



Den Europæiske Union
Den Europæiske Hav- og Fiskerifond



Modellering af lokaliteter til havbrug

Screening af Kattegat for egnede områder



NaturErhvervstyrelsen

Rapport

Januar 2017

Denne rapport er udarbejdet under DHI's ledelsessystem, som er certificeret af Bureau Veritas for overensstemmelse med ISO 9001 for kvalitetsledelse

ISO 9001
Management System Certification

BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



Modellering af lokaliteter til havbrug

Screening af Kattegat for egnede områder

Udarbejdet for

NaturErhvervstyrelsen



Projektleder	Hanne Kaas
Forfattere	Flemming Møhlenberg, Hanne Kaas, Mads Birkeland, Stefan Heiskänen, Ramunas Zydalis
Kvalitetsansvarlig	Ian Sehested Hansen

Projektnummer	11820201
Godkendelsesdato	31. januar 2017
Revision	V2
Klassifikation	Offentlig



INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Indledning	1
1.1	Baggrund.....	1
1.2	Formål.....	1
1.3	Denne rapport.....	2
2	Screeningsmetode	3
2.1	Overordnet tilgang.....	3
2.2	Anvendte indikatorer.....	5
3	Egnethed for enkelte indikatorer	6
3.1	Arealanvendelses-indikatorer.....	6
3.1.1	Søkabler, skibsruiter, klappladser og militærområder.....	6
3.1.2	Forbudsområder, vindparker, råstofindvinding og vandplanområder.....	7
3.1.3	Natura 2000: fugle, havpattedyr, specielle naturværdier.....	8
3.1.4	Bundfaunaovervågning.....	10
3.1.5	Fiskeri-interesser.....	10
3.2	Produktions-indikatorer.....	11
3.2.1	Vanddybde.....	12
3.2.2	Strømforhold i overfladen.....	13
3.2.3	Risiko for infektion og spredning af lakselus.....	15
3.2.4	Vandtemperatur.....	18
3.2.5	Bølgehøjde.....	19
3.2.6	Osmotisk stress.....	21
3.2.7	Afstand til havn.....	22
3.3	Miljøeffekt-indikatorer.....	24
3.3.1	Forskydningsspænding ved bunden.....	24
3.3.2	Forsænkninger i havbunden med øget risiko for iltsvind.....	25
4	Samlet egnethed	27
4.1	Arealanvendelse.....	27
4.2	Produktionsforhold.....	28
4.3	Miljøpåvirkning af havbunden.....	29
4.4	Aggregering af arealanvendelse, produktionsforhold og miljøpåvirkning af havbunden.....	30
5	Diskussion af screeningsresultat	32
6	Referencer	33

FIGURER

Figur 2-1	Datastrøm og overordnede beslutningsveje baseret på kombination af indikatorer inddelt i 1) allerede "beslaglagte" arealer, 2) produktionsmæssige forhold og 3) miljøforhold. Diagrammet er udarbejdet med inspiration fra Silva et al. (2011).	4
Figur 3-1	Placering og udbredelse af arealer beslaglagt af søkabler, større skibsruiter, klappladser og militære øvelsesområder.	7
Figur 3-2	Placering og udbredelse af arealer beslaglagt af forbudsområder, vindparker, arealer for råstofindvinding og vandplanområder.....	8

Figur 3-3	Placering og udbredelse af arealer udlagt som naturbeskyttelses- og bundfaunaovervågningsområder. Øverst tv.: bundfaunaområder som indgår i den nationale overvågning af havmiljøet. Øverst th.: Fuglebeskyttelsesområder, hvor udpegningsgrundlaget er sortand og/eller fløjsand. Nederst tv.: Natura 2000 områder, hvor marsvin eller sæl indgår i udpegningsgrundlaget. Nederst th.: arealer med særlige naturværdier (fx habitatområde med rev og boblerev, sandbanker etc.).	9
Figur 3-4	Udbredelse af arealer med høj fiskeriintensitet som antages at være uforeneligt med drift af havbrug (uegnet) og arealer hvor intensiteten er så lav, at havbrugsproduktion kan sameksistere med fiskeri (egnet).	11
Figur 3-5	Teoretisk sammenhæng mellem vanddybde og antal 120 m (omkreds) bure i et havbrug med en maksimal biomasse på 3000 tons fisk. Det er antaget, at burene er cylindriske med "vandret" bund placeret 3 m over havbunden, og at fisketætheden ikke overskrider 30 kg/m ³ .	12
Figur 3-6	Egnethedskort for produktions-indikatoren "Vanddybde".	13
Figur 3-7	Egnethedskort for produktions-indikatoren "Strømforskel i overfladen".	15
Figur 3-8	Effekt af saltholdighed på lakselusens livsstadier. Øverst tv: ægklækning – funktion baseret på data fra Johnson & Albright (1991) og Gravil (1996). Øverst th: daglig mortalitet hos copepoditter og nauplier - %-overlevelse gennem samlet stadielvarighed på 10 dage, samt forventet overlevelse in situ når der indregnes naturlig mortalitet på 8% per dag, funktioner baseret på data fra Johnson & Albright (1991), Gravil (1996), Bricknell et al. (2006). Nederst tv: infektionssucces – funktion baseret på Bricknell et al. 2006 og Tucker et al. (2000). Nederst th: samlet funktion der integrerer klækning, overlevelse gennem den fritsvømmende periode samt infektionssucces.	16
Figur 3-9	Egnethedskort for produktions-indikatoren "risiko for lakselus".	18
Figur 3-10	Egnethedskort for produktions-indikatoren "Vandtemperatur".	19
Figur 3-11	Egnethedskort for produktions-indikatoren "Bølgehøjde".	20
Figur 3-12	Egnethedskort for produktions-indikatoren "Osmotisk stress".	22
Figur 3-13	Egnethedskort for produktions-indikatoren "Afstand til havn".	23
Figur 3-14	Egnethedskort for produktions-indikatoren "Forskydningsspænding ved bund".	25
Figur 3-15	Egnethedskort for produktions-indikatoren lokale sedimentationsområder.	26
Figur 4-1	Oversigt over den geografiske udbredelse af samlet egnethed, når der kun inddrages arealanvendelses-indikatorer.	27
Figur 4-2	Oversigt over den geografiske udbredelse af samlet egnethed, når der kun inddrages produktions-indikatorer.	28
Figur 4-3	Oversigt over den geografiske udbredelse af samlet egnethed, når der kun inddrages miljøeffekt-indikatorer.	30
Figur 4-4	Oversigt over den geografiske udbredelse af egnethed, når der inddrages flere typer af begrænsning; øverst tv: egnethed efter kombination af beslaglagte arealer og produktionsforhold; øverst th: egnethed efter kombination af beslaglagte arealer og miljøforhold; nederst tv: egnethed efter kombination af produktionsforhold og miljøforhold; nederst th: samlet egnethed (beslaglagte arealer+produktionsforhold+miljøforhold).	31
Figur 5-1	Samlet egnethed, hvor områder med egnethed mellem 0,5 og 0,7 er angivet med orange/rød farve (der er ingen områder der er klassificeres med en egnethed >0,7).	32

TABELLER

Tabel 2-1	Oversigt over de indikatorer, der har indgået i screeningsanalysen.	5
Tabel 3-1	Oversigt over indikatorer for arealanvendelse, der har indgået i screeningsanalysen. Undersøgelsesområdets samlede areal er 14.641 km ² .	6
Tabel 3-2	Beregnet sandsynlighed for forekomst af lakselus ved forskellige saltholdigheder.	17
Tabel 4-1	Oversigt over arealer (km ²) som for produktions-indikatorerne set enkeltvis og samlet ikke anses for egnede til drift af et større regnbueørred havbrug (egnethed<0.1). % er beregnet i forhold til det samlede Kattegat undersøgelsesareal. Undersøgelsesområdets samlede areal er 14.641 km ² .	29

1 Indledning

Miljø- og Fødevareministeriet (MFVM) ved NaturErhvervstyrelsen har i september 2016 indgået kontrakt med DHI om projektet "Modellering af lokaliteter til havbrug". Projektet er igangsat 1. oktober 2016 og afsluttes i januar 2017. DHI har til udførelse af dele af projektet indgået samarbejdsaftaler med Thomas Valdemarsen, SDU, ekspert i sedimentprocesser og havbrug, og Marie Maar, DCE/Aarhus Universitet, ekspert i marin modellering. Projektet er støttet af EU's Hav- og Fiskeriudviklingsprogram EHFF.

1.1 Baggrund

Baggrunden for projektet er forklaret i Miljø- og Fødevareministeriets udbudsmateriale og er citeret nedenfor (MFVM 2016):

"I Fødevare- og landbrugspakken fra december 2015 indgår en vækstplan for akvakultur. Om havbrug fremgår det at "Vækst for havbrug vil ske ved udpegning af konkrete lokaliteter, hvor havbrug kan etableres under hensyn til andre aktiviteter på havet, miljøet og vandplansområder, samt ved at sikre, at der kan ske kompensationsopdræt til fjernelse af kvælstof og fosfor. Med den nuværende viden skabes der grundlag for at anvende et miljømæssigt råderum på 800 ton kvælstof til havbrugsproduktion.

Udviklingsmulighederne for havbaserede akvakulturanlæg ligger bl.a. i en optimal placering af anlæggene både i forhold til produktionsforhold som infrastruktur, men også i forhold til miljøforhold som næringsstofpåvirkning, vandkvalitet samt strøm- og bundforhold. Det allerede identificerede råderum på 800 tons N findes i Kattegat uden for en sømil fra basislinjen. For nærværende er der ikke identificeret råderum i andre farvande.

Ved ansøgning om miljøgodkendelse og placeringstilladelse skal placeringen af et akvakulturanlæg vurderes konkret i forhold til en række faktorer. Ved på forhånd at foretage en vurdering af, hvor det vil være muligt at placere fremtidige akvakulturanlæg på havet, vil det sandsynligvis kunne fremskynde godkendelsesprocessen".

1.2 Formål

Formålet med projektet "Modellering af lokaliteter til havbrug" er med baggrund i det identificerede råderum i de åbne havområder på 800 ton kvælstof at tilvejebringe viden, der støtter ministeriets udpegning af egnede områder til produktion af regnbueørred i Kattegat.

Projektet er opdelt i to faser, hvis formål er

- a) At udpege de områder i den åbne del af Kattegat, som er bedst egnede til havbrugsproduktion af regnbueørred og
- b) At undersøge miljøeffekter af et "standardhavbrug" ved otte forskellige positioner i placeret i otte udpegede zoner samt miljøeffekter af en fordoblet produktion (dobbelt standardhavbrug) ved én af positionerne

Det skal bemærkes, at projektet "Modellering af lokaliteter til havbrug" alene giver en vurdering af miljøeffekterne ved placering af ét enkelt standardhavbrug ad gangen. Hvis der ansøges om andre placeringer, kan det betyde, at tilførsler og påvirkning af vandplan – og Natura 2000 områder skal genberegnes.

Det skal desuden bemærkes, at i forbindelse med en konkret ansøgning om miljøgodkendelse, skal udledningerne fra havbruget indgå i en samlet vurdering af udledningerne til området og vurderes i forhold til miljøtilstand og det eventuelle råderum eller indsatsbehov i relevante vandområder. I forhold til Natura2000 områder kræver en miljøgodkendelse af et havbrug altid en konkret vurdering, der tager udgangspunkt i den endelige placering, størrelse mv. af det konkrete havbrug. Disse vurderinger kan ikke foretages alene på baggrund af oplysningerne fra dette projekt.

1.3 Denne rapport

Denne rapport beskriver metoder og resultater af undersøgelsen af hvilke områder i Kattegat, der er bedst egnede til produktion af regnbueørred (formål a). Screeningen er gennemført ved at kombinere eksisterende og ny information om arealanvendelse, krav til fysisk-kemiske forhold for en optimal produktion, og risiko for miljøpåvirkning af havbunden.

Screeningen har fokus på de to første grupper, mens miljøeffekterne primært er undersøgt i den efterfølgende detailmodellering (formål b). Resultaterne af screeningen er anvendt til at udpege de otte havbrugszoner samt fastlægge lokaliseringen af de otte standardhavbrug, hvor miljøeffekterne er undersøgt i detaljer (formål b). De uddybende undersøgelser af havbrugsdriftens er publiceret i DHI (2017).

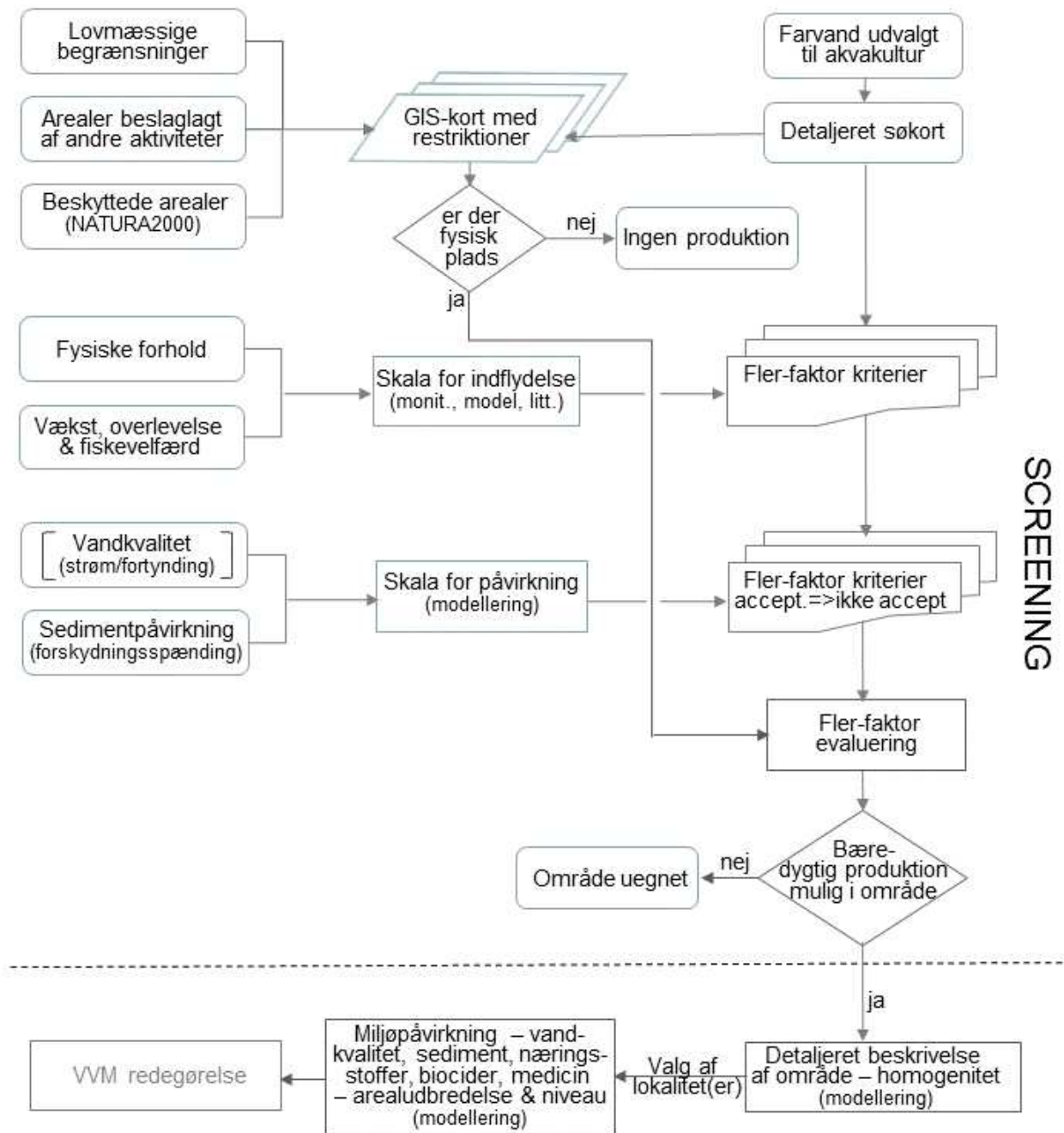
2 Screeningsmetode

Succesfuld fiskeproduktion afhænger af det rette valg af produktionsområde og i mange udviklede lande med marin akvakultur har man gradvist erkendt dette og har udpeget, eller er i færd med at udpege, zoner (Allocated Zones for Aquaculture) reserveret til akvakultur (Bankes et al. 2016, FAO & World Bank 2015, NN 2016, Sanchez-Jerez P et al. 2016, Silva et al. 2011, Torgersen et al. 2010).

