

Kriegers Flak Havmøllepark

Luftforurening
VVM-redegørelse
Teknisk baggrundsrapport
Juni 2015



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

Luftforurening

**VVM-redegørelse for Kriegers Flak
Havmøllepark**

Teknisk baggrundsrapport



Juni 2015

Udarbejdet af LKR
Kontrolleret af MXJ/BSJ
Godkendt af MXJ

Version: Endelig

Indholdsfortegnelse

Indholdsfortegnelse	1
1 Ikke-teknisk resumé	1
2 Indledning	2
2.1 Formål med denne baggrundsrapport	2
2.2 Luftforurening.....	2
3 Projektbeskrivelse	3
4 Metode	5
5 Aktiviteter med potentiel påvirkning af luftkvalitet og klima	9
5.1 Anlægsfase.....	9
5.1.1 Materialeforbrug og etablering af havmølleparken	9
5.2 Driftsfase.....	11
5.2.1 Vedligeholdelse	11
5.2.2 Produktion af el	12
6 Eksisterende forhold	13
6.1 Udviklingen i emissioner i Danmark	13
6.1.1 Kuldioxid (CO ₂).....	13
6.1.2 Kvælstofilter (NO _x)	13
6.1.3 Partikler (PM).....	13
6.1.4 Svovldioxid (SO ₂).....	14
6.2 Luftkvalitet.....	14
6.3 Skibstrafik	14
7 Påvirkninger i anlægsfasen	17
7.1 Emission fra materialeforbrug.....	17
7.1.1 Emission fra anlægsarbejdet	17
7.2 Vurdering	19

7.3	0-alternativ	21
8	Påvirkninger i driftsfasen	22
8.1	Emissioner fra vedligeholdelse	22
8.2	Produktion af el	22
8.3	Vurdering.....	23
8.4	0-alternativ	23
9	Påvirkninger i demonteringsfasen	24
9.1	Emissioner fra demontering	24
9.2	Vurdering.....	24
9.3	0-alternativ	24
10	Kumulative effekter	25
11	Afværgeforanstaltninger	26
12	Manglende oplysninger	27
13	Referencer	28

1 Ikke-teknisk resumé

Denne rapport indeholder en beregning af emissionerne til luften i forbindelse med produktion af materialer, opførelse, drift og afvikling af Kriegers Flak Havmøllepark. Rapporten indeholder desuden en vurdering af emissionernes påvirkning i forhold til global opvarmning, forsurening og luftkvalitet.

For havmølleparken medfører de mindste havmøller (3 MW) de største emissioner i anlægsfasen. Installering af fundamenter til havmøllerne medfører en stor del af den samlede emission i anlægsfasen, og der er stor forskel på emissionerne, afhængigt af hvilken type fundament, der vælges.

I anlægsfasen har emissionen af CO₂ fra produktion af materialer en ubetydelig påvirkning i form af global opvarmning, og emissionen af NO_x og SO₂ har en mindre påvirkning i form af forsurening. Transport af materialer og anlægsaktiviteter har en ubetydelig påvirkning af luftkvaliteten.

I driftsfasen er emissionen fra vedligehold af havmøllerne ubetydelig i forhold til de sparede emissioner fra produktion af el på havmøller frem for en produktion med mere konventionel el-produktion. Drift af havmøllerne vil således have en væsentlig positiv påvirkning i forhold til forsurening og global opvarmning.

I afviklingsfasen forventes emissionerne af NO_x og SO₂ at have en mindre påvirkning, og emission af CO₂ vurderes at medføre en ubetydelig påvirkning af klimaet .

I den samlede livscyklus fra anlæg til afvikling af havmølleparken vil emissionerne have en væsentlig positiv påvirkning i forhold til forsurening og global opvarmning.

Emissionen af forurenede stoffer i anlægsfasen fra skibstrafik bliver reguleret ud fra de nye IMO-regler. Yderligere regulering af emissionerne kan ske i form af krav til entreprenører m.v. i forbindelse med udbud af anlægsarbejdet.

Der vurderes ikke at være risiko for væsentlige negative kumulative effekter af emissioner til luften fra anlægs- eller driftsfasen af Kriegers Flak Havmøllepark sammenholdt med andre projekter i området.

Etableringen af Kriegers Flak Havmøllepark vil medvirke til at nedbringe den samlede danske emission af forurenende stoffer til atmosfæren.

2 Indledning

2.1 Formål med denne baggrundsrapport

Formålet med denne rapport er at beregne størrelsesordenen af luftemissioner og vurdere potentielle påvirkninger af luftkvaliteten herfra i forbindelse med etablering, drift og demontering af havmølleparken på Kriegers Flak.

2.2 Luftforurening

Luftforurening er et kompliceret resultat af udledning, spredning i luften og kemiske og fysiske omdannelser i atmosfæren. Lave kilder (fx trafik og lokal boligopvarmning) kan give anledning til væsentlig lokal luftforurening i byområder.

Forureningen fra høje punktkilder (fx skorstene fra kraftværker) fortyndes betydeligt, før den når jordoverfladen, og giver derfor ikke anledning til væsentlig eksponering af befolkningen i Danmark, men bidrager til den generelle baggrundsforurening i Danmark og i Europa. Tilsvarende påvirkes Danmark i betydelig grad af forureningen fra det øvrige Europa, herunder også fra skibe.

Herudover er der en række naturlige kilder til luftforurening, fx VOC (flygtige organiske forbindelser) fra vegetation, jordstøv, salt fra havet og skovbrande. Disse kilder ligger dog i vid udstrækning uden for menneskets kontrol.

3 Projektbeskrivelse

Havmølleparken opføres på Kriegers Flak, der ligger i Østersøen ca. 15 km øst for Møn, se Figur 1.

Den installerede kapacitet på Kriegers Flak er begrænset til 600 MW. Kapaciteten af hver enkelt havmølle vil være mellem 3 og 10 MW. Afhængigt af hvilken møllestørrelse, der vælges, vil havmølleparken komme til at bestå af mellem 60 og 200 havmøller for at nå den installerede effekt på 600 MW. Der gives desuden mulighed for at etablere ekstra havmøller for at sikre, at der kan opretholdes en el-produktion på 600 MW i de perioder, hvor enkelte havmøller er ude af drift, og vindforholdene er optimale. Ved 3 MW gives mulighed for at etablere 203 havmøller, mens der ved 10 MW gives mulighed for at etablere 64 havmøller. Det præcise design og udseende af havmøllen vil afhænge af producenten, som bliver valgt af koncessionshaveren.

Havmøllerne består af et mølletårn, en rotor og en nacelle. Rotoren består af et nav, hvorpå der er fastgjort tre vinger, mens nacellen indeholder generator, gearkasse og andet teknisk udstyr.

Havmøllerne installeres på fundamenter, som står fast på havbunden. Der tages udgangspunkt i følgende typer af havmølle-fundamenter: monopælfundament af stål, gravitationsfundament af beton, jacketfundament eller bøttefundament.

