



Jammerland Bay Nearshore A/S

Jammerland Bugt Kystnær Hav- møllepark

TEKNISK BAGGRUNDSRAPPORT – KLIMA OG LUFTKVALITET JB-TR-005

Jammerland Bay Nearshore A/S

Jammerland Bugt Kystnær Hav- møllepark

TEKNISK BAGGRUNDSRAPPORT – KLIMA OG LUFTKVALITET JB-TR-005

Rekvirent Jammerland Nearshore A/S
Gyngemose Parkvej 50
2860 Søborg

Rådgiver Orbicon A/S
Linnés Allé 2
2630 Taastrup

Projektnummer 3621400172

Projektnummer JB-TR-005

Projektleder Kristian Nehring Madsen

Kvalitetssikring Birgitte Nielsen

Revisionsnr. 03

Godkendt af Kristian Nehring Madsen

Udgivet 26-06-2018

INDHOLDSFORTEGNELSE

1. INDLEDNING	5
2. METODE	6
2.1. Projektområdet Jammerland Bugt	6
2.2. Anlægsfasen på havet	7
2.3. Anlægsfasen på land	10
2.3.1 Støvemission	11
2.4. Driftsfasen på havet	12
2.4.1 CO ₂ -besparelse	12
2.5. Driftsfasen på land	12
2.6. Demonteringsfasen.....	13
3. EKSISTERENDE FORHOLD	13
3.1.1 CO ₂ -udledning	13
3.1.2 Luftkvalitet	13
4. VURDERING AF VIRKNINGER PÅ HAVET	16
4.1. Anlægsfasen	16
4.1.1 Jammerland Bugt	16
4.1.2 Klimaeffekt	19
4.1.3 Luftkvalitet	19
4.2. Driftsfasen.....	19
4.2.1 Klimaeffekt.....	20
4.2.2 Luftkvalitet	21
4.3. Demonteringsfasen.....	21
4.3.1 Klimaeffekt	23
4.3.2 Luftkvalitet	23
5. VURDERING AF VIRKNINGER PÅ LAND	23
5.1. Anlægsfasen	23
5.2. Driftsfasen.....	25
5.3. Demonteringsfasen.....	25

6. KUMULATIVE EFFEKTER.....	25
7. SAMLET VURDERING.....	26
7.1. Luftkvalitet.....	26
7.2. Klima	26
8. REFERENCER	28

1. INDLEDNING

Denne tekniske baggrundsrapport beskriver og vurderer klima og emissioner i forbindelse med det kystnære havmølleprojekt i Jammerland Bugt. 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.

Jammerland Bugt

Vindmølleanlægget bliver potentielt op til 240 MW i kapacitet. Generatorstørrelsen af vindmøller er endnu ikke fastlagt, men kommer til at ligge mellem 3 og 7 MW, hvilket gør, at antallet af turbiner forventes at kunne variere mellem 34 og 60. Endvidere forventes det, at møllerne etableres på enten monopæle (uden transition piece) eller gravitationsfundamenter. Der er fastsat to værst tænkelige scenarier for den kystnære havmøllepark, se Tabel 1. Disse to scenarier behandles i det følgende.

Tabel 1. Muligheder for turbine antal og type i Jammerland Bugt kystnær havmøllepark