2.1 Overordnet tilgang

Udpegning af potentielle havbrugsområder i Kattegat er foregået trinvist og bygger på viden om den nuværende (og planlagte) arealudnyttelse, forhold som sætter grænser en rentabel produktion (sejllafstand til havne, dybdeforhold, bølgeklime) og fiskenes krav til "vandet" (saltholdighed, temperatur, strømforhold), samt forudsætninger for lav miljøpåvirkning (strømforhold og risiko for lokalt iltsvind). For at kunne sammenligne de enkelte styrende forhold er krav og begrænsninger normaliseret til samme skala gående fra "0" til "1", hvor "0" angiver fuldstændigt uacceptable forhold og "1" angiver de mest optimale forhold eller den lavest mulige miljøpåvirkning. De enkelte indikatorer er kombineret i en GIS-analyse ved multiplikation, så der opnås en integreret vurdering af egnetheden for ørredproduktion i de forskellige områder i Kattegat. I analysen indgår alle indikatorer med samme vægt, dvs. ingen indikatorer er mere betydningsfulde end andre.

Et diagram med de overordnede beslutningsveje baseret på 3 hovedgrupper af indikatorer; 1) allerede "beslaglagte" arealer, 2) produktionsmæssige forhold og 3) miljøforhold, er vist i Figur 2-1. I afsnit 2.1 vises en oversigt over de enkelte indikatorer, og i afsnit 3 gennemgås hvordan indikatorerne beregnes, skaleres og indgår i den integrerede vurdering af egnetheden for ørredproduktion.



Figur 2-1 Datastrøm og overordnede beslutningsveje baseret på kombination af indikatorer inddelt i 1) allerede "beslaglagte" arealer, 2) produktionsmæssige forhold og 3) miljøforhold. Diagrammet er udarbejdet med inspiration fra Silva et al. (2011).

2.2 Anvendte indikatorer

Screeningen af Kattegat er baseret på den geografiske udbredelse af en række indikatorer. Indikatorerne beskriver 1) hvor andre igangværende eller planlagte aktiviteter beslaglægger eller vil være i konflikt med havbrugsproduktion (Arealanvendelses-indikatorer), 2) hvor de fysiske-kemiske forhold er mest optimale for produktion (Produktions-indikatorer) og 3) hvor forhold indikerer at miljøeffekten på havbunden er acceptabel (Miljøeffekt-indikatorer). Screeningen har fokus på de to første grupper, som derfor omfatter de fleste indikatorer, mens miljøeffekterne primært er undersøgt i den efterfølgende detailmodellering (DHI 2017). Tabel 2-1 giver en oversigt over de indikatorer der er indgået i screeningsanalysen.

Tabel 2-1 Oversigt over de indikatorer, der har indgået i screeningsanalysen.

Arealanvendelses-indikatorer	Produktions-indikatorer	Miljøeffekt-indikatorer
Søkabler	Vanddybde	Forskydningsspænding ved havbunden
Officielle skibruter	Strømforhold i overfladen	Forsænkninger i havbunden (risiko for lokalt iltsvind)
Klappladser	Risiko for lakselus	
Militærområder	Vandtemperatur	
Forbudsområder	Bølgehøjde	
Havvindparker	Osmotisk stress	
Råstofindvinding	Afstand fra havn	
Fiskeri-interesser		
Vandplanområder		
Natura 2000: fugle		
Natura 2000: havpattedyr		
Særlige naturinteresser		
NOVANA bundfaunastationer		

3 Egnethed for enkelte indikatorer

3.1 Arealanvendelses-indikatorer

De arealanvendelses-indikatorer, der har indgået i screeningen, fremgår af Tabel 3-1. Datagrundlaget er leveret af Miljø- og Fødevareministeriet (delvist ekstraheret fra Miljøportalen). Alle indikatorer er klassificeret efter det såkaldte binære (Boolean) princip, der betyder at områder er vurderet som enten egnede (karakteren "1") eller uegnede (karakteren "0") for drift af større havbrug.

Tabel 3-1 Oversigt over indikatorer for arealanvendelse, der har indgået i screeningsanalysen. Undersøgelsesområdets samlede areal er 14.641 km².

Indikator	Bemærkning	Kilde	Areal (km ²)
Søkabler	Arealer med søkabel (500 m bufferzone)	MFVM	141
Officielle skibruter	Arealer udlagt som større skibruter; inklusiv sikkerhedszone	MFVM	2.843
Klappladser	Arealer udlagt til klappning	MFVM	22
Militærområder	Arealer der anvendes til militære øvelser og skydeområder	MFVM	1097
Forbudsområder	Arealer som af andre grunde (fx gl. ammunition) ikke er egnede	MFVM	454
Havvindparker	Arealer med eksisterende marine vindparker	MFVM	148
Råstofindvinding	Arealer udlagt til råstofindvinding	MFVM	116
Vandplanområder	Geografisk udbredelse af vandplanområder der ligger i Kattegat	MFVM	4.116
Natura 2000: fugle	Natura 2000 områder hvor udpegningsgrundlaget for fugle er sortand og/eller fløjlsand	MFVM	1.991
Natura 2000: havpattedyr	Natura 2000 områder hvor sæl og/eller marsvin indgår i udpegningsgrundlaget	MFVM	1.587
Særlige naturinteresser	Rev og sandbanker i Kattegat med en 1 km bufferzone rundt om	MFVM	1.889
NOVANA bundfaunastationer	1 km bufferzone rundt om bundfauna-stationer	Miljøportal	22
Fiskeri-interesser	Arealer der er potentielle konfliktområder ift. fiskeri.	MFVM	2.898

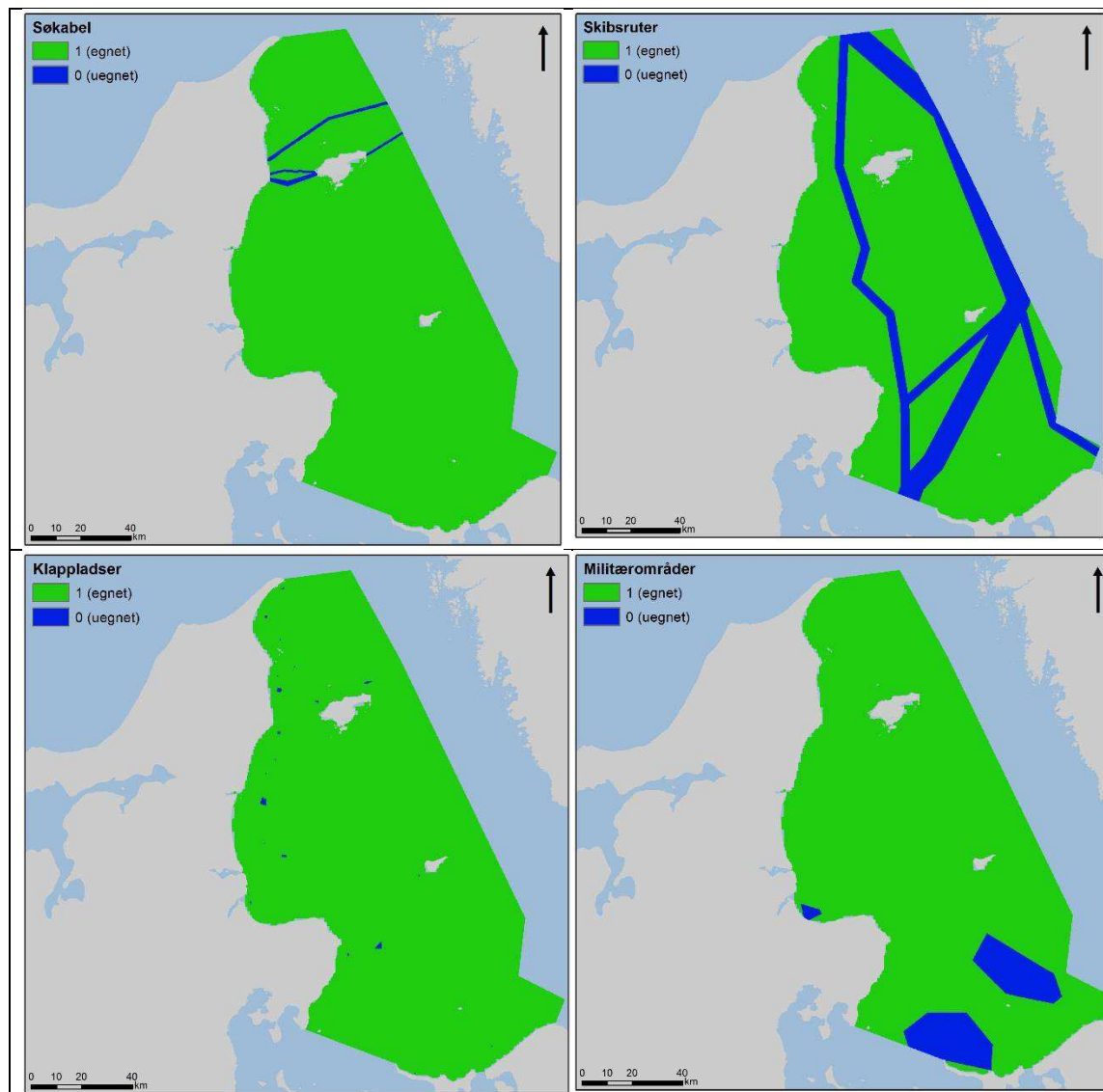
3.1.1 Søkabler, skibruter, klappladser og militærområder

Havbrugsdrift baseret på forankrede store bure er uforeneligt med søkabler på bunden pga. risiko for kabelbrud under storme, når den fysiske belastning på ankre og befæstninger på bunden er maksimal. Med hensyn til kabler er det tillagt en bufferzone på 500 m omkring Miljøportalens polygoner. Dette udelukker havbrugsdrift i et areal på 141 km² (Tabel 3-1, Figur 3-1) i det nordlige Kattegat.

Større skibsruiter beslaglægger et areal på 2.843 km², hvor havbrugsdrift ikke kan finde sted (Tabel 3-1, Figur 3-1).

Klappladser ligger spredt lang den jyske østkyst i Kattegat og nord for Læsø. Det samlede areal af disse pladser er 22 km², hvor havbrugsdrift ikke kan udføres (Tabel 3-1, Figur 3-1).

Forsvaret råder over 3 øvelsesområder i Kattegat, to i den sydlige del af Kattegat - ud for Sjællands Odde og nordvest for Gilleleje i Hesselø Bugt, samt et mindre område ved i den indre del af Hevring Bugt. Det samlede areal er på 1.097 km² (Tabel 3-1, Figur 3-1).



Figur 3-1 Placering og udbredelse af arealer beslaglagt af søkabler, større skibsruiter, klappladser og militære øvelsesområder.

3.1.2 Forbudsområder, vindparker, råstofindvinding og vandplanområder

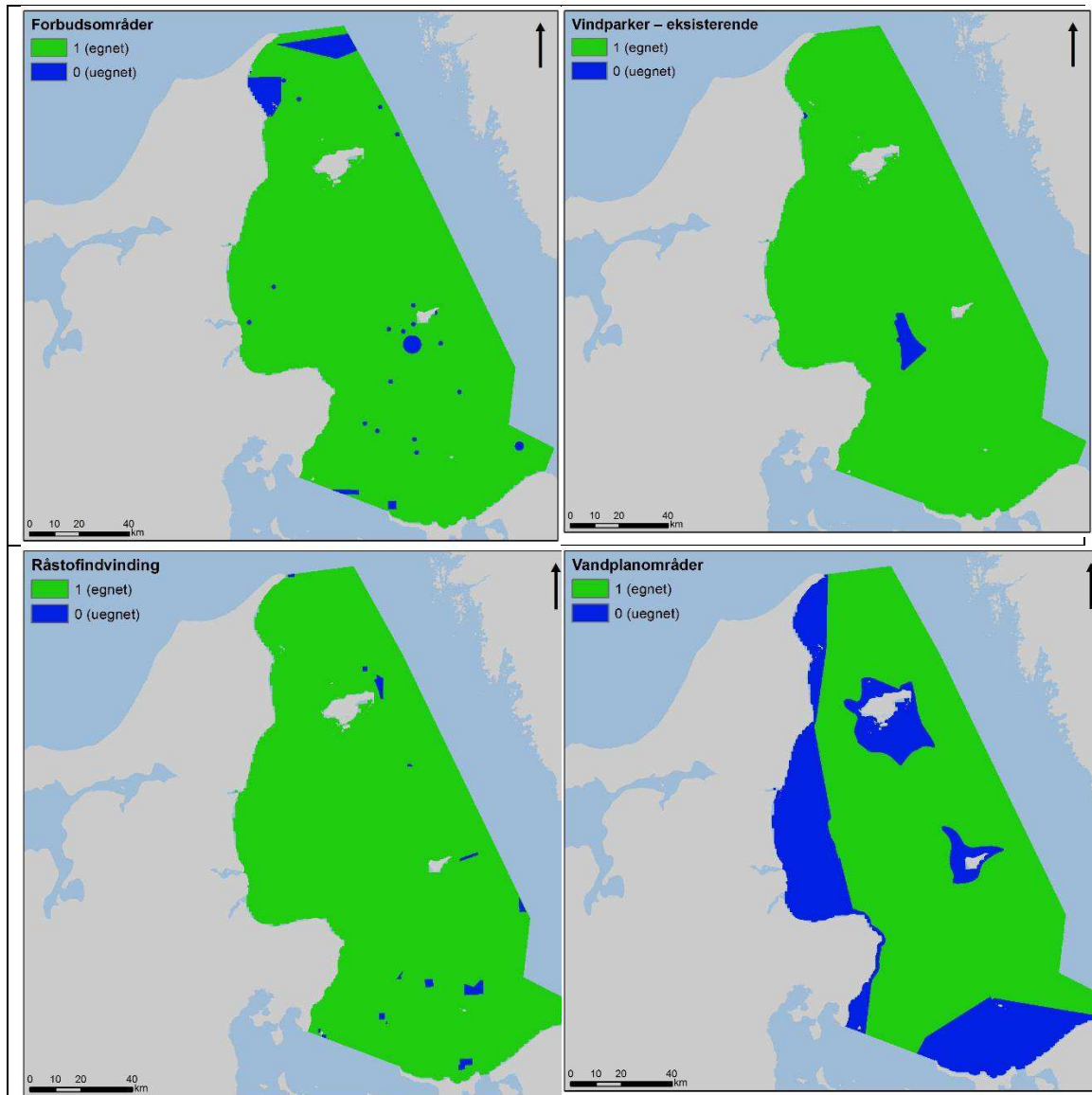
Forbudsområder (bl.a. pga. ammunition) er beliggende spredt i det sydlige Kattegat samt i to større områder på grænsen til Skagerrak (Figur 3-2). Det samlede areal udgør 454 km² (Tabel 3-1).

Der findes 2 vindparker i Kattegat – ”Anholt” beliggende mellem Anholt og Djursland samt en lille kystnær vindpark ud for Frederikshavn (Figur 3-2). Ved screeningen er udstrækningen af

parkerne (polygoner fra Miljøportalen) øget med en zone på 1 km. Det beslaglagte areal er 148 km², hvor havbrugsproduktion ikke kan finde sted (Tabel 3-1).

I Kattegat sker der råstofindvinding (sand, grus og ral) i den sydlige del på grænsen til Bælthavet, øst for Anholt og i et større område nord for Læsø (Figur 3-2). Aktiviteten udelukker havbrugsdrift i et område på 116 km² (Tabel 3-1).

Vandplanområder er udbredt langs den danske kyst i Kattegat (Figur 3-2). Da opgaven i nærværende projekt er at finde egnede områder i det åbne Kattegat er vandplanområderne klassificeret som beslaglagte. Det samlede areal af vandplanområder er 4.116 km² (Tabel 3-1).