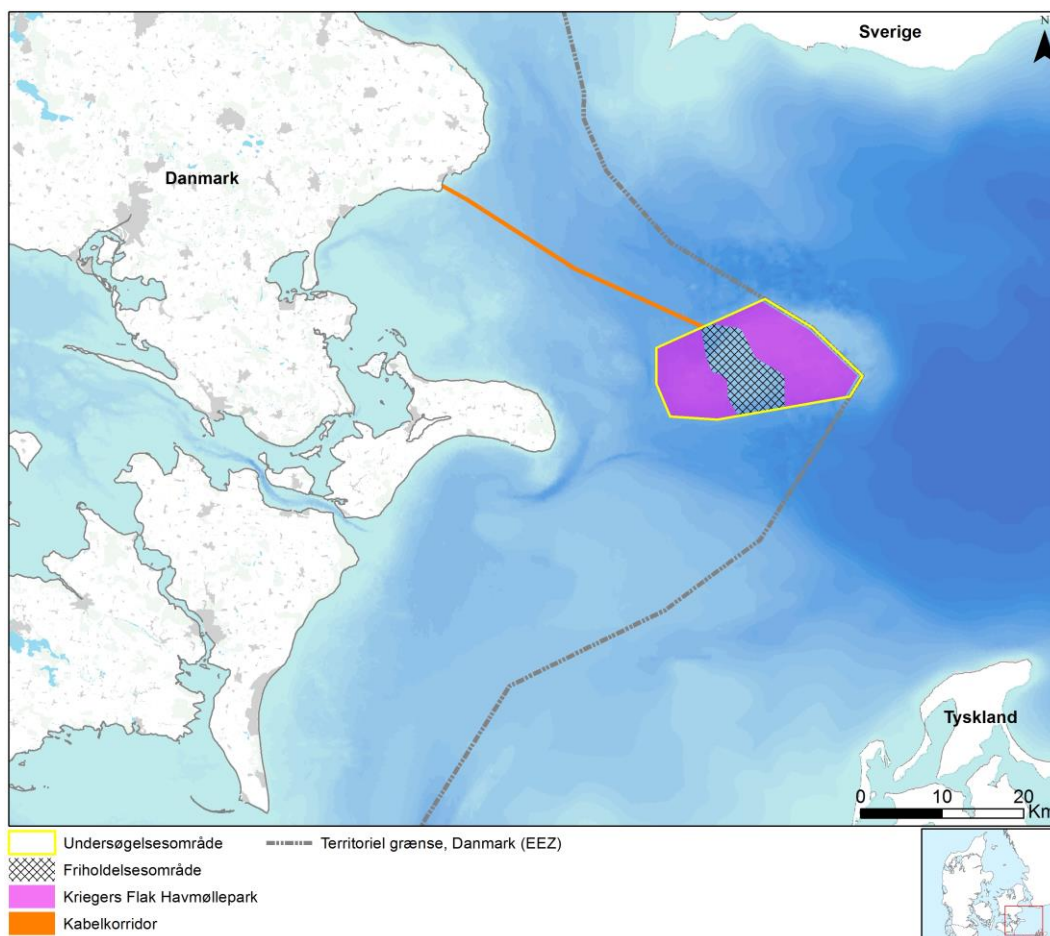
For at nettilslutte de 600 MW havmøller på Kriegers Flak vil der blive etableret 2-3 transformerplatforme, én for havmøllerne i den vestlige del (200 MW) og en eller to kombinerede platforme for havmøllerne i den østlige del (400 MW).

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

Der etableres et net af mellemspændingskabler, der forbinder 8-10 rækker havmøller indbyrdes, hvorefter rækken forbindes til en transformerplatform. Længden af søkablerne vil afhænge af størrelsen af havmøllerne og havmølleparkens layout.

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

Alle søkabler vil blive nedgravet i havbunden for at beskytte kablerne mod fiskegrej, drivende ankre osv. Afhængigt af havbundsforholdene vil søkablerne blive installeret ved nedspuling eller nedgravning i en forgravet rende.



Figur 1 Den planlagte beliggenhed af Kriegers Flak Havmøllepark på dansk søterritorium. Undersøgelsesområdet er angivet som et polygon på ca. 250 km². Omtrent midt i undersøgelsesområdet er der et friholdelsesområde, hvor der ikke må opstilles havmøller. En del af dette område er udlagt til råstofindvinding, og den resterende del af området er reserveret til placering af anlæg og søkabler relateret til ilandføring.

For uddybende beskrivelse af havmølleparken henvises til projektbeskrivelsen. (Energinet.dk, 2015).

Alternativer

Alternativer til placeringen af en havmøllepark ved Kriegers Flak er beskrevet i VVM-redegørelsen. I VVM-redegørelsen er det oplyst, hvilke alternativer bygherren har undersøgt, og de vigtigste grunde til valg af alternativ under hensyn til virkningerne på miljøet.

4 Metode

De eksisterende forhold beskrives både ud fra den generelle luftkvalitet i Danmark samt skibstrafikkens bidrag til luftforureningen såvel nationalt som lokalt. For skibstrafikken redegøres for de regler, der internationalt og nationalt er vedtaget for at regulere og begrænse luftforureningen.

Ud fra skibstrafikkens bidrag til luftforurening i området foretages en vurdering af projektets forventede bidrag til luftforureningen såvel for produktionsfasen og anlægsfasen som for driftsfasen. For demonteringsfasen er det skønnet, at transportformer og emissioner herfra vil ændre sig en del over de næste 30 år, hvorfor det ikke er muligt på nuværende tidspunkt at foretage en beregning af emissionerne fra demonteringsfasen.

Vurderingen af projektets mulige påvirkninger af luftforurening og klimaforhold er baseret på den eksisterende viden om projektet, livscyklusvurderinger for energi (Energinet.dk, 2010) og beregninger af luftemissioner i anlægsfasen for etablering af havmøller ved Anholt (Energinet.dk, 2009). Det vurderes, at forholdene ved Anholt Havmøllepark er sammenlignelige med projektet ved Kriegers Flak, og at data herfra kan bruges i denne rapport.

Emissioner som følge af energiforbrug kan relateres til en lang række parametre, hvoraf de primære i forbindelse med produktion af materialer, skibstrafik og produktion af el på kraftværk vurderes at være:

- Kuldioxid (CO₂)
- Kvælstofoxider (NO_x)
- Svovldioxid (SO₂)
- Partikler

Energiforbrug til etablering af havmøller og det tilknyttede CO₂-udslip har primært betydning i det globale perspektiv. CO₂ er en drivhusgas, som bidrager til den globale opvarmning med tilhørende risiko for klimaforandringer.

Støvemissioner er ikke estimeret.

Luftforureningskomponenter

CO₂ eller kuldioxid er en luftart, der dannes ved ånding og forbrænding. Afbrænding af fossile brændstoffer bidrager til et forøget CO₂-indhold i atmosfæren. Stigende CO₂-koncentrationer i atmosfæren er den væsentligste årsag til global opvarmning med tilhørende risiko for klimaforandringer.

NO_x er en samlet betegnelse for kvælstofoxiderne NO og NO₂. NO₂ er luftvejsirriterende og kan nedsætte lungefunktionen og menneskers modstandskraft mod infektioner i lungerne. NO₂ er især et problem for personer med luftvejssygdomme, f.eks. astma og bronkitis. NO er langt mindre skadelig, men vil i atmosfæren blive omdannet til NO₂. De væsentligste kilder til forurening med kvælstofoxider er trafik og kraftværker. NO_x virker som gødning for planter og medvirker til forurening af både land- og vandmiljøer. NO_x-udledningen er derudover medvirkende til sur nedbør (syreregn), der kan påvirke vegetation og vandmiljø.