Turbine størrelse (MW)	Antal af turbiner	Energi, anlæg (MW)
3	60	180
7	34	238

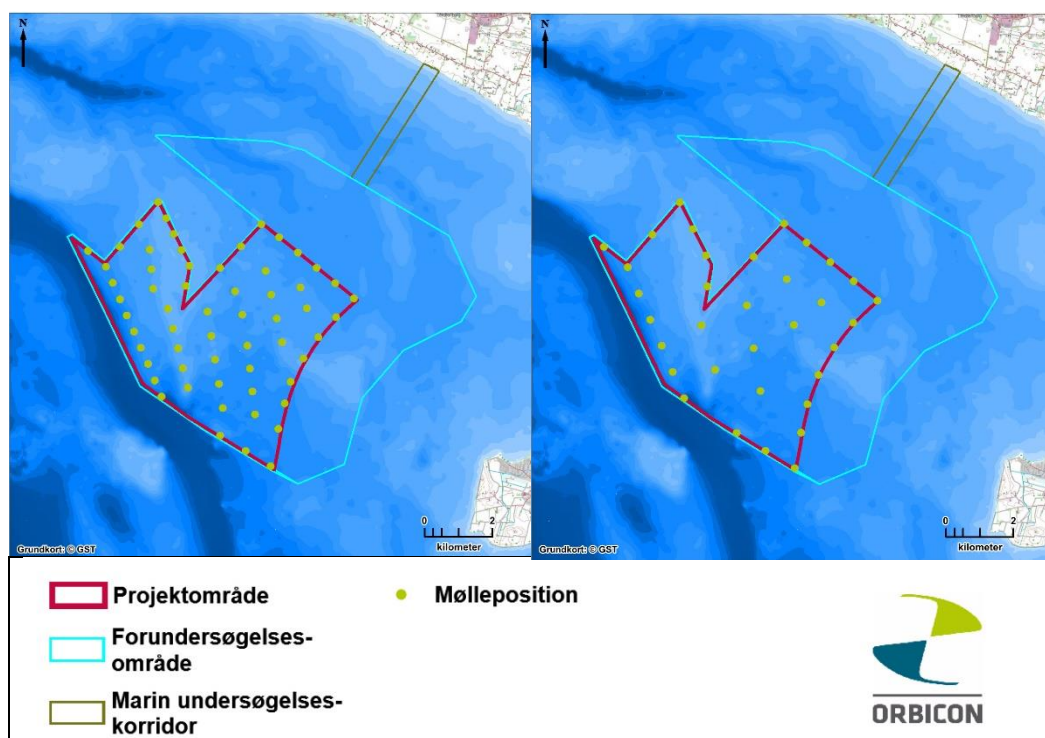
Forundersøgelsestilladelsen er givet for møller op til 7 MW. Ved opstart af forundersøgelserne var data på 7 MW møller dog ikke tilgængelige, da denne type endnu ikke var lanceret. Derfor er modelleringer, visualiseringer mm. gennemført på baggrund af data for en Siemens 6 MW mølle. Siemens har dog lanceret en 7 MW mølle efterfølgende, som har præcis de samme dimensioner og design som 6 MW møllen, bare med en større generator. Det værst tænkelige scenarie for den største type mølle er i nærværende tekniske rapport baseret på data fra en 6 MW mølle, og vurderingerne af dette scenarie vil være direkte sammenlignelig med 7 MW møller grundet ovenstående.

2. METODE

2.1. Projektområdet Jammerland Bugt

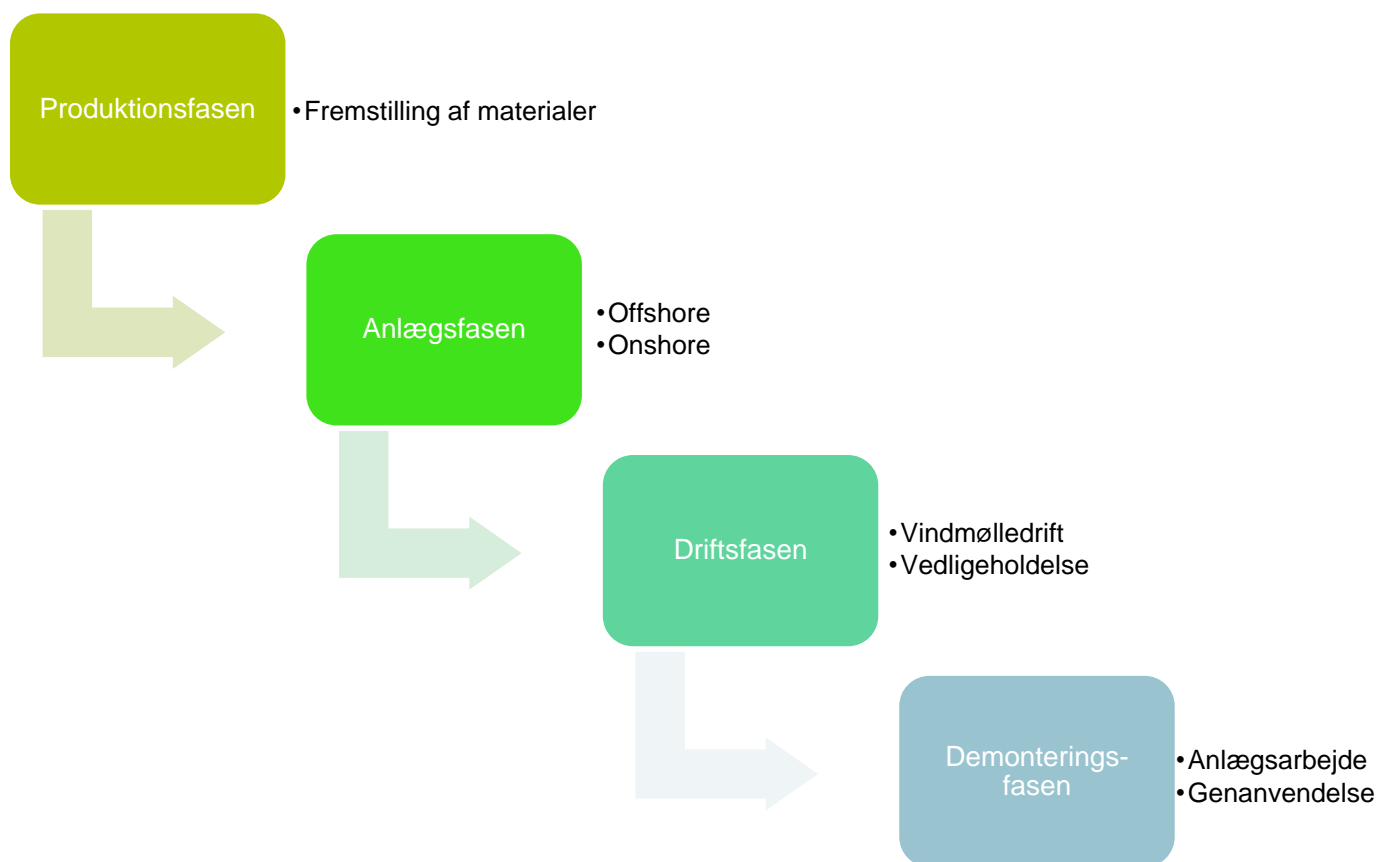
Projektområdet ligger i den nordøstlige del af Storebælt, centralt i Jammerland Bugt og dækker et område på ca. 65 km². De interne kabler mellem møllerne kommer til at være 33 kV kabler og antages at bestå af aluminium og være omtrent 80 km i længden ved 3 MW scenariet. Længden af kabelkorridoren ind til land kommer til at være ca. 4 km.