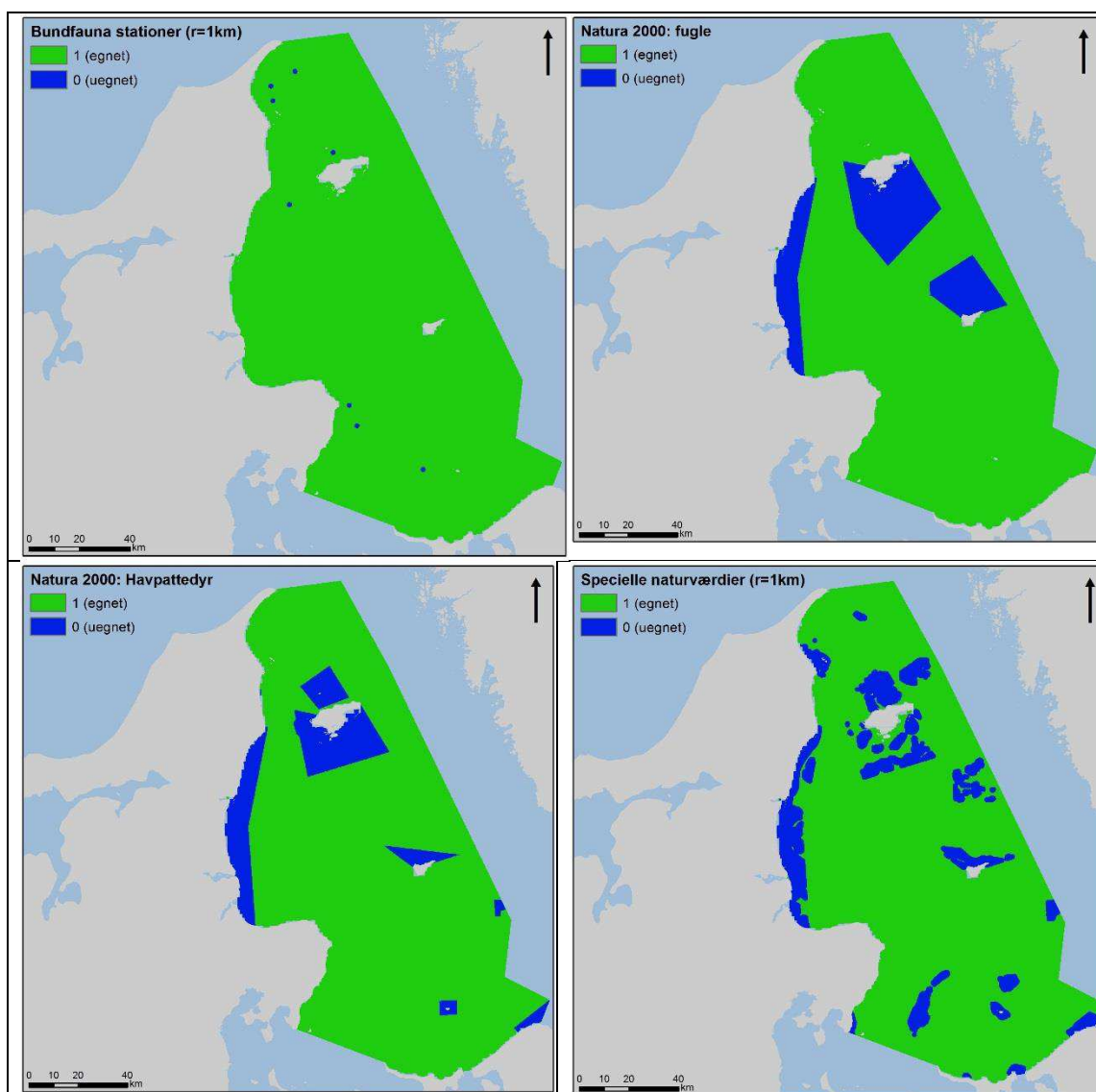


Figur 3-2 Placering og udbredelse af arealer beslaglagt af forbudsområder, vindparker, arealer for råstofindvinding og vandplanområder.

3.1.3 Natura 2000: fugle, havpattedyr, specielle naturværdier

Om der kan ske havbrugsdrift i Natura 2000 områder afhænger af en individuel vurdering af risikoen for påvirkning af udpegningsgrundlaget. I forbindelse med screeningen er det besluttet på forhånd at udelukke naturbeskyttede områder, hvor udpegningsgrundlaget omfatter forekomst af vandfuglene sortand og fløjlsand, eller marsvin og sæl, da det vurderes, at drift af

et større havbrug i disse områder kan være i konflikt med udpegningsgrundlaget pga. de forstyrrelser driften medfører. Natura 2000 områder, hvor disse arter indgår i udpegningsgrundlaget, er beliggende i Ålborg Bugt, omkring Læsø og nord for Anholt (Figur 3-3) og udgør et samlet areal 3.578 km² (1.991 km² fuglebeskyttelse og 1.587 km² havpattedyrbeskyttelse). Derudover findes der områder med særlige naturværdier (stenrev, biogene rev, boblerev, dyb blød bund, sandbanker) spredt over Kattegat med et samlet areal på 1889 km² (inklusive en bufferzone på 1 km omkring polygonerne fra Miljøportalen). Disse områder er også i screeningen klassificeret som uegnede (Figur 3-3). I den efterfølgende detaljerede miljøeffektundersøgelse (DHI 2017) er virkningen på Natura 2000 områderne vurderet nærmere.



Figur 3-3 Placering og udbredelse af arealer udlagt som naturbeskyttelses- og bundfaunaovervågningsområder. Øverst tv.: bundfaunaområder som indgår i den nationale overvågning af havmiljøet. Øverst th.: Fuglebeskyttelsesområder, hvor udpegningsgrundlaget er sortand og/eller fløjlsand. Nederst tv.: Natura 2000 områder, hvor marsvin eller sæl indgår i udpegningsgrundlaget. Nederst th.: arealer med særlige naturværdier (fx habitatområde med rev og boblerev, sandbanker etc.).

3.1.4 Bundfaunaovervågning

Overvågning af bundfauna er et værdifuldt redskab til at følge langtidsændringer i miljøforhold og den fysiske påvirkning af havbunden. De områder, hvor der er udlagt NOVANA bundfaunastationer er derfor klassificeret som uegnede for havbrugsdrift. Der er i alt 8 områder fordelt i det vestlige Kattegat beliggende fra grænsen til Bælthavet og til Skagerrak. Rundt om overvågningspositionen er der defineret en "bufferzone" på 1 km og dermed er der "reserveret" et areal på 22 km², hvor der ikke kan være havbrugsdrift (Figur 3-3).

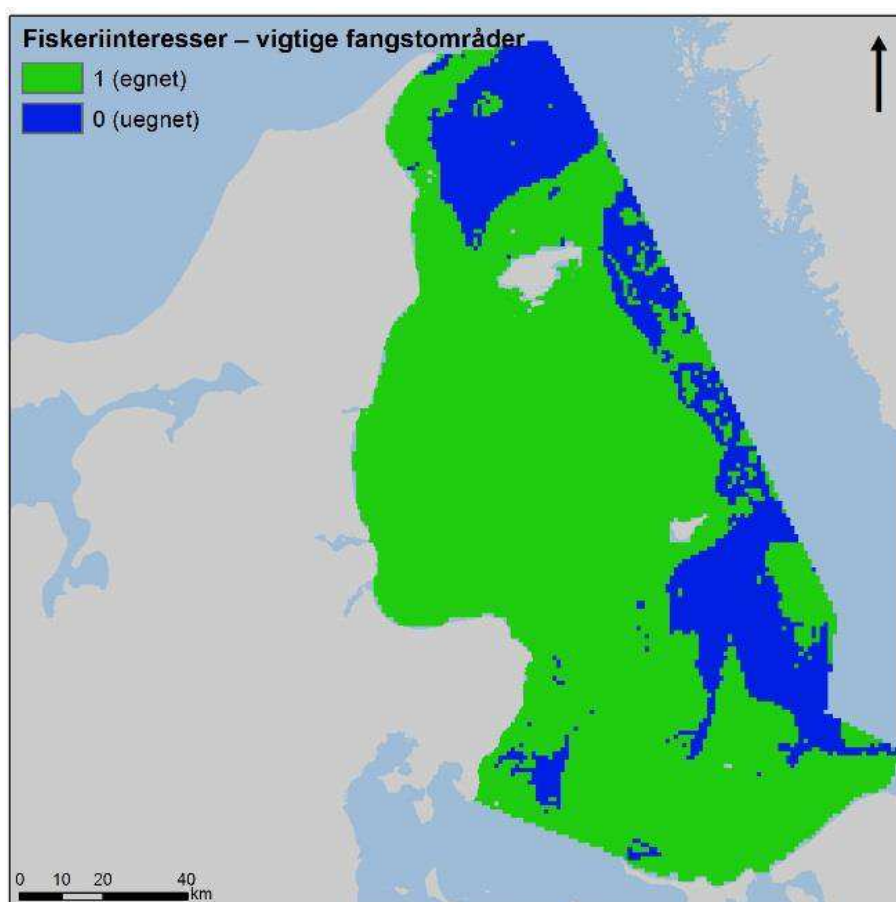
3.1.5 Fiskeri-interesser

Den geografiske udbredelse og intensitet af fiskeri med bundslæbende og pelagiske trawl er beregnet ud fra VMS-pings (Vessel Monitoring System) for fartøjer over 12 m og i bevægelse med hastigheder under 3 knob. VMS pings summeret i 1 km ruter er beregnet separat for årene 2013, 2014 og 2015 og efterfølgende er der beregnet gennemsnit for disse år. Inden for undersøgelsesområdet i Kattegat varierer VMS-pings (gennemsnit) mellem 0 og 351/km per år.

Den største intensitet hænger sammen med bundtrawlfiskeriet efter jomfruhummer og blandet konsum der både foregår i den dybe del af Kattegat (langs EEZ-linjen, men især syd for Anholt), på grænsen mellem Kattegat og Skagerrak samt i et mindre område sydøst for Djursland (Gislason et al. 2014) (Figur 3-4). Der foregår også et koncentreret fiskeri efter sild, brisling og makrel med pelagiske trawl sydøst for Djursland (Gislason et al. 2014).

Kvantificering af interessekonflikter mellem fiskeri og havbrugsdrift er sket ved inddeling af fiskeriintensiteten (VMS-pings) i kvartiler (1.: 0 ping; 2.: >0 - ≤ 6,9 pings; 3.: >6,9 - ≤17,9 pings; 4.: >17,9 – 351 pings). Efterfølgende er 1. og 2. kvartil klassificeret som egnede områder (egnethed 1), og kvartil 3. og 4. som uegnede områder (egnethed 0).

Det samlede areal af fiskeriinteresser som er uforeneligt med havbrugsdrift er opgjort til 2.898 km².



Figur 3-4 Udbredelse af arealer med høj fiskeriintensitet som antages at være uforeneligt med drift af havbrug (uegnet) og arealer hvor intensiteten er så lav, at havbrugsproduktion kan sameksistere med fiskeri (egnet).

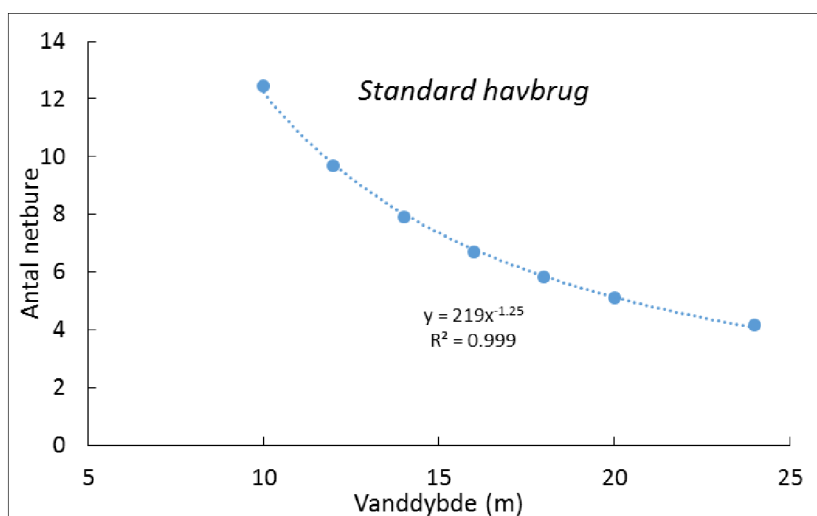
3.2 Produktions-indikatorer

I det følgende gennemgås produktions-indikatorerne (se Tabel 2-1) enkeltvis. Ved vurderingen er der enten anvendt et såkaldt "graderet" princip (binomial fordeling), hvor egnetheden er graderet fra uegnet "0" til egnet "1" (fleste indikatorer), eller samme binære princip som for arealanvendelses-indikatorer.

Forud for vurderingen er der beregnet en indeks-værdi for hver indikator og etableret kort (rasters i GIS-miljø) med den geografiske udbredelse. Indeksværdierne er beregnet på basis af georefererede 2D data (fx vanddybden) og fra 3D modeldata, der er produceret i forbindelse med Miljø- og Fødevarerministeriets projekt "Implementeringen af modeller til brug for vandforvaltningen" (modellering med MIKE 3D FM, dækkende årene 2002-2011, Erichsen et al. 2014). Den geografiske udbredelse beskrives ved at beregne indeksværdien for hver pixel/modelgridcelle og omsætte værdien til egnethed på basis af egnethedskriterier. Efter beregning af egnethed pr. år, estimeres den endelige egnethed som en middelværdi af alle årene.

3.2.1 Vanddybde

Valg af vanddybde ved produktion af fisk i havbrug skal tilgodese både økonomisk-produktionsmæssige og miljømæssige forhold. På den ene side skal man sikre, at netburenes bund i middel er mindst 3 m over havbunden for at sikre uhindret vandstrøm og dermed tilførsel af ilt til sedimentet samt spredning af fækalier, og på den anden side bør dybden ikke være så stor, at forankrings- og driftsomkostninger gør at produktionen bliver urentabel (Gifford et al. 2002, Falconer et al. 2013). Afstandskravet til havbunden medfører, at det samlede overfladeareal af bure (i praksis flere bure) i et havbrug vil øges med faldende vanddybde (se Figur 3-5). Ud over en større arealbeslaglæggelse og højere etableringsudgifter vil lavere vanddybde have afledede konsekvenser på miljøforholdene i sedimentet, idet tilførslen af partikulært affald vil fordeles over et større bundareal men i en lavere koncentration.

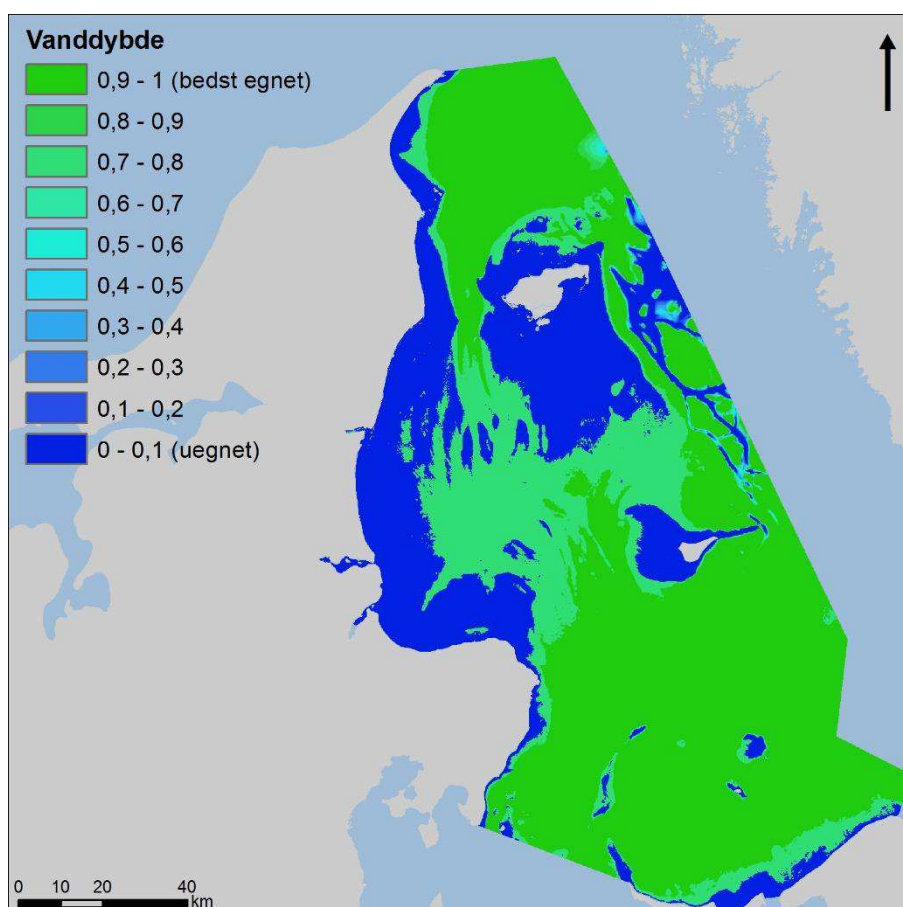


Figur 3-5 Teoretisk sammenhæng mellem vanddybde og antal 120 m (omkreds) bure i et havbrug med en maksimal biomasse på 3000 tons fisk. Det er antaget, at burene er cylindriske med "vandret" bund placeret 3 m over havbunden, og at fisketætheden ikke overskrider 30 kg/m³.