SO₂ omdannes til svovlsyre og sulfat i løbet af omkring et døgn. Svovlsyre er en medvirkende årsag til "sur nedbør". Svovldioxid kan give anledning til luftvejsproblemer. Partikler mindre end 10 µm (PM₁₀) stammer fra ophvirvlet jordstøv, forbrænding og dannelse ved iltning af bl.a. NO_x og SO₂. De mindste partikler (mindre end 1 µm), som dannes ved forbrænding og kemiske reaktioner i atmosfæren, menes at være de mest skadelige for helbredet. Der er imidlertid stadig stor usikkerhed om sammenhæng mellem sundhedsskader og partikelstørrelser.

(DCE, <http://envs.au.dk/videnudveksling/luft/effekter/natur/>).

Emissioner til luft fra produktionsfasen vil primært afhænge af mængden af materiale, der skal anvendes til havmøllerne.

I Tabel 1 er emissionsfaktorer pr. ton produceret materiale angivet for det væsentligste materialeforbrug.

	CO ₂ Kg/tons	NO _x Kg/tons	SO ₂ Kg/tons
Beton	1.040	1,7	1,3
Stål	1.333	2,9	2,9
Støbejern	1.352	3,3	3,3
Glasfiber	7.687	14,0	20,7
Sand	2,3	0,02	0,005

Tabel 1: Emissionsfaktorer for produktion af materialer (Ecoinvent-databasen i SimaPro).

For anlægsfasen vil emissionerne afhænge af mængden af transportarbejde, hovedsageligt fra transport-, installations- og støttetfartøjer. Da skibenes lasteevne ligger fast, vil emissionen afhænge af mængden af materiale, der skal transporteres.

Ved beregning af offshore emissioner fra anlægs- og driftsperioden er der anvendt følgende forudsætninger:

Emissionerne er estimeret på baggrund af det forventede brændstofforbrug for de fartøjer, som forventes anvendt til anlægsarbejdet jf. Tabel 5 og Tabel 6. Forbruget i kWh er beregnet på grundlag af forventet driftstid for de enkelte fartøjer m.v. og med udgangspunkt i fartøjs- og maskindata samt driftstimer fra Anholt Havmøllepark. Disse data er desuden anvendt til beregning af emissionerne af SO₂, NO_x og CO₂. Emissioner fra kabel-lægningsfartøjer er ikke medtaget.

Brændstofforbruget er beregnet ud fra standardtal for forbruget af brændstof pr. kWh. En nyere dieselmotor forbruger ca. 160 – 170 g diesel pr. kWh (hhv. 2- og 4-takts dieselmotor) og ældre dieselmotorer forbruger ca. 200 – 210 g diesel / kWh. I denne rapport er emissionerne estimeret på baggrund af et gennemsnitligt forbrug på 190 g brændstof / kWh uanset brændstoftype (Umweltbundesamt, 1999), (Wahlström, 2006).

Brændstof til marine formål er inddelt i følgende kategorier:

Heavy fuel olie (HFO), medium fuel olie (MFO), intermediate fuel olie (IFO) og "light marine destillates", som omfatter marin diesel olie (MDO) og marin gas olie (MGO). Det er antaget, at de anvendte fartøjer anvender enten HFO eller MGO.

Der er kalkuleret med et svovlindhold i olien på maksimalt 0,1 % (Marpol-krav fra 2015 i Østersøen) og et maksimalt kvælstofudslip (som NO₂) på 12 g/kWh. Marpol-krav gældende for fartøjer bygget efter 2000 er 9,8 – 17 g/kWh afhængigt af omdrejningstal, og for fartøjer bygget efter 2011 er kravene 7,7 – 14,4 g/kWh (IMO, 2008).

CO₂-emissionen estimeres som proportional med brændstofforbruget.

Der er i denne rapport anvendt en emissionsfaktor på 3,2 t CO₂/t brændstof, svarende til den anvendte faktor i emissionsberegningerne udført for Anholt Havmøllepark, og til hvad der generelt anses for en gennemsnitlig emission.

De estimerede emissioner er behæftet med en betydelig usikkerhed, både på grund af usikkerheden med hensyn til de anvendte fartøjer og antallet af driftstimer, men også på grund af usikkerheden på emissionsfaktorerne, som afhænger af de i praksis anvendte motorer, fartøjer, brændstoftyper, belastninger og driftstimer m.v. På trods af denne usikkerhed, vurderes det, at de faktiske emissioner vil være i samme størrelsesorden, som estimeret i denne rapport.

Arbejdstimer for installation af havmøller vil primært afhænge af antallet af havmøller. Derfor vil etablering af 203 stk. 3 MW havmøller være udtryk for worst case. I henhold til den tekniske projektbeskrivelse vil der være anlægsaktiviteter hele døgnet. Antallet af arbejdstimer og omfanget af anlægsarbejde og servicearbejde i driftsperioden er base-

ret på oplysningerne i den tekniske projektbeskrivelse sammenholdt med data fra rapporten om emissioner fra Anholdt Havmøllepark.

Det største materialeforbrug til etablering af havmøllerne er ved 203 stk. 3 MW havmøller.

Uanset valg af størrelsen af havmøllerne vil den forventede effekt af havmølleparken være 600 MW.

0-alternativet er den situation, hvor der ikke opføres en havmøllepark ved Kriegers Flak.

Energinet.dk's miljødeklaration 2012 (Energinet.dk, 2012) beskriver miljøpåvirkningen ved forbrug af én kWh el som en gennemsnitsværdi. Brændselssammensætningen af én kWh gennemsnitsstrøm i Danmark bestod i 2012 af 27 % kul, 12 % naturgas, 41 % vind, vand og sol, 14 % affald, biomasse og biogas, 1 % olie og 5 % atomkraft.

	CO ₂ g/kWh	NO _x g/kWh	SO ₂ g/kWh	Partikler g/kWh
El	288	0,24	0,06	0,01

Tabel 2: Emissionsfaktorer for produktion af 1 kWh el (Energinet.dk, 2012).

5 Aktiviteter med potentiel påvirkning af luftkvalitet og klima

I det følgende redegøres for de anlæg og aktiviteter, der potentielt vil medføre væsentlige emissioner til luft i anlægs- og driftsfasen.

5.1 Anlægsfase

5.1.1 Materialeforbrug og etablering af havmølleparken

I anlægsfasen vil der være emissioner som følge af materialeforbrug og som følge af transport af materialer og mandskab samt etablering af havmølleparken.

I Tabel 3 er angivet det forventede materialeforbrug til havmøllerne og i Tabel 4 er angivet det forventede materialeforbrug til fundamenterne for 203 stk. 3 MW havmøller. Der er tale om tre alternative funderingsmetoder.

3 MW	Materiale	Vægt pr. stk.	Vægt for 203 stk.
		Tons	Tons
Nacelle	Glasfiber	125,4	25.456
Nav	Støbejern	68,5	13.906
Mølletårn	Stål	150	30.450

Tabel 3: Forventet materialeforbrug til 203 stk. 3 MW havmøller (Energinet.dk, 2015).