Landføringskabler kommer til at være op til 8 stk. 50 kV med en tykkelse på 100 og 180 mm. Lederne i kablet er af aluminium og på 3*2.000 mm². Kabler på land kommer til at være de samme som i landføringskablerne. 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 er cirka 3 km. Nettilslutningen sker ved føring af formentlig 50 kV kabler til Asnæsværket. **I Fejl! Henvisningskilde ikke fundet.** ses oversigtskort over projektområdet.



Figur 1 De to opstillingsmønstre med henholdsvis 3 MW (venstre) og 7 MW (højre), som vurderes i VVM-redegørelsen.

Den samlede effekt på klima og luftkvalitet af projektet i Jammerland Bugt, er i det følgende vurderet ud fra faserne i figur 3.



Figur 2 Overblik over de enkelte faser, som er inddraget i vurderingen af den kystnære havmøllepark i Jammerland Bugts påvirkning af klima og luftkvalitet

2.2. Anlægsfasen på havet

Vindmøller, fundamenter og kabler

Ved produktion af møllerne 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 mængder 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 møller, er præsenteret i Tabel 3. Da der ikke er specifikke data om komponenternes masse tilgængeligt for 7 MW møller, vil omfanget af materialeforbrug for dette scenarie være med udgangspunkt i 8 MW vindmøller, som et konservativt estimat.

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

Turbine komponent	Materiale	3 MW	7 MW
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	7 MW
Monopæl af stål uden TP		
Stålpæl	290 t	600 t
Erosionsbeskyttelse	1.100 m ³	2.100 m ³
Gravitationsfundament i beton		
Beton	1.200 t	2.500 t
Ballast (sand)	1.000 m ³	2.200 m ³
Erosionsbeskyttelse	800 m ³	1.300 m ³

Der skal yderligere etableres intern kabelføring mellem møllerne samt et ilandsføringskabel fra den kystnære havmøllepark ind til land. Længden af kablerne og den skønnede nødvendige mængde er vist i Tabel 5. Lederne i kablerne forventes at være af aluminium, som derfor anvendes i beregningerne af CO₂-udledningen.

Tabel 5. Længden og mængden af de forskellige kabeltyper der forventes at bruges internt mellem møllerne og til ilandføringen til Asnæsværket.

	Materiale	Længde (km)	Materiale mængde (ton)
Internt kabelsystem			
33Kv	Aluminium	64	3.110
Ilandføringskabel			
33 Kv (8 stk.)	Aluminium	6	1.901

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), hvorfra data om driftsperiode og tekniske specifikationer på relevante fartøjer er indsamlet.

Som et konservativt estimat, udføres beregningen for 3 MW scenariet, med flest møller og derfor længst anlægsperiode og flest fartøjer i brug. Det antages, at anlægsperioden for Jammerland Bugt er ca. 55 % af anlægsperioden for Horns Rev 3, da der etableres 60 møller fremfor 111 møller. Det forventes, at der anvendes helt samme type fartøjer i perioden, med samme tekniske specifikationer i Jammerland Bugt projektet, som i Horns Rev 3.

For eksemplets skyld gennemgås her beregningen for emissionen fra én transportpram, under installering af kabler. Dette type fartøj er specificeret med 2.122 kW motorkraft og en "type 2" motor med en load factor på 0,31. Den estimeret udledning af udstødningsgasser fra fartøjer er angivet i Tabel 6 og inddrages i beregningen.