"Vanddybde"	
Egnethedskriterier (graderet)	
<10m og >60m	: 0 (ikke egnet)
10-15m	: 0,75 (delvis egnet)
15-45m	: 1 (egnet)
45-60m	: -0,0667x + 4 (egnethed falder lineært med stigende dybde)

Indikatoren beregnes på basis af en finopløst (50 x 50 m) bathymetri (havbundstopografi) for Kattegat (data fra det tidligere Farvandsvæsnets), hvor dybder lavere end 10 m og dybder større end 60 m betragtes som uegnede, mens dybder imellem 10 og 60 m anses som egnede eller delvist egnede. Dybdekrav er fastsat efter konsultation med havbrugere.

Figur 3-6 viser det resulterende egnethedskort for indikatoren "Vanddybde". Inden for undersøgelsesområdet i Kattegat (14.641 km²) udgjorde det uegnede areal 3.866 km² svarende til ca. 26% af undersøgelsesområdet (Figur 4-1). Langt hovedparten af det uegnede areal skyldes vanddybder lavere end 10 m udbredt langs Jyllands kyst fra Fornæs til Hals, omkring Læsø og vest for Anholt (Figur 3-6).



Figur 3-6 Egnethedskort for produktions-indikatoren "Vanddybde".

3.2.2 Strømforhold i overfladen

"Gode" strømforhold i havbrugsområder er afgørende både for fiskenes velfærd og for driften af et havbrug. Ved lave strømhastigheder er der øget risiko for ophobning af affaldsstoffer (fx ammoniak) og forringede iltforhold i burene og ved meget høje strømhastigheder er der øget sandsynlighed for delvis kollaps af bure, reduktion af burenes effektive volumen (dvs. fiskene presses sammen, Klebert et al. 2013, López et al. 2015), øget slitage på udstyr og tab af foderpiller under fodring.

Afhængig af netburenes konstruktion, eventuel påvækst med alger og muslinger og burenes placering indenfor havbrugsområdet, kan man forvente mellem 20 og 70% reduktion af hastigheden inde i buret i forhold til hastigheder udenfor (Klebert et al. 2013), hvilket betyder at man ikke umiddelbart kan overføre forsøgsresultater fra laboratoriet til forholdene i et netbur. I lighed med eksisterende havbrug vil fremtidige danske netbure uden tvivl anvende Dynema som netmateriale og dermed vil hastighedsreduktionen inde i burene være lavere end hvad man ser i Norge og Skotland.

Under laboratorieforhold opnåede juvenile laks holdt ved intermedier strømhastighed (ca. 18 cm/s) et mere optimalt forhold mellem fedt og protein, som indikation på bedre foderudnyttelse, end laks holdt ved lav strømhastighed (ca. 5 cm/s) og laks holdt ved "høje" hastigheder (ca. 35 cm/s) (Solstorm et al. 2015). Det er også vist, at laks fra stammer med gode svømmeegenskaber er mere modstandsdygtige over for sygdomme end laks med ringere svømmeegenskaber (Castro et al. 2013). I bure ændrer laksefisk svømmeadfærd - fra cirkulerende svømning i stimer ved hastigheder under og op til 20 cm/s – til modstrømmen svømning ved hastigheder (uden for burene) omkring 50 cm/s (Johansson et al. 2014, Klebert et al. 2013).

Det er ukendt i hvilken udstrækning svømmeadfærd og strømhastigheder påvirker effektiviteten i fødeindtaget og dermed tab af foderpiller. Teoretisk øges tabet med stigende strømhastighed (Alver et al. 2004), men i den eneste eksperimentelle undersøgelse var fodertabet uændret lavt på mellem 0,1 og 0,3% ved to forskellige laksebrug, hvor middelhastigheden var henholdsvis 3,7 cm/s og 17,5 cm/s (Cairney & Morrissey 2011). Det forekommer dog sandsynligt, at fodertabet øges, hvis der fodres i perioder med ændret svømmeadfærd udløst af høje strømhastigheder.

Ved beregning af indikatoren "strømforhold" fokuseres både på at undgå områder, der i produktionsperioden har længerevarende lave strømhastigheder (af hensyn til fiskenes velfærd), og undgå områder, der har længerevarende høje strømhastigheder (for at minimere foderspild, reducere slitage på udstyr og opnå en bedre foderkvotient).

"Strømforhold i overfladen"

Periode: 1. april – 1. december

Egnethedskriterier (graderet)

Raster 1- identifikation af områder med (for) lave hastigheder:

>10 cm/s i mindre end 20% af tiden: 0

>10 cm/s i mere end 40% af tiden : 1

Delvis egnet : $0,05 * \text{hyppighed}_{>10\text{cm/s}} - 1$ (lineært stigende)

Raster 2 - identifikation af områder med (for) høje hastigheder:

>40 cm/s i mere end 80% af tiden : 0

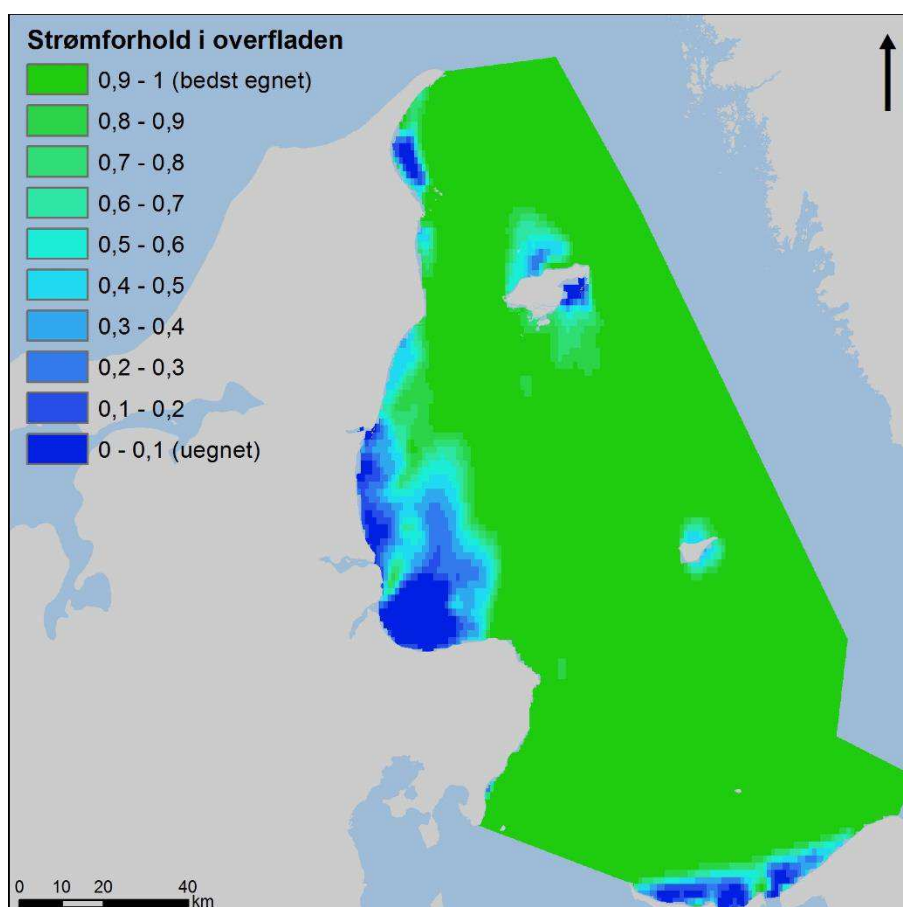
>40 cm/s i mindre end 40% af tiden : 1

Delvis egnet : $-0,025 * \text{hyppighed}_{>40\text{cm/s}} + 2$ (lineært faldende)

Egnethed pr. år: opnås ved multiplikation af raster 1 med raster 2

Endelig egnethed: beregnes som middelværdi af alle år

Figur 3-7 viser det resulterende egnethedskort for indikatoren "Strømforhold i overfladen". Direkte uegnede områder pga. meget lave strømforhold er beliggende inderst i Hevring Bugt (nord for Djursland) og inderst i Sejerø Bugt, og samlet udgør disse områder ca. 124 km². I undersøgelsesområdet begrænses havbrugsdriften ikke af høje hastigheder. I langt hovedparten af undersøgelsesområdet (> 85%) er strømforholdene meget velegnede til havbrugsproduktion (egnethed >0.8).



Figur 3-7 Egnhedskort for produktions-indikatoren "Strømforhold i overfladen"

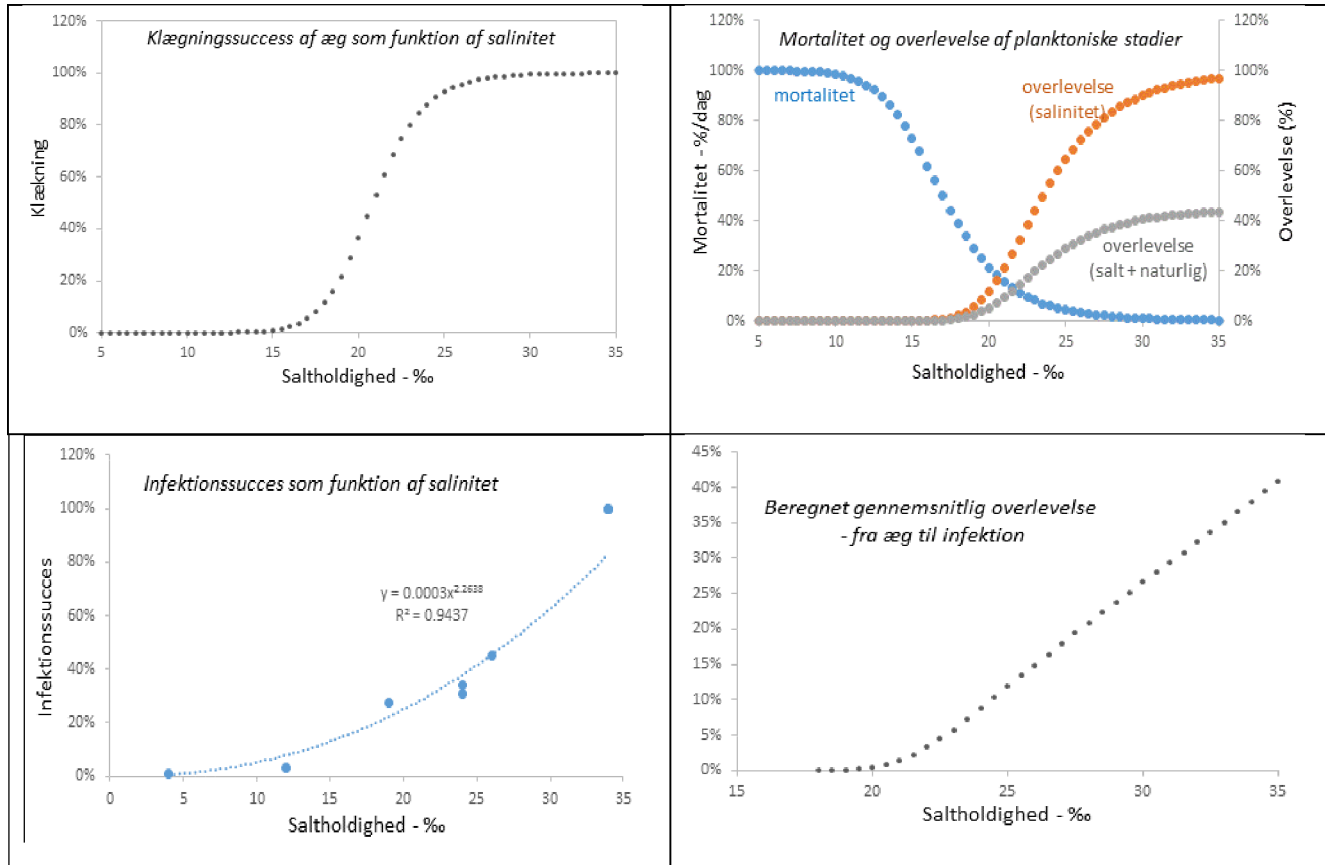
3.2.3 Risiko for infektion og spredning af lakselus

Lakselus, der hører til gruppen af copepoder inden for krebsdyrene, er parasitter på fisk. Der findes flere arter, men i nordiske farvande dominerer arten *Lepeophtheirus salmonis*, som er en naturlig parasit på laksefisk i havvand (herunder regnbueørred). Lakselusene gennemgår flere stadier fra æg til voksen. De tre yngste stadier er fritsvævende i vandet og fungerer som spredningsmekanisme. Efter at have fundet en vært i slutningen af 3. stadie, overgår lusene til fasthæftet levevis og ernærer sig af værtfiskens hud og blod. Efter et par hudskifter og befrugtning begynder hunlusen at producere æg. I løbet af hunnens levetid på ca. 2 måneder produceres op til 5.000 æg.

Arten *Lepeophtheirus salmonis* er særlig følsom over for lave saltholdigheder, der påvirker ægklækning, udviklingstid, adfærd, infektionssucces, befrugtning og ægproduktion og overlevelsen (Pike & Wadsworth 1999, Bricknell et al. 2006, Connors et al. 2008, Powell et al. 2015, Arriagada et al. 2016, Wright et al. 2016). Overordnet er de fritsvømmende juvenile stadier de mest følsomme over for reduceret saltholdighed med 30 ‰ som et slags «break-point», dvs. at adfærdsændringer og andre subletale effekter begynder, når saltholdigheden kommer under 30 ‰ – med gradvist større effekt jo lavere saltholdigheder og jo længere varighed af lav-saline forhold. Ved saltholdigheder lavere end 23-25 ‰ øges mortaliteten kraftigt. I en undersøgelse af lakselus på regnbueørreder indsamlet fra danske havbrug blev der fundet i alt 9 lakselus på 30 undersøgte regnbueørreder fra områder hvor saltholdigheden var højere end 21-24 ‰, men ingen forekomst af lakselus fra havbrug placeret i områder med lavere saltholdighed end 20-21 ‰ (Skov et al. 2014).

Egnhedskriterier er primært baseret på resultater fra laboratorieforsøg, hvor man har undersøgt æggenes klækningssucces, de forskellige stadiers overlevelse og mortalitet samt

infektionssucces som funktion af saltholdigheden. Undersøgelseresultaterne er sammenfattet i 4 figurer (Figur 3-8), der viser effekter af saltholdighed på æggens klækning, mortalitet hos fritsvømmende nauplier og copepoditter, indflydelsen på infektionssucces og summen af disse påvirkninger gennem hele lusenes livscyklus (Grøner et al. 2016).



Figur 3-8 Effekt af saltholdighed på lakselusens livsstadier. Øverst tv: ægklækning – funktion baseret på data fra Johnson & Albright (1991) og Gravil (1996). Øverst th: daglig mortalitet hos copepoditter og nauplier - %-overlevelse gennem samlet stadievarighed på 10 dage, samt forventet overlevelse in situ når der indregnes naturlig mortalitet på 8% per dag, funktioner baseret på data fra Johnson & Albright (1991), Gravil (1996), Bricknell et al. (2006). Nederst tv: infektionssucces – funktion baseret på Bricknell et al. 2006 og Tucker et al. (2000). Nederst th: samlet funktion der integrerer klækning, overlevelse gennem den fritsvømmende periode samt infektionssucces.