3 MW	Monopæle	Gravitationsfundamenter	Jacketfundamenter
Pæle (stål)	60.900-142.100 t		80.000 t
Overgangsstykker (stål)	20.300-30.450 t		
Beton		263.000-364.000 t	
Ballast (sand)		263.900-365.400 m ³	
Totalt volumen af afgravet materiale		182.700-263.900 m ³	
Totalt volumen af anbragte sten		18.270-36.540 m ³	
Total erosionsbeskyttelse	426.300 m ³	121.800-162.400 m ³	162.400 m ³

Tabel 4: Forventet materialeforbrug til etablering af fundamenter for 203 stk. 3 MW havmøller for forskellige typer fundamenter inklusiv erosionsbeskyttelse (Energinet.dk, 2015).

Som nævnt i kapitel 3, Projektbeskrivelse, kan bøttefundamenter også anvendes. Materiale-mængder til bøttefundamenter kendes ikke.

Produktion af de interne kabler og ilandføringskablerne vil ligeledes medføre forbrug af materialer og dermed udslip af CO₂. Dette er ikke kvantificeret.

Emissioner vil desuden opstå som følge af transport af mandskab, materialer (bl.a. havmølledele, transformerplatforme og kabler) og øvrige forsyninger samt fra anlægsarbejdet, herunder – afhængig af fundamenttype – uddybning, udlægning af stenpuder, anlæg af fundamenter og opsætning af havmøller m.v. Omfanget af skibstrafik forventes at være sammenligneligt med skibstrafikken ved etablering af havmølleparken ved Anholt. Det forventede omfang er vist i Tabel 5. Helikoptere kan i anlægsfasen anvendes til installation af transformerstationer, havmøller og til persontransport.

	Motor / maskinstørrelse (kW)	Antal fartøjer	Brændstof	Arbejdsdage 203 havmøller på 3 MW	Arbejdsdage 64 havmøller på 10 MW
Gravemaskine	1.500	1	MGO	621 ^A	186 ^A
Pram til gravemaskine	1.000	1	HFO	621 ^A	186 ^A
Pram til bundmateriale	1.000	1	HFO	466 ^A	140 ^A
Fartøj til transport af sten til stenpude	6.250	1	HFO	725 ^A	285 ^A
Fartøj til udlægning af stenpude	3.700	1	HFO	621 ^A	186 ^A
Jack-up fartøj til transport og installation af fundamenter	1.500	1	HFO	207	62
Slæbebåde til jack-up fartøj mv.	10.000	2	MGO	207	62
Pumpe/generator til injektionsmørtel	800	1	MGO	207 ^B	62 ^B
Pram til pumpe/generator	1.000	1	HFO	207 ^B	62 ^B
Fartøj til transport af sten til erosionsbeskyttelse	6.250	1	HFO	683 ^A 725 ^B	285 ^A 254 ^B
Fartøj til udlægning af sten til erosionsbeskyttelse	3.700	1	HFO	7.725 ^A 828 ^B	186 ^A 155 ^B
Flydekran til installation af mølledele og HVAC	2.750	1	HFO	207	62
Slæbebåde til transport af mølledele og HVAC	10.000	2	MGO	207	62
Fartøj til udlægning af kabel	13.000	1	MGO	21	12
Fartøj til installation af kabel	7,200	1	MGO	207	68

Tabel 5: Forventet anvendelse af fartøjer og udstyr i forbindelse med anlæg af havmølleparken på Kriegers Flak. ^AGravitationsfundament, ^BMonopælfundament.

5.2 Driftsfase

5.2.1 Vedligeholdelse

I driftsfasen vil emissioner hovedsageligt komme fra transport af servicepersonel og udstyr i forbindelse med vedligeholdelse af havmøllerne. Helikopter forventes at blive anvendt til især ikke-planlagt vedligeholdelse af havmøller og transformerplatform. Omfanget af skibstrafik mv. til vedligeholdelse forventes at være sammenligneligt med skibstrafikken ved vedligeholdelse af havmølleparken ved Anholt. Det forventede omfang er vist i Tabel 6.

Aktivitet/fartøj	Motor / maskinstørrelse (kW)	Antal fartøjer	Brændstof	Arbejdsdage 203 havmøller på 3 MW	Arbejdsdage 64 havmøller på 10 MW
Fartøj til inspektion af kabel/kabler i driftsperioden (30 år)	7.200	1	MGO	487	337
Fartøj til vedligeholdelse af havmøller og HVAC transformerplatforme m.v. i driftsperioden (30 år)	2.000	1	MGO	6096	1860

Tabel 6: Forventet anvendelse af fartøjer i forbindelse med drift og vedligehold af Kriegers Flak Havmøllepark. Tal er baseret på oplysninger i VVM vedr. Anholt Havmøllepark.

5.2.2 Produktion af el

Havmølleparken dimensioneres for en effekt på 600 MW. Den forventede årlige produktion er 2.442.550 MWh.

6 Eksisterende forhold

6.1 Udviklingen i emissioner i Danmark

6.1.1 Kuldioxid (CO₂)

Energisektoren er den største kilde til emission af CO₂ (45 %), herunder forbrænding af kul og naturgas, efterfulgt af transportsektoren (29 %). CO₂-emissionen faldt med ca. 25 % fra 1990 til 2011 (Nielsen et al., 2013). Det danske miljøøkonomiske regnskab opgjort af Danmarks Statistik viser en emission af CO₂ i 2012 på 93.274.000 tons (inkl. biomasse og emissioner fra danske skibe og fly uden for landets grænser) (Danmarks Statistik, 2014).

6.1.2 Kvælstofilter (NO_x)

Den største kilde til emissioner af NO_x er transportsektoren (47 %) efterfulgt af andre mobile kilder (entreprenør-, landbrugsmaskiner m.m.) og forbrænding i energisektoren (hovedsageligt kraftværker og fjernvarmeværker). Emissionen af NO_x er faldet med 55 % fra 1985 til 2011. Reduktionen skyldes øget brug af katalysatorer i biler og installation af lav-NO_x-brændere og de-NO_x-anlæg på kraftværker (DCE, 2013). Den nationale emission af NO_x i 2012 er estimeret til 1.089.100 tons (Danmarks Statistik, 2014).

6.1.3 Partikler (PM)

Emissionsopgørelsen for partikler inkluderer den totale emission af partikler (TSP), emissionen af partikler mindre end 10 µm (PM10) og emissionen af partikler mindre end 2,5 µm (PM2,5).

De største kilder til PM2,5-emission er husholdninger (67 %), vejtrafik (10 %) og andre mobile kilder (9 %). PM2,5-emissionen er steget med 2 % fra 2000 til 2011, hovedsageligt pga. det stigende træforbrug i husholdninger, der modsvares af et fald i emissionen fra transport og i mindre grad fra fremstillingsvirksomhed og bygge- og anlægsvirksomhed.

De største kilder til TSP-emission er landbrugssektoren og husholdningerne. TSP-emissionen fra transport er også vigtig og inkluderer både udstødningsemissioner og ikke-udstødningsrelaterede emissioner fra slid af bremses, dæk og vej. De ikke-udstødningsrelaterede emissioner udgør 63 % af TSP-emissionen fra transport (DCE, 2013).

Den nationale PM10 emission i 2012 er estimeret til 48.200 tons (Danmarks Statistik, 2014).