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

Parameter	CO ₂	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
Fartøj, type 0 (g/kWh) udledt	690	13	1,3	0,3
Fartøj, type 2 (g/kWh) udledt	690	6,8	1,3	0,3

Sammenlignet med Horns Rev 3, vurderes transportprammen at være i drift i 2.020 timer ved kabellægningen i Jammerland Bugt projektet. Beregningen til estimering af CO₂ udledningen fra transportprammen ser dermed således ud:

$$2020 \frac{\text{timer}}{\text{år}} * 2122 \text{ kW} = 4.286.440 \frac{\text{kWh}}{\text{år}}$$

$$4.286.440 \frac{\text{kWh}}{\text{år}} * 690 \frac{\text{g}}{\text{kWh}} * 0,31 (LF) * \frac{10^{-6} \text{ ton}}{\text{g}} = 917 \text{ ton}$$

Ovenstående beregningsmetode er anvendt for udledningen af CO₂, NO_x, SO₂ og partikler (PM₁₀) fra samtlige fartøjer, der forventes anvendt i projektet.

2.3. Anlægsfasen på land

Kabler på land

På land forventes der at skulle lægges 8 stk. 50 kV kabler i en korridor på ca. 3 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 Jammerland Bugt kystnær havmøllepark.

	Materiale	Længde (km)	Materiale mængde (ton)
Landkabel			
66Kv (8 stk.)	Aluminium	3	1.166
Dækning af kabler	Sand	3	2.276

CO₂-udledningen ved transport af materialer under kabellægning på land er baseret på, hvor langt HGVer (heavy goods vehicle) skal køre. Der bruges en CO₂-emissions-

faktor på 0,99 kg/km¹, som er baseret på, at køretøjerne har en kapacitet på >33 t. 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.

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 Jammerland Bugt.

Områdets følsomhed over for støvemission er bestemt ud fra inddelingen i Tabel 8. I vurderingen inddrages området 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 inddeles de forskellige faser i forbindelse med kabellægningen i støvemissionsklasser alt efter, hvor omfattende arbejdet er og derved, hvor stor påvirkningen er.

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

Tabel 9 Kriterier til vurdering af grad af støvemission

Aktivitet	Kriterier til at vurdere støvemissions klasser		
	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 Jammerland Bugt Kystnær Havmøllepark skabe en positiv klimaeffekt.

Det årlige energiudbytte ved drift af den kystnære havmøllepark 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 Jammerland Bugt Kystnær Havmøllepark. I beregningen er det forudsat, at elproduktionen fra møllerne 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 møllernes el-produktion forventes at erstatte.

Tabel 10 Emissionsopgørelser fra Energinet.dk's miljødeklaration 2017. Emissionerne er gældende for el produceret til forbrug.

Emissioner til luft i 2017	El forbrug (g/kWh)
CO ₂ (Kuldioxid - drivhusgas)	430
SO ₂ (Svovldioxid)	0,05
NO _x (Kvælstofilter)	0,22
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, 2016, var den nationale udledning af CO₂ i 2016 på 91.348.000 ton (DST, 2016). 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.

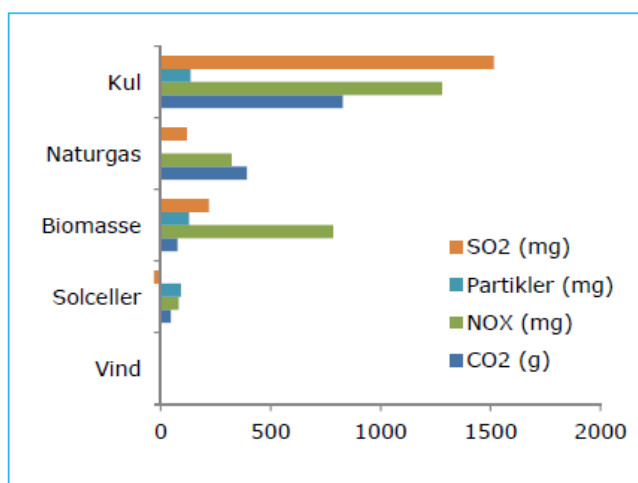
NO_x er summen af NO og NO₂, som dannes ved forbrændingsprocesser. I luften kan NO omdannes til NO₂, hvis der er tilstrækkeligt ozon tilstede. NO₂ indgår i det danske system for smogvarsling, da den er påvist sundhedsskadelig. Samtidig er NO₂ miljøskadelig, da den i luften kan omdannes til salpetersyre, 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 byområde. De to stationer repræsenterer yderpunkterne af de målte gennemsnitskoncentrationer i det danske måleprogram.

Tabel 11 Gennemsnitskoncentrationer fra to målestationer i Danmark, i 2016. Grænseværdier for de pågældende parametre er også angivet (AU, 2017).

Måleparameter	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
Målestation uden for byområde (LI. Valby) µg/m ³	9	-	14
Målestation 1103, i by (København, gade) µg/m ³	116	1,8	28
Grænseværdi µg/m ³	40	20	40

I Tabel 11 ses, at der i 2016 forekom overskridelser af grænseværdien for NO_x ved målestation 1103 i København, imens niveauerne målt ved LI. Valby er væsentlig lavere end grænseværdien. Niveauet af NO_x og partikler i luften i København og andre tilsvarende byområder skyldes meget trafik og heraf stor udledning af udstødningsgasser. Niveauet af luftforurening ved LI. Valby målestationen giver et indtryk af baggrunds niveauet i luften i Danmark.