Når man integrerer effekten af saltholdigheden på alle lusenes stadier (fra æggene produceres og til det ineffektive stadie hæfter sig på en ørred) understreges saltholdighedens potentielt store betydning for udbredelse af lakselus i Kattegat. Ved konstante saltholdigheder stiger overlevelsen en 10-faktor ved en øgning i saltholdighed fra 20‰ til 23‰ og en yderligere fordobling af sandsynligheden ved en øgning fra 23‰ til 25‰ (Tabel 3-2).

Tabel 3-2 Beregnet sandsynlighed for forekomst af lakselus ved forskellige saltholdigheder.

Variation	Middelsaltholdighed			
	18‰	20‰	23‰	25‰
Konstant	0,0	0,5	5,8	11,7
± 3‰	0,3	1,6	6,6	11,9
± 5‰	0,5	2,9	7,8	12,3

I beregningerne er det antaget, at saltholdigheden er konstant gennem hele livscyklus, hvilket vil underestimere overlevelsen sammenlignet med en varierende – men i gennemsnit samme - saltholdighed (Tabel 3-2). Dette skyldes de stærke ikke-lineære responser på reduktioner i saltholdighed i intervallet 18-24 ‰ (Figur 3-8).

Saltholdigheden i Kattegats overfladevand varierer med positionen (stigende saltholdighed fra syd til nord og fra øst til vest) samt tidligt med afstrømning fra Østersøen og indstrømning af overfladevand fra Skagerrak. Ved analyse af modelleret overfladesaltholdighed fra flere positioner i Kattegat og efterfølgende beregning af sandsynligheder for overlevelse, infektion og ægproduktion baseret på relationerne vist i Figur 3-8 blev egnethedskriterierne fastlagt med udgangspunkt i varigheder af saltholdighed over og under 23 ‰ (se boks nedenfor).

"Risiko for lakselus"

Periode: 1. april – 1. december

Egnethedskriterier (graderet)

<23 ‰ i mere end 90% af tiden : 1,00

svarende til en sandsynlighed under 1% for forekomst af reproducerende lakselus

<23 ‰ i mere end 80% af tiden : 0,75

svarende til en sandsynlighed under 2-3% for forekomst af reproducerende lakselus

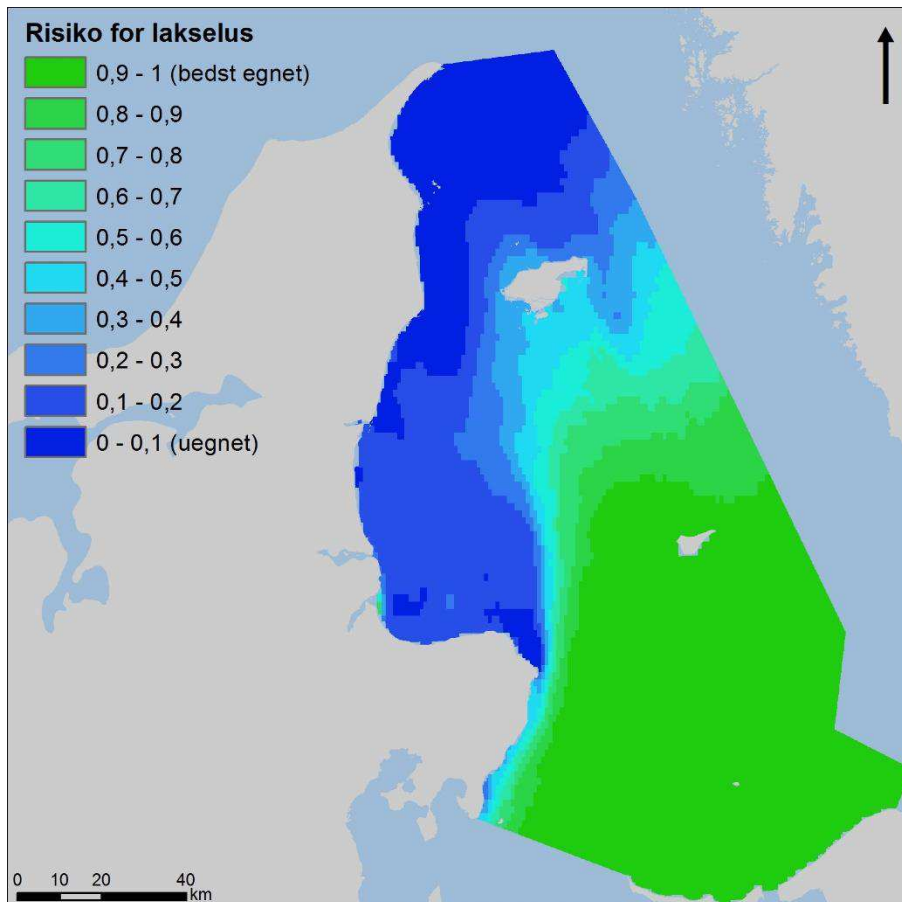
<23 ‰ i mere end 70% af tiden : 0,33

svarende til en sandsynlighed under 5% for forekomst af reproducerende lakselus

Ellers egnethed : 0

svarende til en sandsynlighed større end 5% for forekomst af reproducerende lakselus

Endelig egnethed: middelværdi af alle år



Figur 3-9 Egnethedskort for produktions-indikatoren "risiko for lakselus"

Figur 3-9 viser det resulterende egnethedskort for indikatoren "risiko for lakselus". Den beregnede egnethed er især udbredt i det centrale og østlige Kattegat, hvor saltholdigheden i middel er lav og varigheden af høje saltholdigheder er kortvarig i produktionsperioden. Arealet af uegnede arealer (dvs. egnethed $<0,1$), på grænsen til Skagerrak og langs Nordjyllands østkyst ned til Hals) udgør ca. 780 km² svarende til 5% af det undersøgte areal i Kattegat.

3.2.4 Vandtemperatur

Den øvre letale temperaturgrænse hos regnbueørreder ligger mellem 25 og 26 °C (Hokanson et al. 1977, Currie et al. 1998), men allerede ved temperaturer højere end 21-22 °C mister fiskene appetit, væksten reduceres (Hokanson et al. 1977, Wurtsbaugh & Davis 1977), og der er øget risiko for udbrud af sygdomme (Fryer & Pilcher 1974, Groberg et al. 1978). Langt hovedparten af undersøgelser af temperatureffekter i regnbueørred er udført i ferskvand med canadiske stammer, og det er uvist om man direkte kan overføre resultater fra disse forsøg til en dansk produktion i saltvand. Det er dog sandsynligt, at tolerancen over for høje temperaturer er (lidt) lavere i saltvand $>15\%$ pga. lidt højere osmotisk stress.

Indikatoren tager udgangspunkt i varigheder af vandtemperatur i overfladen højere end henholdsvis 22 °C, 21 °C og 20 °C i månederne juli-august. Endeligt valg af kriterier og hvordan de udmøntes i egnethed er koordineret med havbrugerne og baseret på deres erfaringer fra havbrugsdrift i Bælthavet.

"Vandtemperatur"

Periode: 1. juli – 31. august

Egnedskriterier (gradueret)

>22°C i mere end 30% af tiden : 0

>22°C i mere end 10% af tiden : 0,2

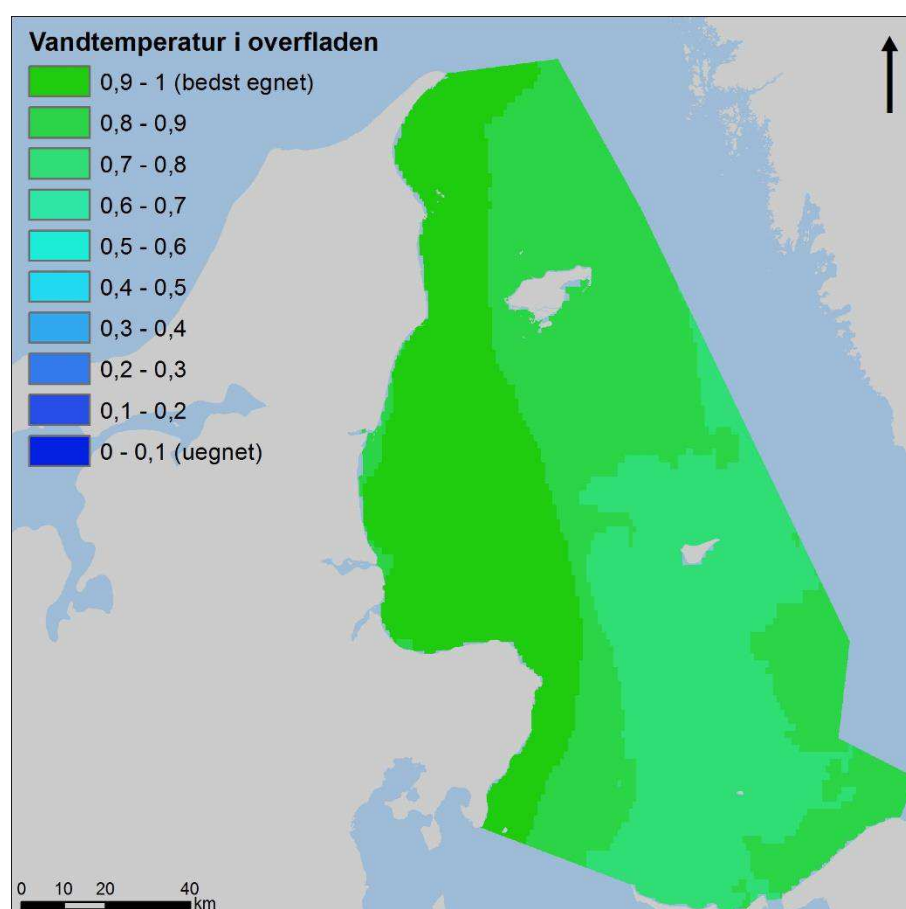
>21°C i mere end 10% af tiden : 0,33

>20°C i mere end 20% af tiden : 0,5

>20°C i mere end 5% af tiden : 0,75

Ellers egnethed : 1

Endelig egnethed: middelværdi af alle år



Figur 3-10 Egnedskort for produktions-indikatoren "Vandtemperatur"

Figur 3-10 viser det resulterende egnedskort for indikatoren "Vandtemperatur". Der er ingen områder der på baggrund af høje temperatur om sommeren er direkte uegnet til ørredproduktion. Områder med den laveste egnethed (0,7-0,8) inden for undersøgelsesområdet er beliggende i det centrale Kattegat som et 50 km bredt bånd fra Sjællands Odde strækkende sig mod nordøst i retning mod Göteborg (Figur 3-10).

3.2.5 Bølgehøjde

Kraftige bølger (bølgehøjde) øger risiko for slitage på udstyr, havari og udslip af fisk. Endvidere kan varighed af perioder med store bølger være hindrende for det daglige tilsyn og fodring af

fisk. Kriterierne er baseret på samtaler med havbrugere og erfaringer publiceret i den relevante litteratur (Turner 2000, Perez et al. 2003, Falconer et al. 2013).

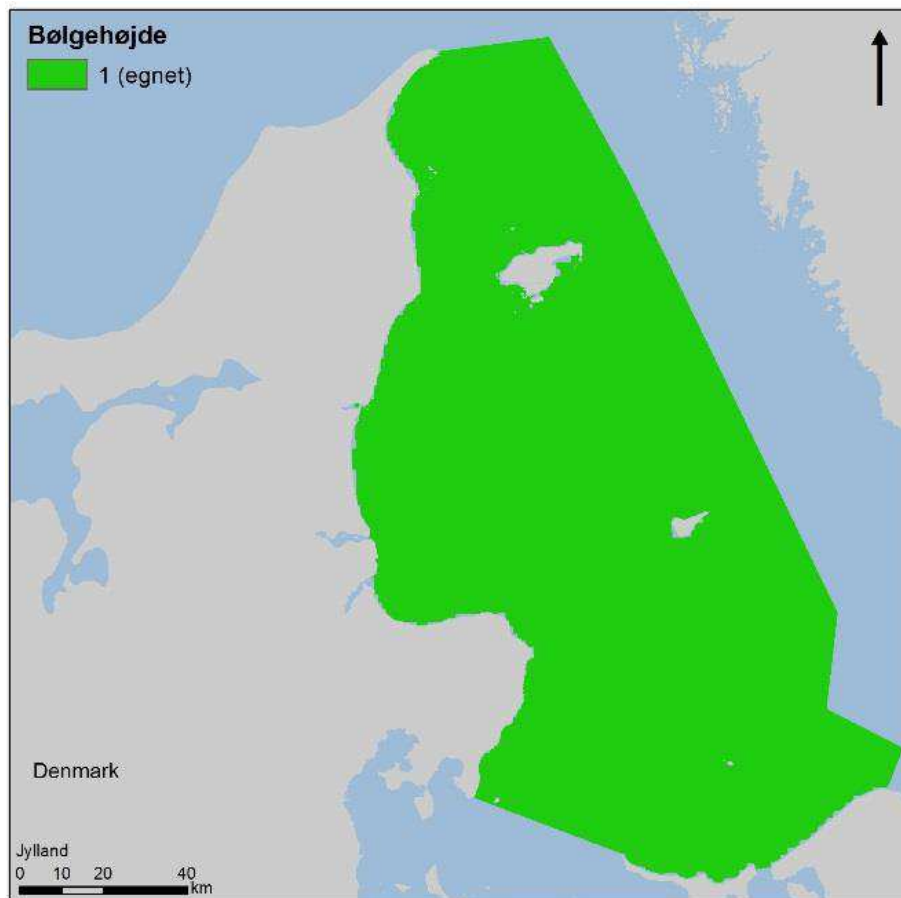
"Bølgehøjde"

Periode: 1 marts – 15. december (perioden hvor nettene etableres, anvendes og nedtages)

Egnethedskriterier (binær (Boolean))

Signifikant bølgehøjde >2,5m i mere end 3% af tiden (middelværdi af alle år) : 0 = Ugnet

Signifikant bølgehøjde >2,5m i mindre end 3% af tiden (middelværdi af alle år): 1 = Egnat



Figur 3-11 Egnethedskort for produktions-indikatoren "Bølgehøjde"

Figur 3-11 viser det resulterende egnethedskort for indikatoren "Bølgehøjde". Inden for det undersøgte område giver hyppighed af store bølger ikke anledning til begrænsninger for produktionen.

3.2.6 Osmotisk stress

Celler og blod i laksefisk har lavere saltindhold end det ydre miljø, når de opholder sig i saltvand (over 10-15‰), og fiskene må kontinuert skille sig af med det overskydende salt, der trænger ind i fisken gennem gællerne. Processen er aktiv, dvs. kræver energi og er ineffektiv ved lave temperaturer. Overgangen fra ferskvand til havvand, når fiskene udsættes i april, kan være en betydelig stresspåvirkning, hvis saltholdigheden er høj og temperaturen lav i denne periode. Adskillige undersøgelser har påvist forskellige stressreaktioner hos juvenile ørreder og laks (forhøjet saltindhold i blodet og væggtab) og ved ekstreme kombinationer også øget dødelighed (Finstad et al. 1988, Handeland et al. 1988, Sigholt & Finstad 1990, Handeland et al. 2000, Handeland et al. 2004).