6.1.4 Svovldioxid (SO₂)

Hovedparten af SO₂-emissionerne stammer fra forbrænding af fossile brændsler, dvs. primært kul og olie, på kraftværker, kraftvarmeværker og fjernvarmeværker. Fra 1980 til 2011 er den totale udledning reduceret med 97 %. Den store reduktion er primært opnået gennem installation af afsvovlingsanlæg og brug af brændsler med lavt svovlindhold på kraftværker og fjernvarmeværker. National søfart (sejlads og fiskeri) bidrager med 13 % af den totale SO₂-emission (DCE, 2013). Den nationale emission af SO₂ i 2012 er estimeret til 233.300 tons (Danmarks Statistik, 2014).

6.2 Luftkvalitet

Luftkvaliteten i Danmark overvåges af DCE – Danish Centre for Environment and Energy – ved løbende målinger på ni målestationer placeret i de fire største danske byer samt ved to baggrundsmålestationer uden for byerne (Europa-Parlamentet, 2008). På baggrund af disse målinger har DCE beregnet luftkvaliteten ved anvendelse af egne luftkvalitetsmodeller.

I Tabel 7 vises målte gennemsnitskoncentrationer af partikler og NO₂ for hhv. den forventede luftforurening på landet, i bybaggrund og langs gader i 2012. Luften i bybaggrund, det vil sige i byområder mere end 50 m fra trafikeret gade, bruges normalt som det bedste mål for befolkningens eksponering for luftforurening.

Stof	På landet	Bybaggrund	Langs gader
Partikler (PM _{2,5})	ca. 10 µg/m ³	10 µg/m ³	15 µg/m ³
Kvælstofdioxid (NO ₂)	Ca. 10 µg/m ³	Ca. 20 µg/m ³	Ca. 40 µg/m ³

Tabel 7: Målte gennemsnitskoncentrationer for partikler (PM_{2,5}) og kvælstofoxider (NO₂) hhv. på landet, i byen (bybaggrund) og langs trafikerede gader i 2012 (Ellermann, 2013).

6.3 Skibstrafik

Den samlede luftforurening fra skibsfart har generelt været stigende over de senere år. Det skyldes dels vækst i skibsfarten, dels at reglerne for luftforurening fra skibe ikke er så stramme som reglerne for landbaserede kilder. Skibstrafikkens bidrag til luftforureningen består primært af kvælstofoxider (NO_x), svovldioxid (SO₂) og partikler.

I 2000 udgjorde skibsfartens udslip af NO_x og SO₂ i europæiske farvande omkring 30 % af udslippet fra landbaserede kilder i EU (Miljøministeriet, 2008).

Selvom skibsfarten er en miljøvenlig transportform sammenlignet med andre transportformer, så er udledningerne af sundhedsskadelige stoffer og CO₂ massive. Verdens største containerrederi Mærsk udledte i 2007 svovldioxid svarende til ni milliarder biler og CO₂ svarende til udledningen fra hele Danmark (Djursing, 2008). For at perspektivere

skal tilføjes, at den samlede transportsektor udleder omkring 23 % af den samlede globale CO₂-udledning. Deraf stammer kun omkring 4 % fra søfarten (Rederiforening, 2009).

Omkring halvdelen af al partikelforurening i danske byer kommer udefra, og en betydelig del stammer fra skibsfart. Når det handler om skibsfart og luftforurening, så er de mest betydende luftforureningskomponenter NO_x og ikke mindst SO₂. Sidstnævnte skyldes det store indhold af svovl i skibenes fuelolie, der bruges i et vist omfang af den nationale skibsfart – og som er meget udbredt i den internationale skibsfart (Palmgren, F, (red.), 2009).

DMU har i 2008 opgjort energiforbrug og emissioner fra søfart i Danmark for perioden fra 1990 – 2005 og beregnet prognose for udviklingen fra 2006 – 2030 for kategorierne international søfart, national søfart og fiskeri. International søfart er transport mellem en dansk havn og en udenlandsk havn. National søfart er transport mellem to danske havne og omfatter store færger, øfærger og øvrig national søfart. Fiskeri omfatter den nationale fiskerflåde (DMU, 2008).

Tabel 8 viser den procentvise fordeling i energiforbrug og emission af NO_x, partikler og SO₂ for 2005. International søfart har langt den største andel af søfartens samlede energiforbrug og emissioner, også i prognoseperioden.

2005	Energiforbrug %	NO _x %	Partikler (alle størrelsesfraktioner) %	SO ₂ %
International søfart	75	80	95	96
National søfart	10	8	3	2
Fiskeri	14	11	2	2

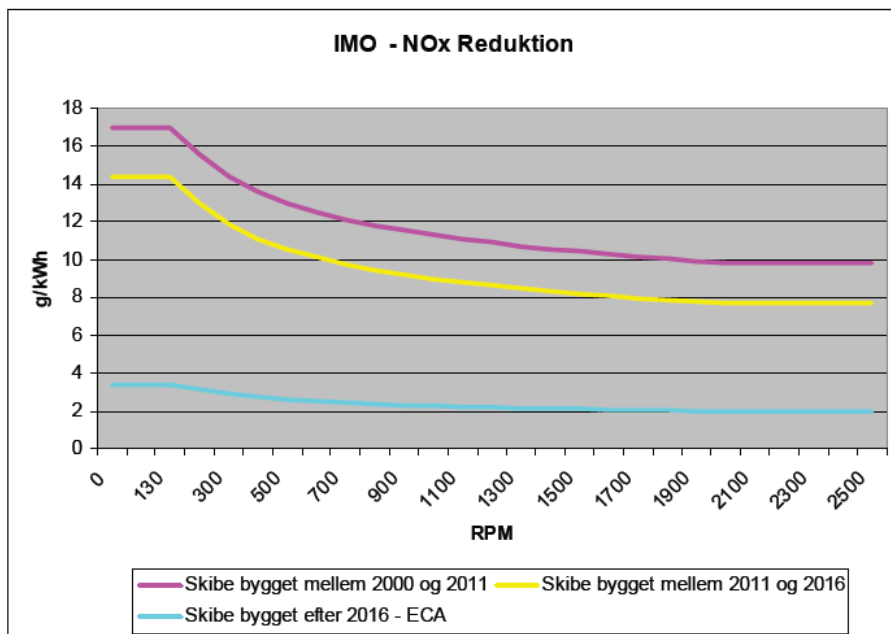
Tabel 8: Energiforbrug og forurening fra skibstrafik, 2005 (DMU, 2008).

Regler

Luftforurening fra skibe er primært reguleret internationalt af FN's søfartsorganisation IMO, der i oktober 2008 godkendte et sæt nye regler for udslip af NO_x og SO₂ fra skibe.

Svovludledning fra brændstoffet skal fremover trinvis nedsættes med 90 % frem til 2020, så svovlindholdet højst må udgøre 0,5 % i modsætning til de nuværende 4,5 %. Endnu større er ambitionen i både Nordsøen og Østersøen, der er blevet udpeget til såkaldte emissions-kontrolområder (ECA), hvor svovlindholdet højst må udgøre 0,1 % i modsætning til de nuværende 1,5 %. Partikelemissionen vil hermed blive kraftigt reduceret, idet den hovedsageligt hænger sammen med fueloliens indhold af svovl (sulfatpartikler) (IMO, 2008).

Lignende regulering er kommet på plads for at reducere udslippet af NO_x fra skibes motorer med cirka 80 % jf. Figur 2.