Beregnete udledninger af NO_x, SO₂ og PM₁₀ i forbindelse med realisering af Jammerland Bugt Kystnær Havmøllepark kan sammenlignes med de nationale udledninger og gældende grænseværdier for disse parametre. De nationale emissioner fra 2016 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, 2016, 2015).

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

Parametre	NO _x *	SO ₂ *	PM ₁₀ *	CO ₂
National udledning (ton) 2016	961.106	203.223	47.607	91.348.000

*Data er fra 2015, da tallene for 2016 endnu ikke er offentliggjort

4. VURDERING AF VIRKNINGER PÅ HAVET

4.1. Anlægsfasen

4.1.1 Jammerland Bugt

De totale mængder CO₂ udledt ved fremstilling af møller og fundamenter til den kystnære havmøllepark i Jammerland Bugt er vist i Tabel 13 og Tabel 14. Resultatet er for de to værst tænkelige scenarier, henholdsvis 60 stk., 3 MW møller og 34 stk. 7 MW møller.

Tabel 13. Estimeret CO₂ (ton) emission fra fremstilling af materialerne, anvendt til turbinerne i begge de værst tænkelige scenarier. 7 MW scenariet er estimeret ved at inddrage tilgængelig data for 8 MW mølle.

Turbine komponent	Materiale	3 MW	7 MW
Nacelle CO ₂ (t)	GRP	57.837	75.794
Nav CO ₂ (t)	Støbejern	3.123	4.597
Mølletårn CO ₂ (t)	Stål	11.997	15.409
Blade CO ₂ (t)	GRP	4.612	8.625
Total CO₂ ton		77.569	104.425
% ift. national CO₂-emission 2016 (91.348.000 t)		0,08 %	0,11 %

Tabel 14. Estimeret CO₂ (ton) emission fra fremstilling af komponenterne til fundamenterne, hele den kystnære havmøllepark. 7 MW scenariet er estimeret ved at inddrage tilgængelig data for 8 MW mølle.

Materiale	3 MW	7 MW
Monopæle af stål uden TP		
Stålpæl CO ₂ (t)	23.194	27.193
Fundament beskyttelse CO ₂ (t)	330	357
Total CO₂ (t)	23.524	27.550
% ift. national CO₂-emission 2016 (93.274.000 t)	0,03 %	0,03 %
Gravitationsfundamenter i beton		
Beton CO ₂ (t)	74.880	88.400
Ballast (sand) CO ₂ (t)	138	172
Fundament beskyttelse CO ₂ (t)	240	221
Total CO₂ (t)	75.258	88.793
% ift. national CO₂-emission 2016 (91.348.000 t)	0,08 %	0,10 %

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

Kabler offshore	Materiale	50 Kv (8 stk.)
CO ₂ (t) Ilandføringskabel	Aluminium	12.741
CO ₂ (t) Internt kabelsystem	Aluminium	20.849
% ift. national CO ₂ -emission 2016 (91.348.000 t)		0,04 %

I anlægsfasen anvendes desuden fartøjer til etablering af møllerne, 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 60 stk. 3 MW vindmøller. Der er taget udgangspunkt i fartøjsemissioner for havmølleprojektet Horns Rev 3 (Horns Rev 3, 2014). Det antages dog, at anlægsperioden for Jammerland Bugt Kystnær Havmøllepark er ca. 55 % af anlægsperioden for Horns Rev 3, da der etableres 60 møller fremfor 111 møller.

Aktivitet	Fartøj	Antal	CO ₂	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
Etablering af turbine-Monopæle	Installations-skib	2	11.917	197,45	22,55	4,95
	Jack-up pram	3	6.960	88,55	13,2	3,3
	Transport pram	2	1.678	16,5	3,3	0,55
Etablering af turbine Gravitationsfundament	Installations-skib	4	41.462	638	78,1	18,15
	Jack-up pram	3	6.960	88,55	13,2	3,3
	Transport pram	2	4.194	41,25	7,7	1,65
Installering af sub-station	Jack-up pram	1	5.843	110	11	2,75
	Installations-skib	1	48	1,1	0	0
Installering af kabler	Kabelnedlægningsfartøj	1	1.797	17,6	3,3	0,55
	Supportskib	1	4.461	44	8,25	2,2
	Transport pram	1	839	8,25	1,65	0,55
Mandskab	Mandskabsfartøj	9	7.092	78,1	13,2	3,3
Andet transport - support	Supportskib	1	547	5,5	1,1	0
Transport af komponenter	Installations-skib	1	758	7,7	1,65	0,55
Total, monopæle, ton (% af nationale emissioner)			41.939 0,05%	574,75 0,06%	79,2 0,04%	18,7 0,04%
TOTAL NATIONAL EMISSION 2016 TON			91.348.000	961.106	203.223	47.607
Total, gravitationsfundamenter, ton (% af nationale emissioner)			74.000 0,08%	1.040 0,11%	139 0,07%	33 0,07%
TOTAL NATIONAL EMISSION 2016 TON			91.348.000	961.106	203.223	47.607

Sammenlignet med monopæle vil etablering af gravitationsfundamenter 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 møllerne, 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 2016.