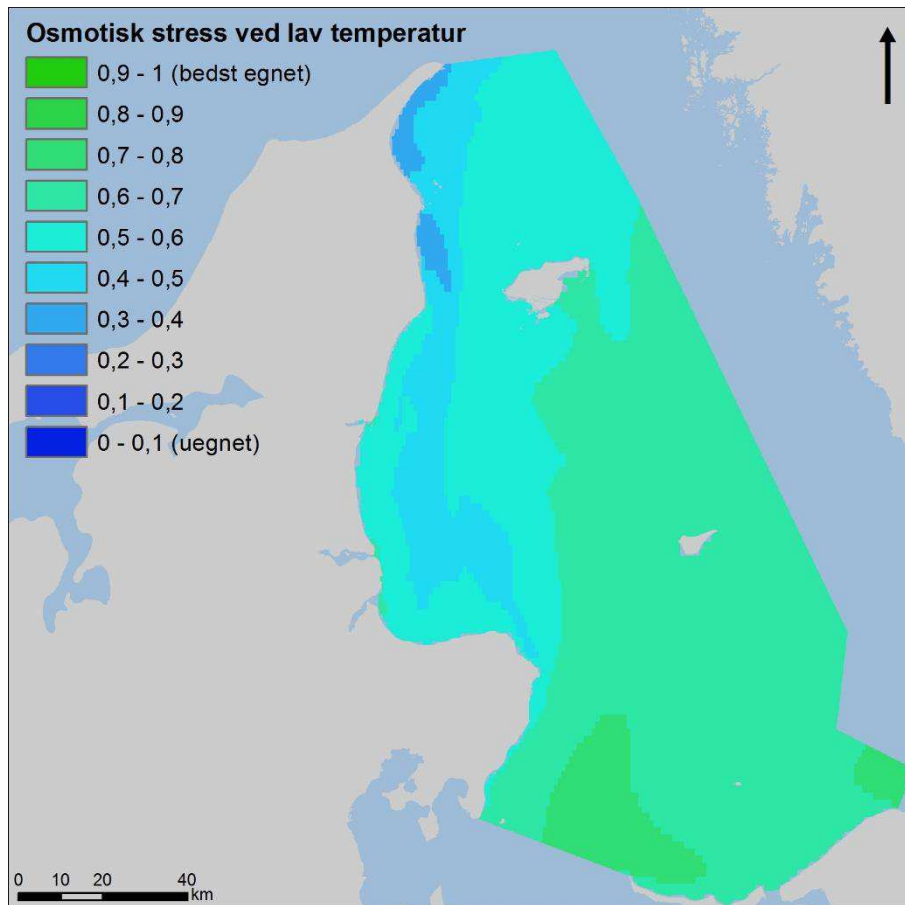
Målet med den anvendte egnethedsindikator er at identificere områder, hvor risikoen for osmotisk stress er lavest om foråret (høj indikatorværdi), når ørreder udsættes, og områder, hvor risikoen er høj og som bør fravælges. Indikatoren er baseret på forsøgsresultater med ørredfisk fra tempererede områder (se referencer i afsnit ovenfor) og er anvendt ved at beregne en egnethed på basis af saltholdighed og vandtemperatur i første halvdel af april:

$$\text{Indeks} = 1 - 0,0234 * \text{saltholdighed} + 0,01064 * \text{vandtemperatur}^2$$

"Osmotisk stress"	
Periode: 1.– 15. april	
Egnethedskriterier (graderet)	
Indeks $\geq 0,8$: 1
Indeks 0,7 – 0,8	: 0,9
Indeks 0,6 – 0,7	: 0,8
Indeks 0,5 – 0,6	: 0,7
Indeks 0,4 – 0,5	: 0,6
Indeks $< 0,4$: 0,3
Endelig egnethed: middelværdi af alle år	

Figur 3-12 viser det resulterende egnethedskort for indikatoren "Osmotisk stress". Inden for undersøgelsesområdet varierer stress-indikatoren mellem 0,3-0,4 og 0,7-0,8, lavest i området øst for Læsø og nordligere i Ålbæk Bugt, og højest på grænsen mellem Storebælt og Kattegat, hvor saltholdigheden i middel er lav og sjældent kommer over 23-24‰. Der er ingen områder som vurderes som uegnede som følge af risiko for osmotisk stress.

Ud over fravalg af produktionsområder kan havbrugere reducere risikoen for osmotisk stress i sættefiskene ved i kolde forår at vente et par uger med at udsætte til vandtemperaturen kommer over 5-6 °C, hvor fiskenes saltpumpe bliver mere effektiv.



Figur 3-12 Egnethedskort for produktions-indikatoren "Osmotisk stress".

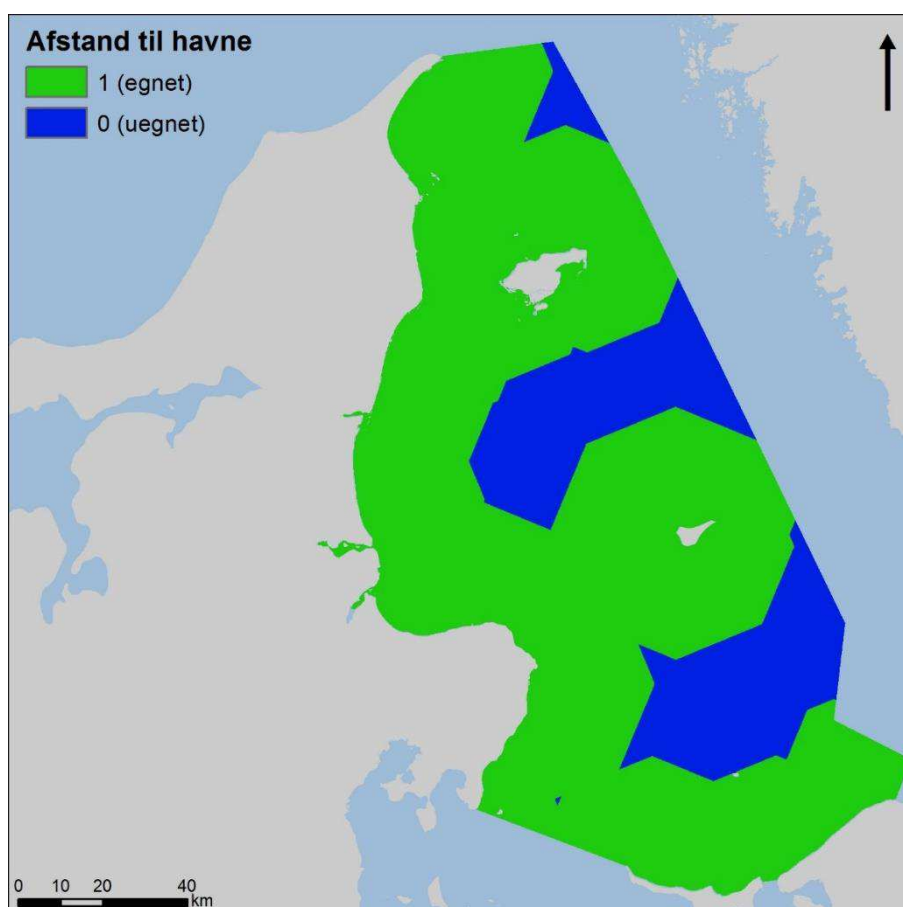
3.2.7 Afstand til havn

Gode havnefaciliteter tæt ved produktionsområder kan være afgørende for valg af produktionssted. På grundlag af ministeriets kommunikation med havbrugerne er det besluttet, at et egnet område ikke må være mere end 30 km fra en havn, hvor der forventes at være tilstrækkelige gode havnefaciliteter. Til disse havne er indregnet alle havne undtagen færgehavne og lystbådehavne.

"Afstand til havn"

Egnethedskriterier (Binær)

Afstand mindre end 30 km : 1 (Egnet)
 Afstand over 30 km : 0 (Uegnet)



Figur 3-13 Egnethedskort for produktions-indikatoren "Afstand til havn"

Figur 3-13 viser det resulterende egnethedskort for indikatoren "afstand til havn". Afstandskravene til nærmeste havn sætter nogen begrænsninger i udvælgelsen af havbrugsområder, idet det "uegnede" areal (dvs. områder med mere end 30 km til en havn) udgør 4.110 km².

3.3 Miljøeffekt-indikatorer

I det følgende gennemgås de to miljøeffekt-indikatorer (se Tabel 2-1), der er inkluderet i screeningen. Som nævnt tidligere er der fokuseret på forudsætninger for lav miljøpåvirkning (strøm- og iltforhold), mens den efterfølgende undersøgelse af standardhavbrug lokaliseret på specifikke positioner i de bedst egnede områder giver en detaljeret analyse af de forventede miljøeffekter.

Som for produktions-indikatorerne er der ved vurderingen enten anvendt et såkaldt "graderet" princip (binomial fordeling), hvor egnetheden er graderet fra uegnet "0" til egnet "1" (fleste indikatorer), eller samme binære princip som for arealanvendelses-indikatorer.

Forud for vurderingen er der beregnet en indeks-værdi for hver indikator. Indeksværdierne er beregnet på basis af data fra den modellering, der er sket i forbindelse med tilvejebringelse af data til udarbejdelsen af Vandplan 2 (IDF-modellering, data fra 2002-2011, Erichsen et al. 2014). Den geografiske udbredelse beskrives ved at beregne indeksværdien for hver modelgridcelle. Efter beregning af indeksværdi pr. år, estimeres den endelige egnethed som en middelværdi af alle årene.

3.3.1 Forskydningsspænding ved bunden

Indikatoren "forskydningsspænding" ved bunden anvendes til at udpege områder hvor sedimentet ikke varigt påvirkes af sedimentation fra havbrugsproduktion. Indikatoren identificerer arealer, hvor der er risiko for længerevarende akkumulering af sedimenteret materiale (inkl. materiale fra havbrug), modsat områder, hvor der ikke sker en løbende akkumulering.

En af de mest markante miljøpåvirkninger fra havbrugsdrift er ophobning af organisk materiale under havbrugsnettene, forringede iltforhold i sedimentet, og udvikling af svovlbrinte, hvor de to sidste giver anledning til et forarmet dyreliv. Længerevarende ophobning af organisk materiale under havbrug er sjældent forekommende i Danmark, fordi havbrugene er placeret i Bælthavet på forholdsvis lav vanddybde, hvor strømhastigheden i perioder er så kraftig, at det organiske materiale bliver borteroderet og ved efterfølgende sedimentation fordelt over et betydeligt større område og således fortyndes og indgår i det naturlige organiske kredsløb i havbunden.

Den laveste strøm- og bølgepåvirkning (= kritiske forskydningsspænding) af havbunden, som medfører begyndende erosion, varierer med sedimentpartiklernes størrelse og densitet, samt graden af konsolidering af sedimentet. Sammenhæng mellem bundforskydningsspænding og erosionsraten af partikulært organisk stof fra havbrug er undersøgt i 2 studier (Droppo et al. 2007, Black et al. 2016). I begge studier så man en begyndende erosion i området 0,01 til 0,02 N/m² og en stærkt stigende erosionsrate af sedimentet (kg/m²/s) med øget forskydningsspænding i området 0,05 til 0,2 N/m². Baseret på resultater fra begge undersøgelser kan sammenhængen mellem forskydningsspænding (N/m²) og erosionsraten af havbrugssediment beskrives ved:

$$\text{Erosion (kg/m}^2\text{/time)} = 80 * (\text{forskydningsspænding})^2$$

Egnedetskriterierne har taget udgangspunkt i den begyndende erosion af havbrugssediment ved 0,015 N/m² bestemt i den ene undersøgelse (Droppo et al. 2007), og 0,018 N/m² i undersøgelsen fra Black et al. (2016). Der ligger implicit i de enkelte kriterier (baseret på hyppighedsfordeling af forskydningsspænding), at overskridelse af en grænse på fx 0,015 N/m² i mere end 10% af tiden betyder at 0,025 N/m² overskrides i 2,5 % af tiden, 0,035 N/m² overskrides i 1,5% af tiden og 0,045 N/m² overskrides i 1% af tiden.

Figur 3-14 viser det resulterende egnedetskort for indikatoren "Forskydningsspænding ved bunden". Bortset fra dybe områder langs EEZ grænsen og området nord for Læsø, indikerer

screeningen, at ophobning af partikulært stof på havbunden under havbrug ikke begrænser lokaliseringen af havbrug i Kattegat.

"Forskydningsspænding"

Periode: december – februar

Egnethedskriterier (graderet)

>0,015 N/m² i mindre end 5% af tiden : 0

>0,015 N/m² i mere end 5% af tiden : 0,20

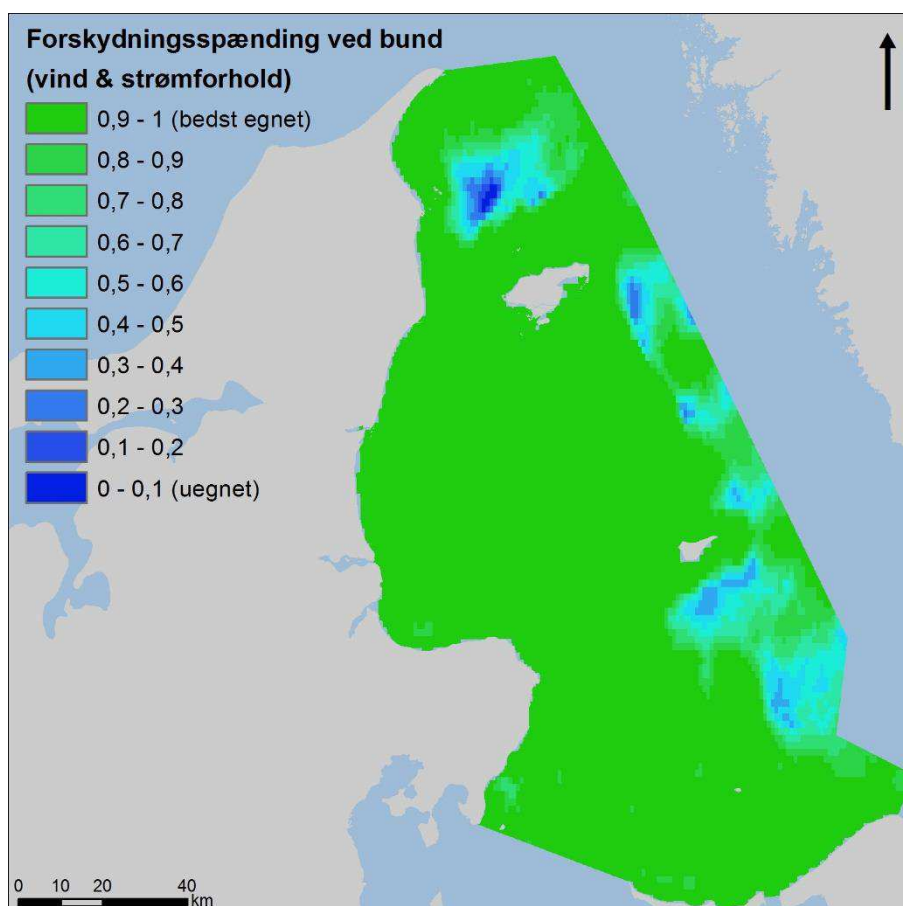
>0,015 N/m² i mere end 10% af tiden : 0,50

>0,018 N/m² i mere end 15% af tiden : 0,75

>0,018 N/m² i mere end 20% af tiden : 0,90

>0,018 N/m² i mere end 25% af tiden : 1,0

Endelig egnethed: middelværdi af alle år



Figur 3-14 Egnhedskort for produktions-indikatoren "Forskydningsspænding ved bund"

3.3.2 Forsænkninger i havbunden med øget risiko for iltvind

I lavvandede områder (10-25 m) på den flade bund i Kattegat sker der ingen endelig sedimentation. Sedimenter her er sandede med et lavt indhold af organisk stof. De øverste dele af havbunden resuspenderes jævnlgt og det fine materiale inkl. organisk stof transporteres til dybere områder, hvor den fysiske påvirkning af strøm og bølger er lavere (Christiansen et al. 1993). Forsænkninger i havbunden – naturlige eller resultat af sand- og ralingvinding - vil fungere som lokale sedimentationsfælder af fint materiale og organisk stof, fordi strømhastigheder i bunden af disse er betydeligt lavere end over den flade bund. Afledede