Figur 2: NO_x- emissionsgrænse som funktion af motorens effekt (rated engine speed) (Rederiforening, 2009).

Miljøstyrelsen og Danmarks Rederiforening har i 2009 indgået et forureningsbekæmpende partnerskab, der skal sikre, at den danske og internationale skibsfart lever op til IMO-kravene i danske og internationale farvande og styrke aktiviteter, forskning og udvikling af miljøteknologi, der sigter mod reduktion af NO_x, SO₂ og partikler fra det maritime område.

7 Påvirkninger i anlægsfasen

7.1 Emission fra materialeforbrug

Emissionen fra materialeforbrug er den påvirkning, som er bundet i de materialer, der anvendes, og svarer til energiforbruget ved fremstilling mv. Forureningen herfra vil, udover CO₂, bestå af forurenende stoffer som NO_x og SO₂.

På baggrund af det forventede materialeforbrug til havmøller (Tabel 3) og møllefundamenter (Tabel 4) samt emissionsfaktorerne (Tabel 1) er de forventede emissioner angivet i Tabel 9. Fundamenterne til havmøllerne giver det største bidrag af emissioner fra materialeforbrug med gravitationsfundamenter for CO₂ og NO_x, mens det er er højst for monopæle for SO₂.

	CO ₂ Tons	NO _x Tons	SO ₂ Tons
Havmøller	260.100	500	670
Monopæle	260.300	560	540
Gravitationsfundamenter	376.400	630	470
Jacketfundamenter	107.200	240	230
I alt worst case	636.500	1.130	1.210

Tabel 9: Beregnede emissioner fra materialeforbrug til havmøller og møllefundamenter.

7.1.1 Emission fra anlægsarbejdet

Emissioner vil i anlægsfasen opstå som følge af transport af materialer og øvrige forsyninger, drift af jack-up fartøjer mv. i forbindelse med selve anlægsarbejdet og persontransport med skib og helikopter til og fra jack-up fartøjer, havmøller mv. Omfanget af den forventede skibstrafik og det forventede omfang er vist i Tabel 5. Herudover vil der være emissioner fra maskiner og skibstrafik i forbindelse med nedlægning af søkabler mellem havmøllerne og ilandføring af søkabler. Emissioner fra brug af helikopter er ikke estimeret for anlægsfasen. Omfanget af skibstrafik mv. til anlægsarbejdet forventes at være sammenligneligt med skibstrafikken ved anlæg af havmølleparken ved Anholt. Det forventede omfang er vist i Tabel 6.

De væsentligste emissioner til atmosfæren fra anlæg og drift af havmølleparken stammer fra anlægsfasen. I forhold til havmølleparkens levetid, vil emissionerne være geografisk og tidsmæssigt relativt begrænsede.

Aktivitet	Estimeret emission i anlægsfasen		
	Tons		
	CO ₂	NO _x	SO ₂
Anlæg af 203 stk. 3 MW havmøller med tilhørende anlæg			
Med gravitationsfundament	335.000	6.600	104
Med monopælfundament	183.700	3.600	62
Andel af årlige nationale emissioner 2012 (worst case)	0,4 %	0,6 %	0,04 %

Tabel 10: Estimerede emissioner ved anlæg af 203 stk. 3 MW havmøller samt tilhørende fundamenter.

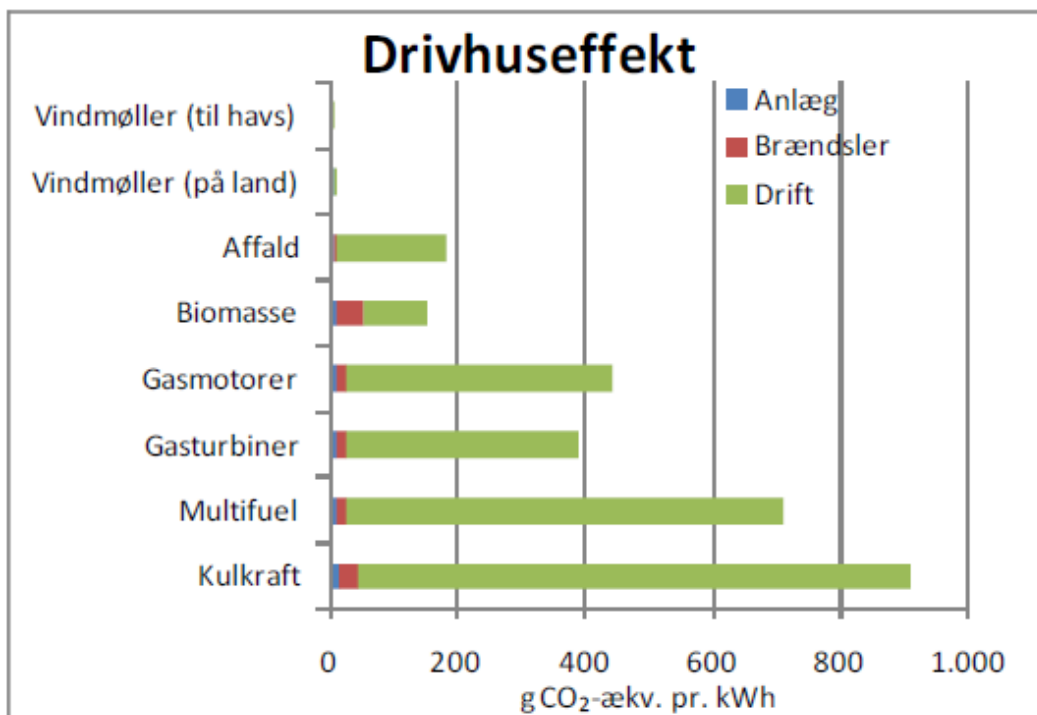
Aktivitet	Estimeret emission i anlægsfasen		
	Tons		
	CO ₂	NO _x	SO ₂
Anlæg af 64 stk. 10 MW havmøller med tilhørende anlæg			
Med gravitationsfundament	119.700	2.380	41
Med monopælfundament	59.200	1.140	21
Andel af årlige nationale emissioner 2012 (worst case)	0,1 %	0,2 %	0,02 %

Tabel 11: Estimerede emissioner ved anlæg af 64 stk. 10 MW havmøller samt tilhørende fundamenter.

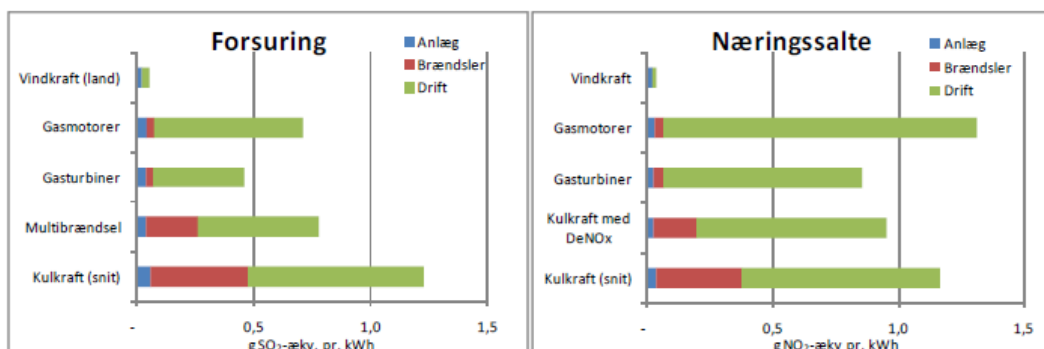
Der er ikke foretaget estimer af emissioner ved nedlægning af søkabler. Det vil afhænge af, hvilken metode og hvilket maskineri, der vil blive anvendt. Det forventes, at emissionerne vil være mindre end for arbejdet med at installere havmøllerne, da der er færre maskiner og mindre skibstrafik involveret ved anlægsarbejdet. I forhold til de årlige nationale emissioner vil de udgøre en minimal del, og vurderes at være helt uden påvirkning af omgivelserne.