Scenarie	3 MW	7 MW
Turbine produktion CO ₂ (t)	57.837	75.794
Monopæle uden TP CO ₂ (t)	23.194	27.193
Gravitationsfundament CO ₂ (t)	75.258	88.400
Kabelsystem CO ₂ (t)	33.589	33.589
Fartøjer, monopæle	41.939	29.357*
Fartøjer, gravitationsfundament	74.000	51.800*
Total CO₂ ton		
Monopæle	156.559	165.933
Gravitationsfundament	240.684	249.583
% ift. national CO₂-emission 2016 (91.348.000 t)		
	0,17 % ^M	0,18 % ^M
	0,26 % ^G	0,27 % ^G

*Disse tal er for 7 MW scenariet estimeret som 70 % af 3 MW scenariet, på baggrund af væsentlig færre møller, men dog større delkomponenter.

Jævnfør Tabel 17, vil den samlede CO₂-udledning i anlægsfasen offshore, være 0,17 % - 0,47 % af den nationale CO₂-emission i 2016. Det værst tænkelige scenarie, i forhold til CO₂-udledning og klimaeffekt, vil knebent være ved 34 stk. 7 MW møller 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 udstødningsgasser 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 2016, 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 3 MW scenariet som det værst tænkelige scenarie.

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

Aktivitet	Fartøj	Antal	CO ₂	NO _x	SO ₂	PM ₁₀
Mandskab	Mandskabsfartøj	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 (0,20 %)	1.850 (0,19 %)	350 (0,17 %)	100 (0,21 %)
TOTAL NATIONAL EMISSION 2016 TON			91.348.000	961.106	203.223	47.607

Udledningen af samtlige parametre ved vedligeholdelsesarbejde årligt er svarende til mindre end 0,01 % af de danske totale udledninger i 2016. 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 møller resulterer derfor i en besparelse af CO₂-udledning. CO₂-besparelsen i forbindelse med driften af den kystnære havmøllepark i Jammerland Bugt er præsenteret i Tabel 19.

Tabel 19 Emissionsbesparelser ved drift af møllerne, årligt og i forhold til møllernes forventede levetid

Scenarie	CO ₂ besparelse	NO _x besparelse	SO ₂ besparelse	PM ₁₀ besparelse
3 MW (60 stk) – årligt energiudbytte = 806.790 MWh*	346.920 ton	177 ton	40 ton	8 ton
3 MW, 25 års levetid	8.672.993 ton	4.437 ton	1.008 ton	202 ton
3 MW, % ift. national emission 2016, 25 år	9,5 %	0,46 %	0,50 %	0,42 %
TOTAL NATIONAL EMISSION 2016 TON	91.348.000	961.106	203.223	47.607
7 MW (34 stk) – årligt energiudbytte = 980.803 MWh**	421.745 ton	216 ton	49 ton	10 ton
7 MW, 25 års levetid	10.543.630 ton	5394 ton	1226 ton	245 ton
7 MW, % ift. national emission 2016, 25 år	11,5 %	0,56 %	0,60 %	0,52 %
TOTAL NATIONAL EMISSION 2016 TON	91.348.000	961.106	203.223	47.607

*Ifølge data fra WindPro for 80 vindmøller, omregnet til 60 vindmøller.

**Ifølge data fra WindPro for 35 vindmøller, omregnet til 34 vindmøller.

Det ses i tabellen, at den største CO₂-besparelse sker ved opsætning af 34 stk. 7 MW møller frem for 60 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 møllerne, vurderes det, at fartøjernes udledning er uden betydning. Hvis driftsperioden på 25 år sættes i relation til den nationale udledning fra 2016, er der en tydelig positiv klimaeffekt i driftsfasen af møllerne. Klima-effekten svarer til en besparelse på 9,5-11,5 % af den samlede danske CO₂-udledning i 2016, afhængig af scenariet.

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 en kystnær havmøllepark i Jammerland Bugt 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 det værst tænkelige scenarie 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 den kystnære havmøllepark. I vurderingen (uddrag fra Tabel 16) af fartøjernes udledning er det værst tænkelige scenarie angivet nedenfor. Det værst tænkelige scenarie er en 3 MW kystnær havmøllepark 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)	74.000 0,08 %	1.040 0,11 %	139 0,07 %	33 0,07 %
TOTAL NATIONAL EMISSION 2016 TON	91.348.000	961.106	203.223	47.607

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 de værst tænkelige scenarier.