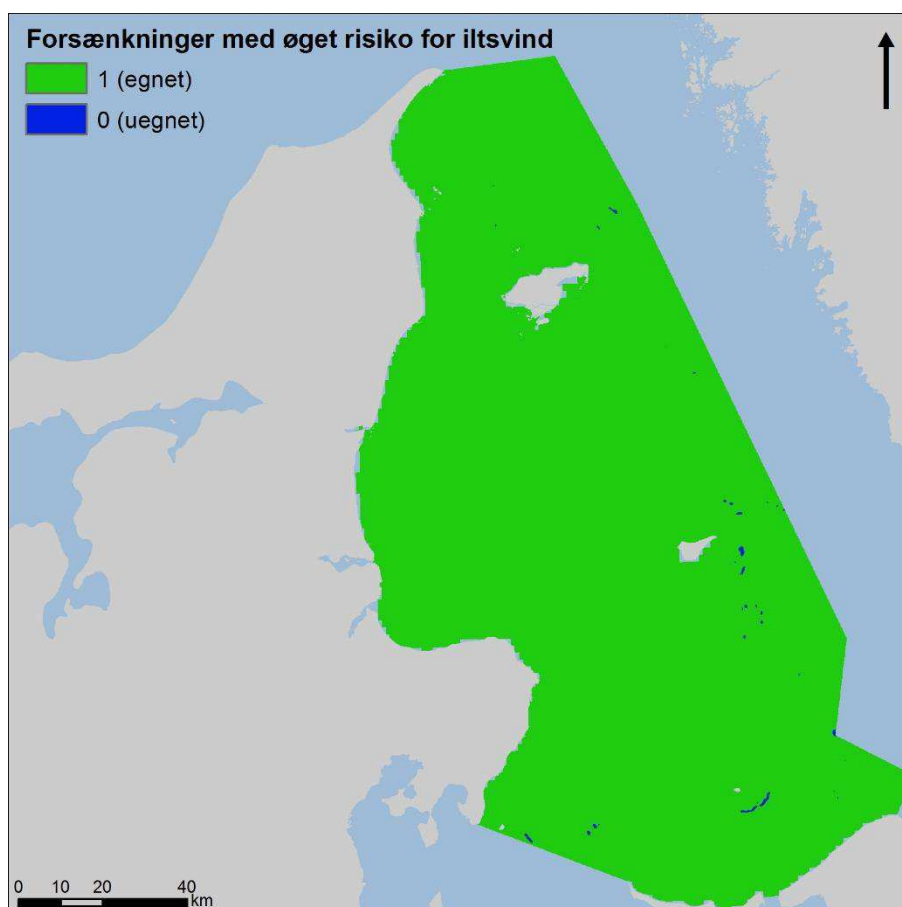
effekter ud over ændrede sedimentforhold kan være forringede iltforhold grundet et større iltforbrug ved nedbrydning det akkumulerende organiske stof (Birklund & Wijsman 2005, Walker et al. 2016). Lokale forsænkninger i havbunden i nærheden af havbrug kan derfor virke som fælder for det organiske materiale, der tabes fra havbrugsproduktion.

"Lokale sedimentationsområder"

Egnethedskriterier (binær)

Uegnet (0): Lokale forsænkninger i havbunden med en dybde der mindst er én m større end den omgivende bundkote identificeres med anvendelse af den detaljerede (50 x 50 m) bathymetri. Der beregnes arealer med 500 m bufferzone omkring disse områder.

Egnet (1): øvrige arealer



Figur 3-15 Egnhedskort for produktions-indikatoren lokale sedimentationsområder

Figur 3-15 viser det resulterende egnhedskort for indikatoren "Lokale sedimentationsområder". De lokale forsænkninger forekommer spredt i undersøgelsesområdet sydlige og østlige del med et samlet areal på 17 km². Placering og det ringe areal af disse områder udgør ikke en begrænsning for havbrugsdrift i Kattegat.

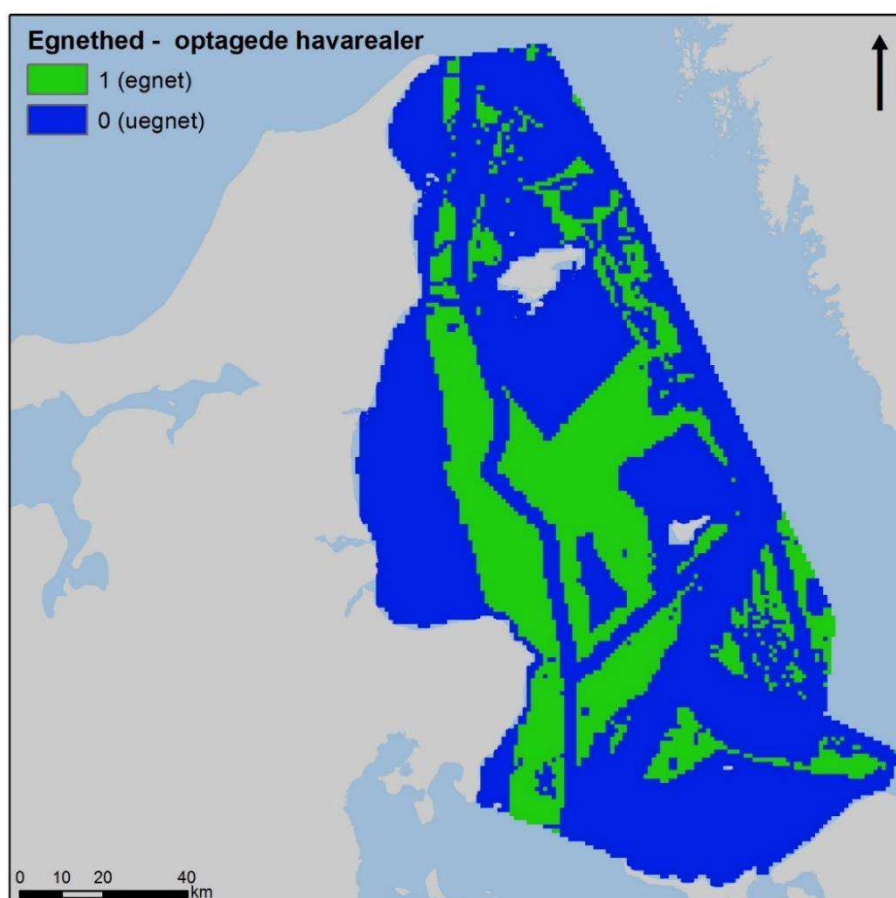
4 Samlet egnethed

Det overordnede mål er at fremstille et graderet kort, der identificerer de områder i Kattegat, der er bedst egnede til ørredproduktion under hensyntagen til eksisterende arealanvendelse, forhold som sætter grænser en rentabel produktion (sejlafrstand til havne, dybdeforhold, bølgeklime) og fiskenes krav til "vandet" (saltholdighed, temperatur og strømforhold), samt forudsætninger for lav miljøpåvirkning af havbunden (strømforhold og risiko for lokalt iltsvind).

I kapitel 3.1 er der opgjort og identificeret arealer, som allerede er optaget af andre aktiviteter og som derved udelukker etablering af havbrug i disse områder ("Arealanvendelse"). Efterfølgende er egnetheden af de ikke beslaglagte arealer kvantificeret mht. produktionsforhold og havbrugsdriftens potentielle miljøpåvirkning af havbunden (kapitel 3-2 og 3-3). Egnetheden er fastlagt efter et binært eller graderet princip – afhængigt af indikatoren. Herefter er endelig egnethedskort fremstillet gennem "overlay-analyser", hvor de enkelte indikatorer er repræsenteret i forskellige lag. I analysen er alle faktorer vurderet som ligeværdige, dvs. med samme vægt.

4.1 Arealanvendelse

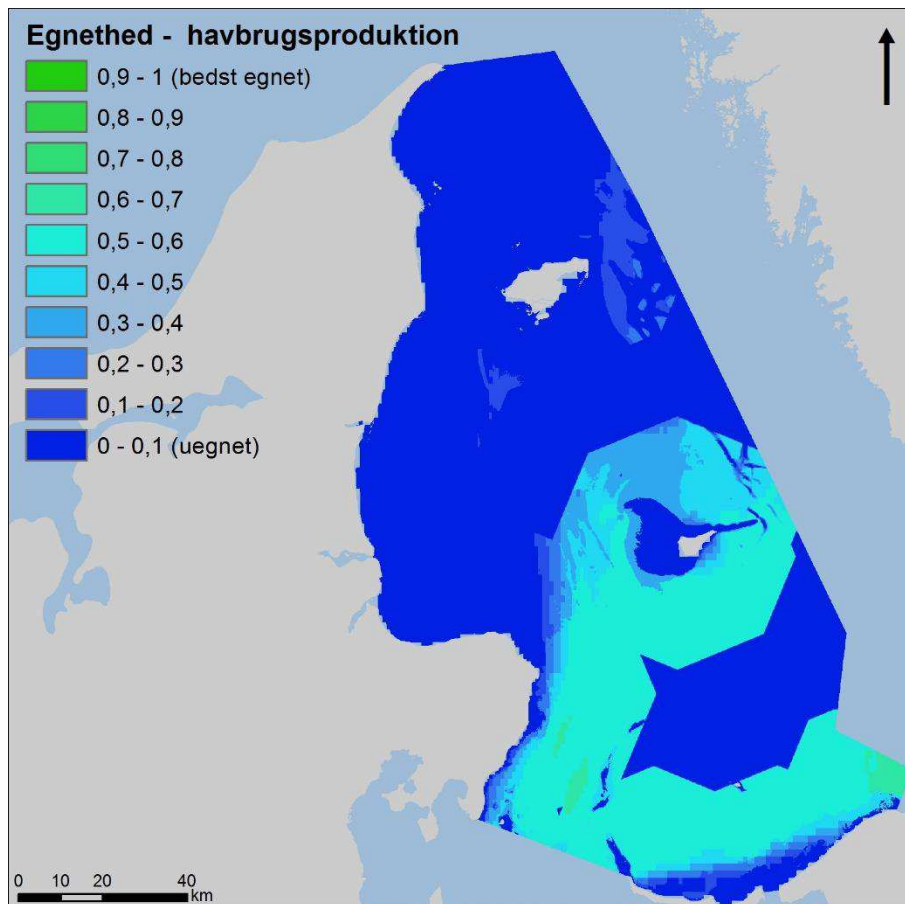
Ud af det samlede undersøgelsesareal i Kattegat på 14.641 km² beslaglægger eksisterende aktiviteter (inkl. bufferzoner) et samlet areal på 10.711 km², svarende til 73% af undersøgelsesarealet (se Tabel 3-1).



Figur 4-1 Oversigt over den geografiske udbredelse af samlet egnethed, når der kun inddrages arealanvendelses-indikatorer.

4.2 Produktionsforhold

Ud af det samlede undersøgelsesareal i Kattegat på 14.641 km² bedømmes et areal på 6.992 km², svarende til 48% af undersøgelsesarealet, at være uegnet for drift af større havbrug pga. produktionsforholdene (egnethed <0,1; se Figur 4-2 og Tabel 4-1). Det skal bemærkes at der er stort overlap med arealer, som er beslaglagt af anden arealanvendelse (afsnit 4.1). Tilsvarende overlapper flere af de beregnede begrænsninger for produktionsrelaterede indikatorer inden for gruppen "produktionsforhold". Set enkeltvis er de væsentligste begrænsninger, som hænger sammen med krav til rentable produktionsforhold, adgang til havnefaciliteter, hvor et areal på 3.287 km² bedømmes uegnet (Tabel 4-1) og vanddybde, der medfører udelukkelse af et areal på 3.866 km².



Figur 4-2 Oversigt over den geografiske udbredelse af samlet egnethed, når der kun inddrages produktions-indikatorer.

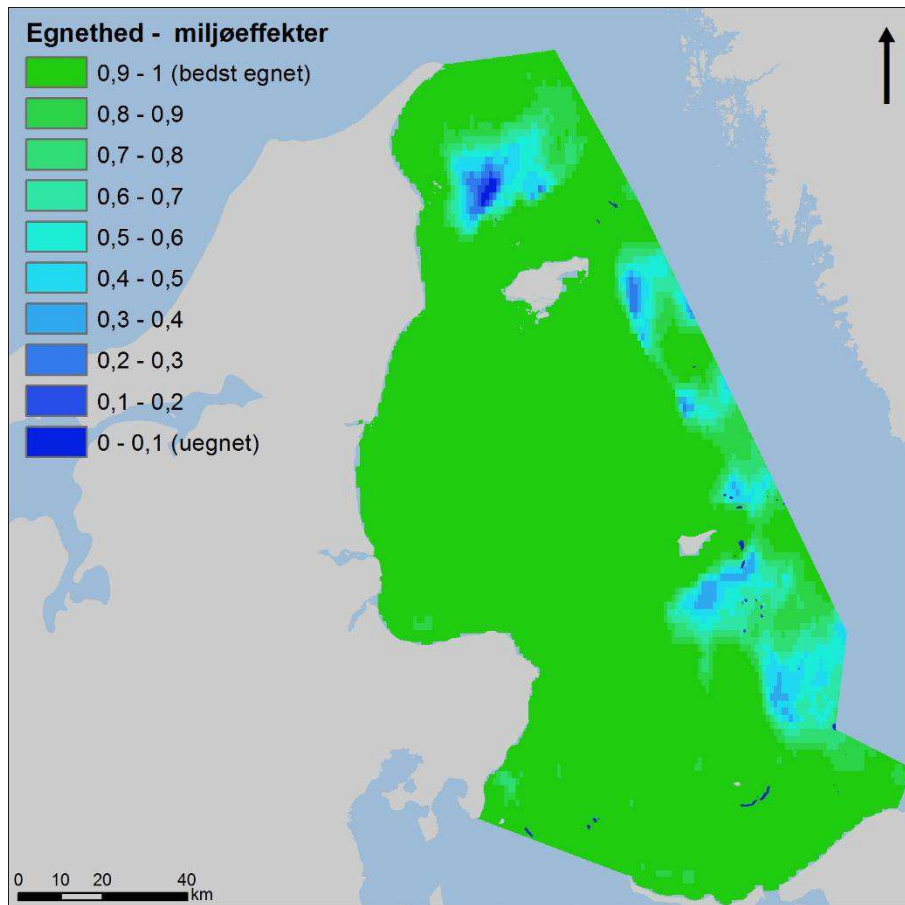
Andre og arealmæssigt mindre vigtige produktionsfaktorer, som udelukker havbrugsproduktion (egnethed $\leq 0,1$), er "risiko for lakselus" med et areal på 781 km² (beliggende vest og nord for Læsø) og lav "strømforhold" (i kystzonen nord for Sjælland og i Hevring Bugt) omfattende et beskedent areal på 124 km² (Tabel 4-1). Bortset fra "bølgehøjde" og "afstand til havn" indgår de øvrige indikatorer (Tabel 4-1) – især "risiko for lakselus" og "osmotisk stress" - med graderet egnethed der sammen reducerer egnetheden nord for Djursland.

Tabel 4-1 Oversigt over arealer (km²) som for produktions-indikatorerne set enkeltvis og samlet ikke anses for egnede til drift af et større regnbueørred havbrug (egnethed<0.1). % er beregnet i forhold til det samlede Kattegat undersøgelsesareal. Undersøgelsesområdets samlede areal er 14.641 km².