7.2 Vurdering

I Figur 3 er vist den specifikke CO₂-udledning fra de produktionsteknologier, der i 2008 var til rådighed for det danske el- og kraftvarmesystem, og tilsvarende i Figur 4 vises SO₂-udledninger og NO_x-udledninger.



Figur 3: Drivhuseffekt pr. kWh el for forskellige produktionsteknologier (Energinet.dk, 2010).



Figur 4: Enkeltteknologiers bidrag til forsurening/nærings saltbelastning pr. kWh el (Energinet.dk, 2010).

For drivhuseffektens vedkommende er driftsfasen langt den mest dominerende fase uanset hvilken teknologi, der kommer på tale. Mens fremstilling og transport kun bidrager med få procent af den samlede drivhuseffekt.

De teknologier, der er baseret på faste brændsler (kul og biomasse), er typisk udrustet med hhv. afsvovlingsanlæg og de NO_x-anlæg, hvorfor emissionerne i driftsfasen reduceres. For disse teknologier ses brændslerne (udvinding og transport af kul og biomasse fra oprindelseslandet til Danmark) at bidrage med en relativt stor del af den samlede belastning pr. kWh elektricitet.

Vindkraft skiller sig markant ud fra de termiske teknologier ved at levere resultater med meget lav klimapåvirkning.

Emissionen fra materialeforbrug til havmølleparken er lav i forhold til de årlige nationale emissioner. Og udgør desuden en ubetydelig del af emissionerne fra en havmølles samlede livscyklus jf. ovenstående.

Emissionen fra anlægsaktiviteterne for havmølleparken er lav i forhold til de årlige nationale emissioner. Og udgør desuden en ubetydelig del af emissionerne fra en havmølles samlede livscyklus jf. ovenstående. Det vurderes, at emissionen af CO₂ har en ubetydelig påvirkning i form af global opvarmning, og at emissionen af NO_x og SO₂ har en mindre påvirkning i form af forsurening. Se endvidere skema over vurderinger jf. Tabe12.

Emissioner –Anlægsfase – Havmølleparken					
Kilde Type Receptor	Grad af forstyrrelse	Vigtighed	Sandsynlighed	Varighed	Påvirkningsgrad
Produktion af materialer					
Emission af NO _x og SO ₂ ⇒ Forsuring	Lav	Nationale eller regionale interesser	Høj	Midlertidig (1-5 år)	Mindre
Argument	0,1 - 0,5 % af de årlige nationale emissioner	Forsuring påvirker i større områder	Sandsynligheden for projektet er høj	Anlægsfasens forventede varighed	
Emission af CO ₂ ⇒ Global opvarmning/-klimaforandring	Ingen	Internationale interesser	Høj	Midlertidig emission (1-5 år)	Ubetydelig
Argument	0,7 % af de årlige nationale emissioner	Klimaforandringer påvirker internationalt	Sandsynligheden for projektet er høj	Anlægsfasens forventede varighed	
Anlægsaktivitet					
Emission af NO _x og SO ₂ ⇒ Forsuring	Lav	Nationale eller regionale interesser	Høj	Midlertidig (1-5 år)	Mindre
Argument	0,6 % af de årlige nationale emissioner	Forsuring påvirker i større områder	Sandsynligheden for projektet er høj	Anlægsfasens forventede varighed	
Emission af CO ₂ ⇒ Global opvarmning/-klimaforandring	Ingen	Internationale interesser	Høj	Midlertidig emission (1-5 år)	Ubetydelig
Argument	0,4 % af de årlige nationale emissioner	Klimaforandringer påvirker internationalt	Sandsynligheden for projektet er høj	Anlægsfasens forventede varighed	

Tabe12: Vurdering af påvirkninger af emissioner i anlægsfasen for havmølleparken.

7.3 0-alternativ

I 0-alternativet er der intet forbrug af materialer eller nogen anlægsaktiviteter. Emissionen af CO₂, NO_x og SO₂ vil svare til de årlige nationale emissioner i 2012, dog er det regeringens mål, at øge andelen af vedvarende energi fra 18,7 % i 2008 til mindst 30 % i 2020 ved at udbygge havmøllekapaciteten med 2000 MW (EU, 2008a). Hvis havmølleparken ved Kriegers Flak ikke etableres, vil andelen af vindenergi i 2020 kun være øget til ca. 25 %, og reduktionen i de samlede danske emissioner af forurenende stoffer vil være tilsvarende mindre.

8 Påvirkninger i driftsfasen

8.1 Emissioner fra vedligeholdelse

Der er taget udgangspunkt i en driftsperiode på 30 år svarende til havmølleparkens forventede levetid.

I driftsfasen vil emissioner hovedsageligt komme fra transport af servicepersonel og udstyr samt brug af maskiner i forbindelse med vedligeholdelse af havmøllerne. Omfanget af skibstrafik mv. til vedligeholdelse forventes at være sammenligneligt med skibstrafikken ved vedligeholdelse af havmølleparken ved Anholt, og det forventede omfang er vist i Tabel 6. Emissioner fra brug af helikopter er ikke estimeret for driftsfasen.

Aktivitet Drift og vedligeholdelse af havmøller	Estimeret emission i en driftsperiode på 30 år		
	Tons		
	CO ₂	NO _x	SO ₂
203 stk. 3 MW m.v.	236.400	4.680	74
64 stk. 10 MW m.v.	91.560	1.860	25

Tabel 13: Estimerede emissioner ved drift og vedligeholdelse af havmølleparken i 30 år.

8.2 Produktion af el

En havmøllepark på 600 MW forventes at have en gennemsnitlig elproduktion på 2.442.550 MWh pr. år. Såfremt den tilsvarende mængde el bliver produceret ved gennemsnitlig elproduktion i årene 2021-2050, vil det medføre de i Tabel 14 anførte emissioner henholdsvis pr. år og over en forventet levetid for havmøllerne på 30 år.

	CO ₂	NO _x	SO ₂
	Tons	Tons	Tons
Emissioner i 2021	408.000	292	590
Emissioner over 30 år 2021-2050	11.323.713	6.759	23.930
Andel af årlige nationale emissioner 2012	0,7 %	0.03 %	0,2%

Tabel 14: Emissioner ved gennemsnitlig produktion af el svarende til havmølleparkens forventede gennemsnits årsproduktion på 2.442.550 MWh el.

8.3 Vurdering

Emissionen fra vedligehold af havmøllerne er ubetydelig i forhold til de sparede emissioner fra produktion af el på havmøller frem for en produktion med mere konventionel produktion. Emissioner fra drift af havmøllerne vil udgøre 1–2 % for CO₂, 27–68 % for NO_x og 0,1–0,3 % for SO₂ af de forventede sparede emissioner ved produktion af el fra havmøller frem for gennemsnitlig elproduktion over en driftsperiode på op til 30 år. Drift af havmøllerne vil således have en *positiv* påvirkning i forhold til forsurening og global opvarmning.