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

Komponent	Materiale	Genanvendelse %	3 MW	7 MW
Nav, turbine	Jern	98	3.061 ton	4.505 ton
Mølletårn, turbine	Stål	92	11.037 ton	14.176 ton
Kabler, ilandføring	Aluminium	92	31.169 ton	31.169 ton
Kabler, på land (ved 8 stk.)	Aluminium	92	7.193 ton	7.193 ton
Total CO₂-besparelse, ton			52.460 ton	57.043 ton
% ift. national CO₂-emission 2016 (91.348.000 t)			0,06 %	0,06 %

Genanvendelse af metaller vil derfor have en positiv indvirkning på luftkvaliteten, da genbruket 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 0,11 %, 0,07 % og 0,07 % NO_x, SO₂ og PM₁₀ sammenlignet med den nationale emission (i 2016) 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 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 3 km og kobler til elnettet ved Asnæsværket.

Kabler

I Tabel 22 er vist den estimerede CO₂-emission under materialefremstilling i forbindelse med kabellægning. Der forventes at lægge 8 landkabler (50 Kv) 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 (8 stk.)	Aluminium	1.166	7.818
Dækning	Sand	2.276	5,2
Total CO ₂ ton			8 stk.: 7.823
% ift. national CO ₂ -emission 2016 (91.348.000 t)			<0,01 %

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

Omfanget af anlægsarbejdet i forbindelse med nedlægning af kabler er meget begrænset, da kablets længde er ca. 3 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 den kystnære havmøllepark i Jammerland Bugt 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 det mulige kabeltracé, der er beskrevet i den tekniske projektbeskrivelse for Jammerland Bugt.

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

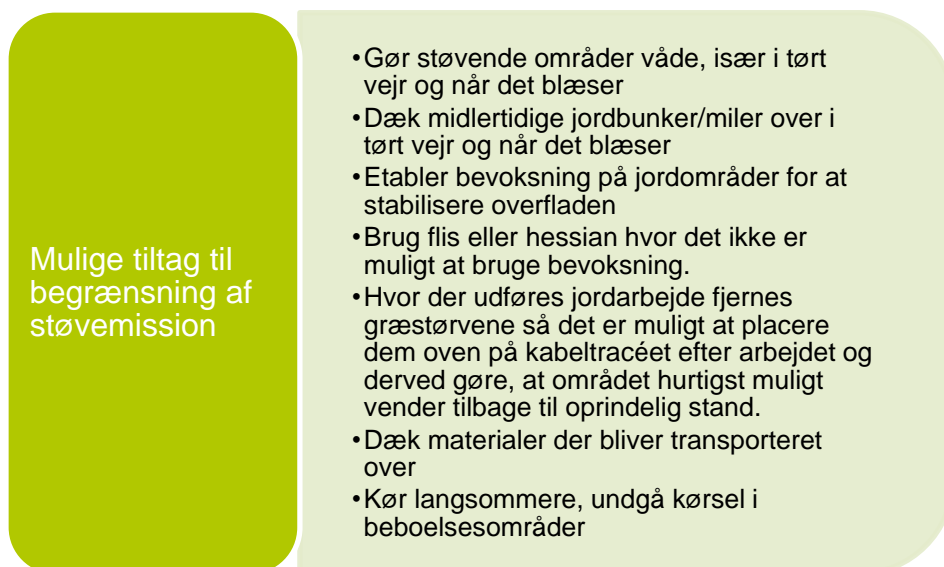
	Begrundelse	Vurdering
Sensibilitet		
Menneskelige receptorer	Der er 0 beboelser, der ligger i eller indenfor 20 m af kabeltracéområdet.	Lille påvirkning
Miljøreceptorer	Beskyttet strandeng og strandbeskyttelseslinjen berøres af tracéet*	Mellem påvirkning
Aktivitet		
Jordarbejde	Det totale areal af kabelgraven forventes at være max. 6.000 m ²	Medium påvirkning
Kørsel	Antallet af lastbilsture forventes at være 3-5 om dagen, med en max. anlægsperiode på 4 måneder	Lille

*Data hentet på Danmarks Miljøportal, 2014

Miljøreceptorerne på land er mest følsomme over for støvemission ved kabellægningen og vil ifølge Tabel 23 blive påvirket på et mellemniveau, da tracéets forløb berører beskyttet strandeng samt strandbeskyttelseslinjen. Der bør derfor foretages støvbe-grænsende tiltag, især ved gravearbejdet ved kystlinjen.

