 meter vest for Omø Syd projektområdet. Afstanden er dog af en størrelse, hvor det vurderes, at skibstrafikken ikke vil skabe en kumulativ effekt på luftkvalitet. I forhold til klima er det danske skibsbidrag til emissioner indregnet i de nationale tal der sammenlignes med.

På land kan der være lokale emissioner af CO₂, NO_x, SO₂ og partikler (PM₁₀) fra byområder, industri og trafik. Det forventes dog ikke, at kumulation med kabellægningen

på land vil medføre, at de nationale grænseværdier for luftkvalitetsparametrene overskrides.

7. SAMLET VURDERING

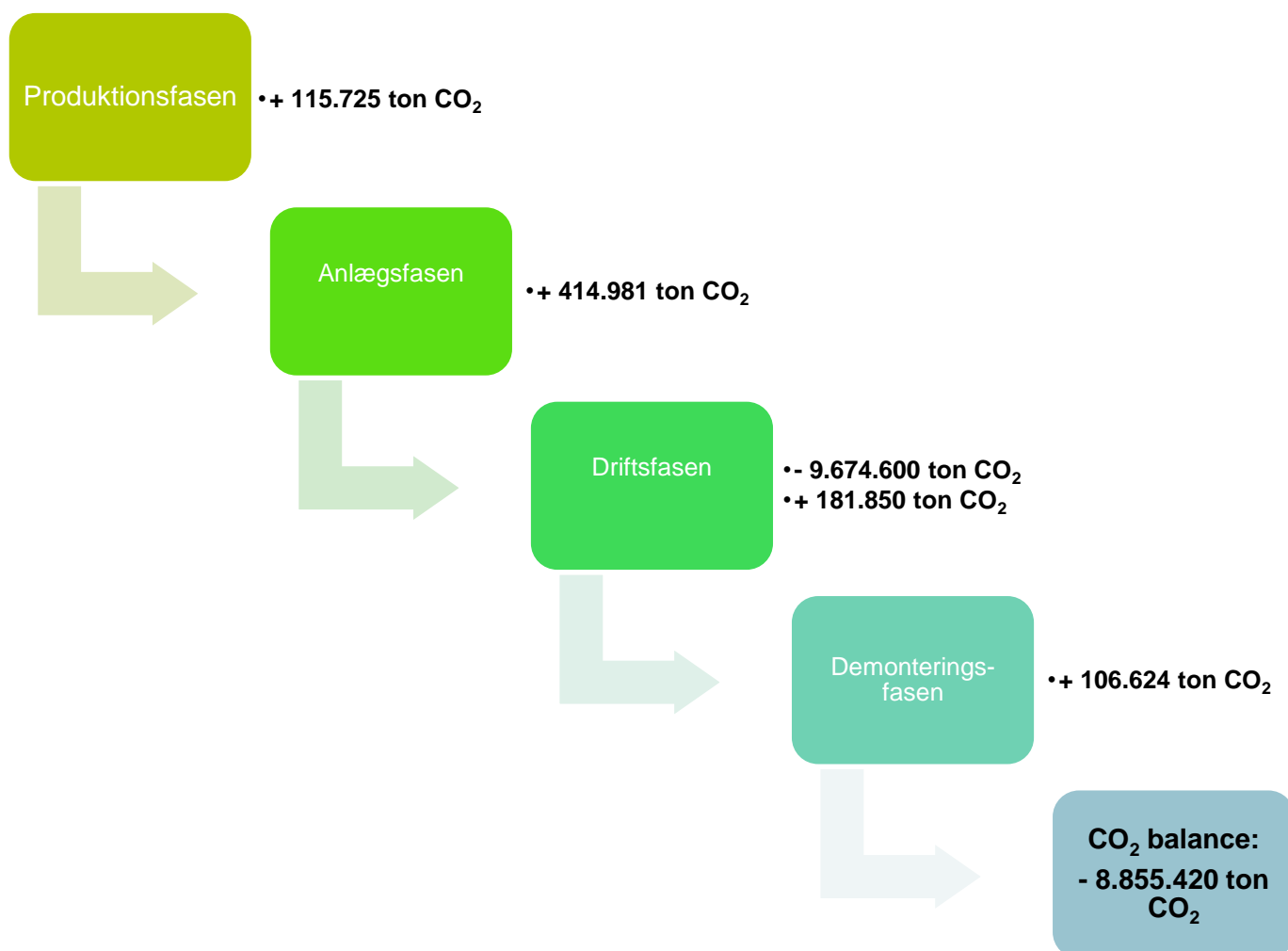
7.1. Luftkvalitet

Etableringen af Omø Syd vil have en positiv virkning på den nationale luftkvalitet. Anlægsfase og demonteringsfase har ubetydelige til mindre virkning på luftkvaliteten, som opvejes af driftsfasen med en høj positiv virkning på luftkvaliteten, da der opnås besparelser på udledningen af NO_x, SO₂ og PM₁₀ ved at erstatte den nuværende el produceret til forbrug med el produceret ved vindkraft.

Under anlægsarbejdet på land, kan der opstå støvemissioner, som vil have en middel til høj virkning på lokale miljøreceptorer. Det er derfor vigtigt at udføre tiltag til at begrænse støvemission under arbejdet.

7.2. Klima

Nedenfor i Figur 5 vises en oversigt over den samlede CO₂-balance, for 3MW scenariet med gravitationsfundamenter. Resultatet skal ikke anses som et komplet CO₂-regnskab i relation til en livscyklusanalyse og er ikke udført under samme forudsætninger som de anførte eksisterende forhold for tilbagebetalingstiden af en vindmølle, Afsnit 3.1.1. I stedet skal CO₂-balancen for Omø Syd anses som et konservativt skøn, hvor der gennemgående er anvendt worst case, og hvor der kun er inddraget forhold som er kendte på nuværende tidspunkt.



Figur 5 Oversigt over CO₂ udledning i de enkelte faser af projekt Omø Syd, samt den endelige CO₂ balance