8.4 0-alternativ

Såfremt der ikke opføres en havmøllepark ved Kriegers Flak eller opføres andre nye mølleparker, vil der ikke være emissioner fra vedligehold af disse havmølleparker. Men energi produktionen skal så foregå på en anden måde, hvor der formodentlig vil være større emissioner. Idet det bliver svært at opnå den ønskede forøgelse af andelen af vedvarende energi fra 18,7 % i 2008 til 25 % i 2020.

9 Påvirkninger i demonteringsfasen

9.1 Emissioner fra demontering

Ved demontering havmøllerne vil der skulle anvendes entreprenørmaskiner til nedbrydning og hhv. lastbiler eller skibe til transport af de nedbrudte materialer til genanvendelse eller bortskaffelse. Det må forventes, at transportformer og emissioner herfra vil ændre sig en del over de næste 30 år, hvorfor det ikke er muligt på nuværende tidspunkt at foretage en beregning af emissionerne i demonteringsfasen.

9.2 Vurdering

Med forventet reduktion af emissioner fra transport fremover vurderes emissionen i demonteringsfasen at have en mindre negativ påvirkning, se Tabel 15.

Emissioner – Demonteringsfase					
Kilde Type Receptor	Grad af forstyrrelse	Vigtighed	Sandsynlighed	Varighed	Påvirkningsgrad
Emission af NO _x og SO ₂ ⇒ Forsuring	Lav	Nationale eller regionale interesser	Høj (>75 %)	Midlertidig (1-5 år)	Mindre
Argument	< 1 % af de årlige nationale emissioner	Forsuring påvirker i større områder	Stor sandsynlighed for at projektet gennemføres, og senere afvikles	Samme som anlægsfase	
Emission af CO ₂ ⇒ Global opvarmning/-klimaforandring	Ingen	Internationale interesser	Høj (> 75 %)	Midlertidig emission (1-5 år)	Ubetydelig
Argument	< 1 % af de årlige nationale emissioner	Klimaforandringer påvirker internationalt	Stor sandsynlighed for at projektet gennemføres, og senere afvikles	Samme som anlægsfase	

Tabel 15: Vurdering af påvirkninger fra emissioner i demonteringsfasen.

9.3 0-alternativ

I 0-alternativet er der ingen emissioner i forbindelse med nedbrydningsaktiviteter. Emissionen af CO₂, NO_x og SO₂ vil svare til de årlige nationale emissioner i 2012, dog reduceret pga. den danske energipolitik.

10 Kumulative effekter

Det forventes at den tyske havmøllepark Baltic II er i drift, når anlæg af de danske havmøller skal påbegyndes på Kriegers Flak.

Der kan forekomme sejlad til og fra råstofindvindingsområdet på Kriegers Flak både i anlægs og i driftsfase. Da det er vurderet, at påvirkninger af emissioner er ubetydelig i begge faser vurderes der ikke at være risiko for væsentlige negative kumulative effekter af emissioner til luften fra anlægs- eller driftsfasen af Kriegers Flak Havmøllepark sammenholdt med andre projekter i området.

Etableringen af Kriegers Flak havmøllepark vil medvirke til at nedbringe den samlede danske emissioner af forurenende stoffer til atmosfæren.

11 Afværgeforanstaltninger

Da alle vurderinger jævnfør skemaerne peger på, at der ikke er væsentlige påvirkninger, er der ikke foreslået afværgeforanstaltninger.

Emissionen af forurenede stoffer i anlægsfasen fra anvendelse af entreprenørmateriel og transport samt skibstrafik bliver reguleret ud fra de nye EU-Normer og IMO-regler. Yderligere regulering af emissionerne kan ske i form af krav til entreprenører m.v. i forbindelse med udbud af anlægsarbejdet.

12 Manglende oplysninger

Der er på nuværende stade af projektet meget begrænsede oplysninger om materialeforbrug og anlægsaktiviteter, hvorfor beregningen af emissioner skal ses som et overslag af størrelsesordenen for emissionen.

13 Referencer

- Danmarks Statistik. (2014). Hentede 87. 01 2015 fra Emissioner Danmark:
<http://www.dst.dk/da/Statistik/emner/miljoe/miljoeoekonomisk-regnskab.aspx>
- DCE. (2013). Annual Danish Informative Inventory Report to UNECE. 2013.
- DCE. (u.d.). <http://envs.au.dk/videnudveksling/luft/effekter/natur/>.
- Djursing, T. (8. februar 2008). Skibe med partikelfilter; Det kommer til at vare mange år.
Ingeniøren.
- DMU. (2008). NERI Technical Report No. 650, 2008. Fuel consumption and emissions from navigation in Denmark from 1990-2005 – and projections from 2006-2030". Danmarks Miljøundersøgelser.
- Ecoinvent-databasen i SimaPro. (u.d.).
- Ellermann, T. N. (2013). The Danish Air Quality Monitoring Programme. Aarhus University, DCE - Danish Centre for Environment.
- Energinet.dk. (November 2009). Anholt Offshore Wind Farm, Air Emissions.
- Energinet.dk. (April 2010). Livscyklusvurdering, Dansk el og kraftvarme.
- Energinet.dk. (2012). Miljødeklaration.
- Energinet.dk (2015). Krigers Flak. Technical Project Description for the largescale offshore wind farm (600 MW) at Krigers Flak. June 2015.
- EU. (2008a). EU's klima- og energipakke, 2008
- EU. (2008). EU fejrer den 7. europæiske miljøtrafikuge: "Ren luft til alle". *IP/08/1324*.
- Europa-Parlamentet. (2008). Europa-Parlamentets og rådets direktiv 2008/50/EF af 21. maj 2008 om luftkvalitet og renere luft i Europa.
- IMO. (2008). Revised Annex VI adopted October 2008: MEPC.176(58) Amend-ments to the Annex of the Protocol of 1997 to amend the International Convention for the Prevention of Pollution from Ships, 1973, as modified by the Protocol of 1978 relating thereto.
- Miljøministeriet. (2008). Regeringens luftstrategi: Ren luft til alle – indsats over for luftforurening, www.mst.dk.

Nielsen et al (2013). DENMARK'S NATIONAL INVENTORY REPORT 2013. Emission Inventories 1990-2011 – Submitted under the United Nations. Framework Convention on Climate Change and the Kyoto Protocol.

Palmgren, F, Christensen, JH, Ellermann, T, Hertel, O, Illerup, JB, Ketzel, M, Loft, S, Winther, M & Wåhlin, P. Palmgren, F. (red.) . (2009). Luftforurening med Partikler- et sundhedsproblem. Danmarks Miljøundersøgelser, Århus Universitet. Udgivet af Forlaget.

Rederiforening, D. (2009). www.shipowners.dk.

Umweltbundesamt, U. (1999). *Forschungsbericht UBA FuR-Vorhaben: FKZ*. UBA Umweltbundesamt.

Wahlström, J. K. (2006). *Ship Emissions and Technical Emission Reduction Potential in the Northern Baltic Sea*. Finnish Environmental Institute.