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 Jammerland Bugt 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 den kystnære havmøllepark, 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. 5 km vest for Jammerland Bugt projektområdet. Afstanden er af en størrelse, hvor det vurderes, at skibstrafikken ikke vil skabe en kumulativ

effekt på luftkvaliteten lokalt og regionalt. 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

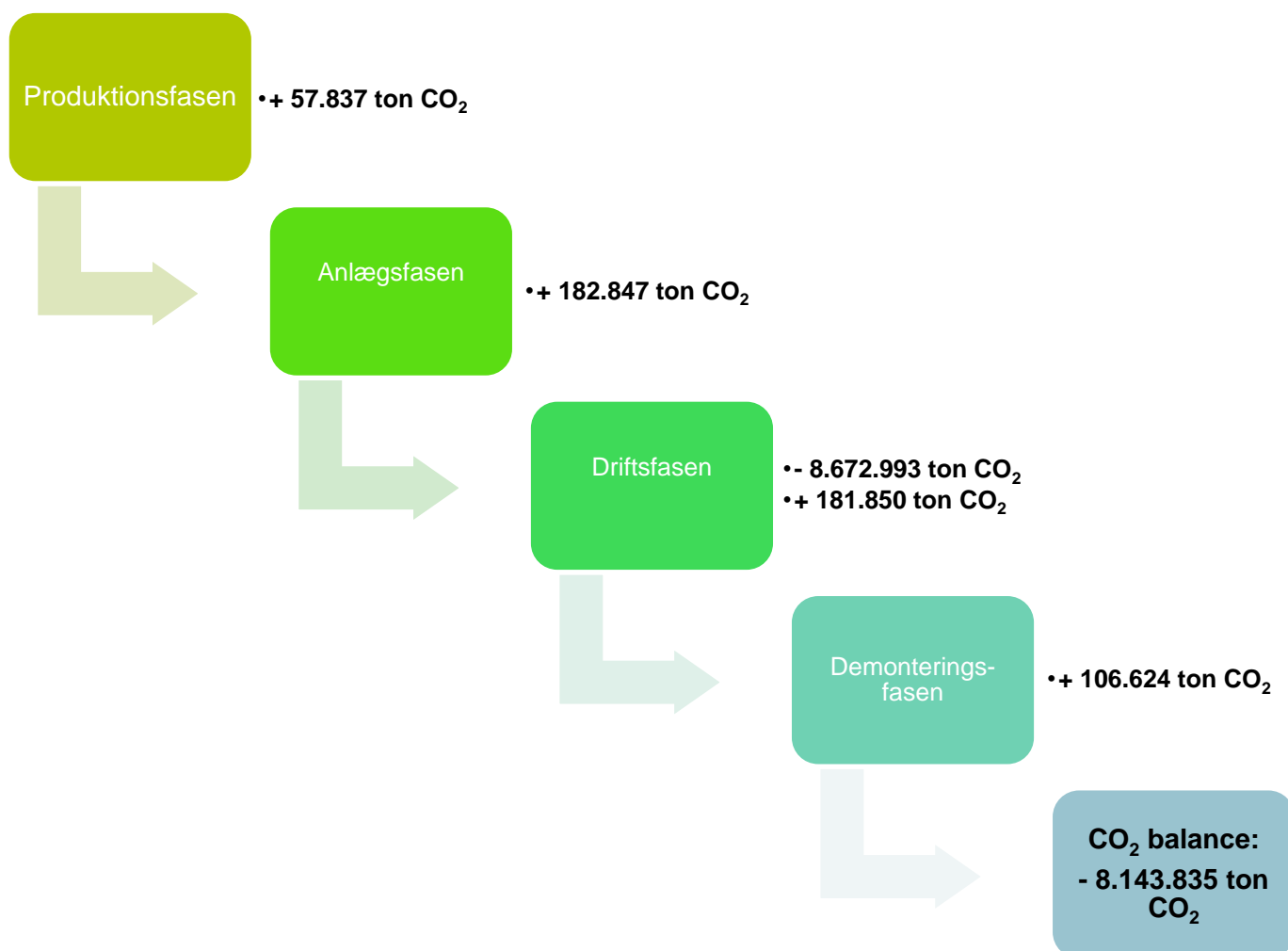
7.1. Luftkvalitet

Etableringen af den kystnære havmøllepark i Jammerland Bugt 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 3 MW 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 mølle, Afsnit 3.1.1. I stedet skal CO₂-balancen for Jammerland Bugt Kystnær Havmøllepark anses som et konservativt skøn, hvor der gennemgående er anvendt det værst tænkelige scenarie, og hvor der kun er inddraget forhold, som er kendte på nuværende tidspunkt.



Figur 5 Oversigt over CO₂ udledning i de enkelte faser af projektet i Jammerland Bugt, samt den endelige CO₂ balance (i scenariet med 3MW gravitationsfundamenter)

Anlægsfasen og demonteringsfasen har ubetydelig 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 – 8.143.835 ton svarende til en besparelse på ca. 10 % af den årlige danske CO₂-emission i 2016.

En realisering af Jammerland Bugt Kystnær Havmøllepark vil have en tydelig positiv virkning på klima og luftkvalitet.

8. REFERENCER

Aarhus universitet, 2016, 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, 2016, Miljødeklarering af 1 kWh el, www.energinet.dk/eldeklaration, hentet fra hjemmesiden i juni 2018

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