Anlægsfasen og demonteringsfasen har ubetydelige til mindre virkning på klimaet, som opvejes af driftsfasen, der har en høj positiv virkning på klimaet. Driftsfasen er udslagsgivende for den samlede vurdering. Således er den samlede CO₂-balance på - 8.855.420 ton svarende til en besparelse på ca. 10 % af den årlige danske CO₂-emission i 2012.

En realisering af Omø Syd vil have en tydelig positiv virkning på klima og luftkvalitet.

8. REFERENCER

Aarhus universitet, 2013, Database on air quality, department of environmental science, http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_miljoe-tilstand/3_luft/4_maalinger/5_data-base/hentdata_en.asp, (sidst opdateret 22-10-2013).

Danmarks Vindmølleforening, faktablad T4, maj 2014

Department for the Environment, Food and Rural Affairs (Defra), 2014, Greenhouse Gas Conversion Factors for Company Reporting.

DST, Danmarks Statistik, Miljøøkonomisk Regnskab, 2012 (set på hjemmesiden i 2014)

Energinet, 2013, Miljødeklarering af 1 kWh el, www.energinet.dk/eldeklaration, Sidst opdateret 28-02-2014

Horns Rev 3, Technical Report no. 22, Orbicon/Royal Haskoning DHV, 2014

Institute of Air Quality Management (IAQM), 2014, Guidance on the assessment of dust from demolition and construction

Kriegers Flak, 2014, Technical Project Description for the large-scale offshore wind farm (600 MW) at Kriegers Flak Kriegers Flak EIA report.

Omø Syd, 2015, Teknisk beskrivelse for havvindmølleparken ifm. VVM redegørelse, Orbicon

United Kingdom Environment Agency, 2014, Carbon Calculator for measuring the greenhouse gas impacts of construction activities.

United States Environmental Protection Agency (USEPA), 2002, Median Life, Annual Activity, and Load Factor Values for Nonroad Engine Emissions Modeling

Vestas, Peter Garrett og Klaus Rønde, Life Cycle Assessment, 90V 3MW, 2013