Begrænsning	Km ²	%
Afstand til havn	3.287	23 %
Vanddybde	3.751	26 %
Strømforhold	124	1 %
Risiko for lakselus	781	5 %
Temperatur	0	0 %
Bølgehøjde	0	0 %
Osmotisk stress	0	0 %
Samlede areal som bedømmes som uegnet for drift af større havbrug pga. af uegnede produktionsforhold	6.992	48%

4.3 Miljøpåvirkning af havbunden

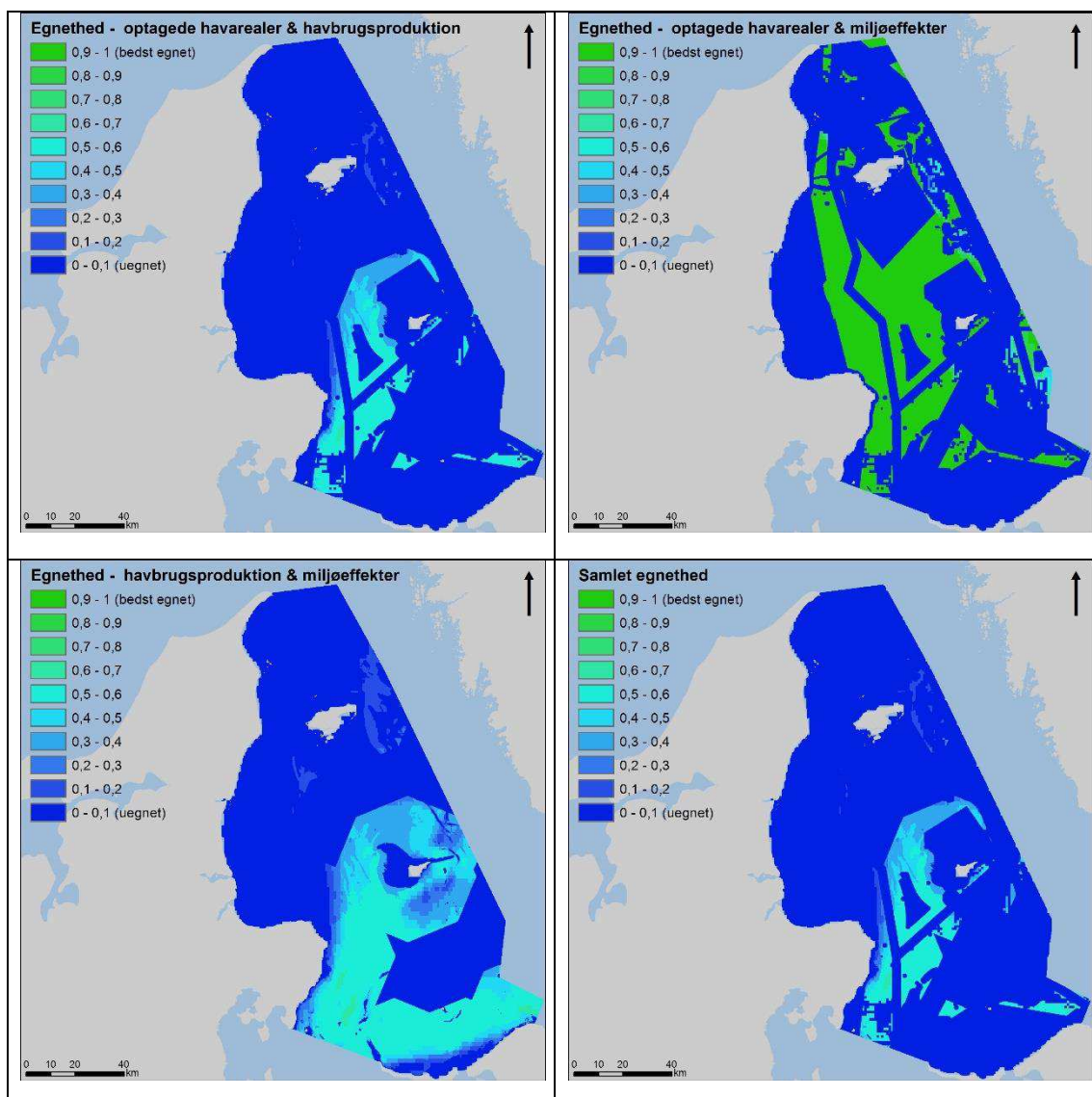
Den største begrænsning (dvs. det største areal for en enkelt indikator) med hensyn til miljøpåvirkning på havbunden skyldes indikatoren "forsænkninger i havbunden". Øvrige miljøbetingede og graduerede begrænsninger hænger sammen med lav hyppighed af forskydningsspændinger, som kan resuspendere og borttransportere organisk stof fra havbunden. Begrænsningerne er sammenfaldende med de dybe områder i den østlige del af undersøgelsesområdet samt det dybe område nord for Læsø (Figur 4-3).



Figur 4-3 Oversigt over den geografiske udbredelse af samlet egnethed, når der kun inddrages miljøeffekt-indikatorer.

4.4 Aggregering af arealanvendelse, produktionsforhold og miljøpåvirkning af havbunden

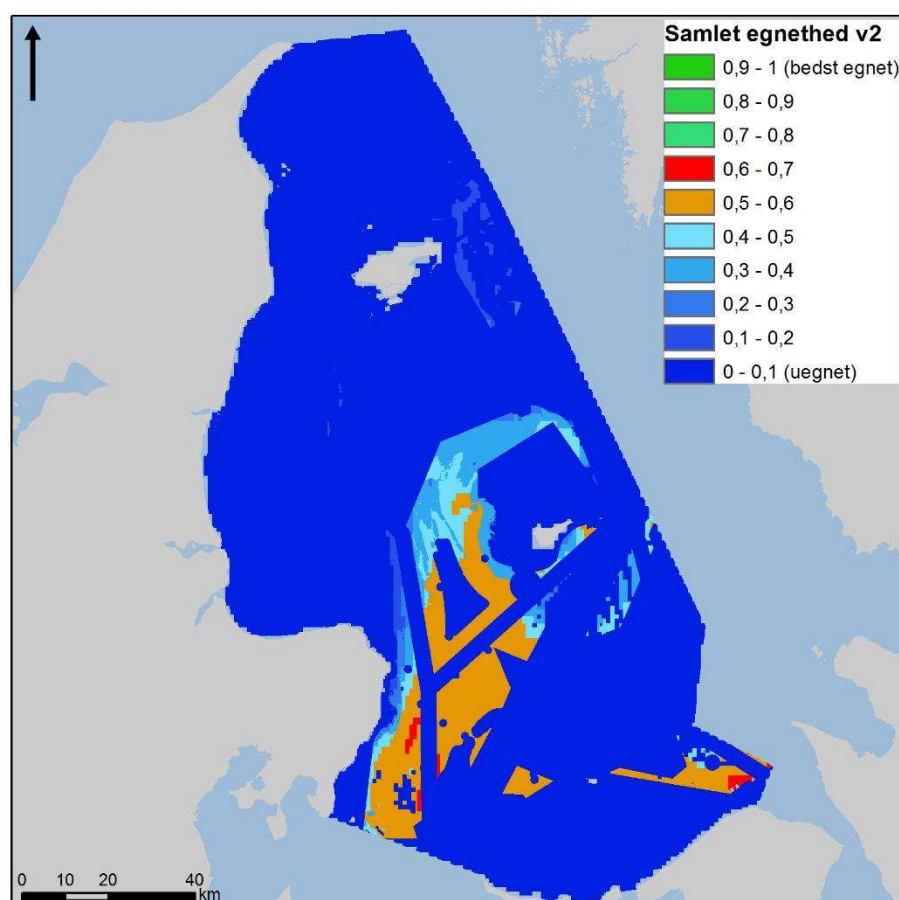
Parvis kombination af de tre begrænsningstyper og sammenligning med kort hvor alle tre begrænsningstyper indgår viser, at langt de væsentligste begrænsninger findes inden for grupperne "arealanvendelse" og "produktionsforhold" (Figur 4-4). Kortene viser også, at arealanvendelse sætter de største begrænsninger i både den sydlige og den nordlige del af undersøgelsesområdet, mens "produktionsforhold" især begrænser mulighederne i den nordlige del. Det skal bemærkes at miljøeffekt-indikatorerne alene omfatter forudsætninger for lav miljøpåvirkning af havbunden. Detaljerede undersøgelser af miljøeffekter er foretaget efterfølgende (DHI 2017).



Figur 4-4 Oversigt over den geografiske udbredelse af egnethed, når der inddrages flere typer af begrænsning; øverst tv: egnethed efter kombination af beslaglagte arealer og produktionsforhold; øverst th: egnethed efter kombination af beslaglagte arealer og miljøforhold; nederst tv: egnethed efter kombination af produktionsforhold og miljøforhold; nederst th: samlet egnethed (beslaglagte arealer+produktionsforhold+miljøforhold).

5 Diskussion af screeningsresultat

Den samlede egnethed fremgår af Figur 4-4 nederst til højre, hvor det ses, at den samlede egnethed ikke overstiger 0,7. Den samlede egnethed er baseret på 22 individuelle indikatorer og dertil knyttede kriterier. Som grundlag for udpegning af de bedst egnede havbrugsområder er det vurderet, at områder bør have en egnethed på mindst 0,5 for at indgå i det videre arbejde. Nedenstående kort er det samme som vist i Figur 4-4 (nederst th.), men med andet farvevalg, idet for områder med egnetheder større end 0,5 er farvet orange og røde for at gøre det klarere, hvor de bedst egnede områder er lokaliseret. De egnede områder er koncentreret øst og nordøst for Djursland. Mod nord begrænses egnetheden gradvist i takt med, at saltholdigheden øges og dermed også sandsynligheden for forekomst af lakselus på havbrugsørreder og øget risiko for osmotisk stress i kolde forår.



Figur 5-1 Samlet egnethed, hvor områder med egnethed mellem 0,5 og 0,7 er angivet med orange/røde farve (der er ingen områder der er klassificeres med en egnethed >0,7).

Resultaterne af screeningsundersøgelsen er anvendt som basis for udpegning af havbrugszoner, samt de hovedpositioner inden for zonerne, hvor miljøeffekter fra såkaldte "standardhavbrug" er modelleret og vurderet. Denne del af projektet er rapportert i DHI (2017), som omfatter ni delrapporter, en for hver standardhavbrugsposition (otte i alt) og en med undersøgelse af miljøeffekter ved fordoblet produktion (dobbel standardhavbrug).

6 Referencer

- Alver MO, Jo Arve Alfredsen JA & T Sigholt (2004) Dynamic modelling of pellet distribution in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) cages. *Aquacultural Engineering* 31: 51–72.
- Arriagada G, Vanderstichel R, Stryhn H, Milligan B & CW Revie (2016) Evaluation of water salinity effects on the sea lice *Lepeophtheirus salmonis* found on farmed Atlantic salmon in Muchalat Inlet, British Columbia, Canada. *Aquaculture* 464: 554–563.
- Bankes N, Dahl I & DL VanderZwaag (2016) *Aquaculture Law and Policy – Global, regional and National Perspectives*. Edward Elgar Publishing; 512 sider.
- Birklund J & Wijsman JWM (2005). *Aggregate Extraction: A review on the effect on ecological Functions*. - Prepared for: EC Fifth Framework Programme Project SANDPIT: 54 sider.
- Black KD, Carpenter T, Berkeley A, Black K & C Amos (2016). *Refining sea-bed process models for aquaculture (SAM/004/12)*; New DEPOMOD Final Report, August 2016.
- Bricknell IR, Dalesman SJ, O, Shea B, Pert CC & AJ Luntz (2006). Effect of environmental salinity on sea lice *Lepeophtheirus salmonis* settlement success. *Dis. Aquat. Org.* 71(3): 201-212.
- Cairney D & D Morrissey (2011). *Estimation of feed loss from two salmon cage sites in Queen Charlotte Sound*. NIWA Report prepared for NZ King Salmon. 20 sider.
- Castro V, Grisdale-Helland B, Jørgensen SM, Helgerud J, Claireaux G, Farrell AP, Helland SJ & H Takle (2013) Disease resistance is related to inherent swimming performance in Atlantic salmon. *BMC Physiology* 13:1 (<http://www.biomedcentral.com/1472-6793/13/1>).
- Christiansen C, Kunzendorf H, Otto C & J Sentius (1993) Recent and subrecent sedimentary conditions in the southern part of the North Sea–Baltic Sea transition. *Boreas* 22: 357–366
- Connors BM, Juarez-Colunga E & LM Dill (2008). Effects of varying salinities on *Lepeophtheirus salmonis* survival on juvenile pink and chum salmon. *J. Fish Biol.* 72: 1825-1830.
- Currie RJ, Bennett WA & TL Beitinger (1998). Critical thermal minima and maxima of three freshwater game-fish species acclimated to constant temperatures. *Environ. Biol. Fish.* 51: 198-200.
- DHI (2017). "Modellering af lokaliteter til havbrug". *Vurdering af miljøeffekter. Otte delrapporter for standardhavbrug og en delrapport for dobbelt standardhavbrug*. Rapporter til Miljø- og Fødevarerministeriet. Projekt støttet af EU's Hav- og Fiskeriudviklingsprogram EHFF.
- Droppo IG, Jaskot C, Nelson T, Milne J & M Charlton (2007). *Aquaculture waste sediment stability: Implications for waste migration*. *Water Air Soil Pollut* 183: 59-68.
- Erichsen AC, Kaas H, Timmermann K, Markager S, Christensen J, & C Murray (2014). *Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder – Del 1. Metode til bestemmelse af målbelastning. Dokumentation. Rapport om NST projektet "Implementeringen af modeller til brug for vandforvaltningen"*. http://naturstyrelsen.dk/media/131361/3_1_modeller-for-danske-fjorde-og-kystnaere-havomraader-del1.pdf.
- Falconer L, Hunter D-C, Scott PC, Telfer TC, Ross LG (2013). Using physical environmental parameters and cage engineering design within GIS-based site suitability models for marine aquaculture. *Aquacult Environ Interact* 4: 223–237.

- FAO & World Bank (2015). Aquaculture zoning, site selection and area management under the ecosystem approach to aquaculture.
<https://www.openchannels.org/sites/default/files/literature/Aquaculture%20zoning%2C%20site%20selection%20and%20area%20management%20under%20the%20ecosystem%20approach%20to%20aquaculture.pdf>.
- Finstad B, Staurnes M & OB Reite (1988). Effect of low temperature on sea-water tolerance in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture* 72: 319-328.
- Fryer JL & KS Pilcher (1974). Effects of temperature on diseases of salmonid fishes. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. Ecological Research Series. EPA-660/3-73-020. 114 sider.
- Gifford JA, Benetti DD, Rivera JA (2002). National marine aquaculture initiative: using GIS for offshore aquaculture siting in the U.S. Caribbean and Florida.
(www.lib.noaa.gov/docaquareports_noaaresearchnmaifinalreportgis.pdf).
- Gislason H, Dalskov J, Dinesen GE, Egekvist J, Eigaard O, Jepsen N, Larsen F, Poulsen LK, Sørensen TK & E Hoffmann (2014). Miljøskånsomhed og økologisk bæredygtighed i dansk fiskeri. DTU Aqua-rapport nr. 279-2014. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 83 sider + bilag.
- Gravil HR (1996). Studies of the biology and ecology of the free swimming larval stages of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1838) and *Caligus elongatus* Nordmann, 1832 (Copepoda: Caligidae). Unpub. Ph.D. thesis, University of Stirling. 299 sider.
- Nordmann, 1832 (Copepoda: Caligidae). Unpub. Ph.D. thesis, University of Stirling. 299 sider.
- Groberg WJ Jr, McCoy RH, Pilcher KS & JL Fryer (1978). Relation of water temperature to infections of coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*), chinook salmon (*O. tshawytsch*), and steelhead trout (*Salmo gairdneri*) with *Aeromonas salmonicida* and *A. hydrophila*. *J. Fish Res. Bd. Can.* 35: 1–7.
- Groner ML, McEwan GF, Rees EE, Gettinby G & CW Revie (2016). Quantifying the influence of salinity and temperature on the population dynamics of a marine ectoparasite. *Can J Fish Aquat Sci* 73: 1281-1291.
- Handeland SO, Wilkinson E, Sveinsbø B et al. (2004). Temperature influence on the development and loss of seawater tolerance in two fast-growing strains of Atlantic salmon. *Aquaculture* 233: 513-529.
- Handeland SO, Berge Å, Björnsson BTh, Lie Ø & SO Stefansson (2000). Seawater adaptation by out-of-season Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts at different temperatures. *Aquaculture* 181: 377–396.
- Handeland SO, Berge Å, Björnsson BTh & SO Stefansson (1988). Effects of temperature and salinity on osmoregulation and growth of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) smolts in seawater. *Aquaculture* 168: 289–302.
- Hokanson KEF, Kleiner CH & TW Thorslund (1977). Effects of constant temperatures and diel temperature fluctuations on specific growth and mortality rates and yield of juvenile rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *J Fish Res Bd Can* 34: 639-648.
- Johansson D, Laursen F, Fernö A, Fosseidengen JE, Klebert P, Stien PH, Vångseth T & F Oppedal (2014). The interaction between water currents and salmon swimming behaviour in sea cages. *PLoS ONE* 9(5): e97635. doi:10.1371/journal.pone.0097635.

- Johnson SC & LJ Albright (1991). Development, growth, and survival of *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) under laboratory conditions. *J. Mar. Biol. Assoc. U.K.* 71(2): 425-436.
- Klebert P, Lader P, Gansel L & F Oppedal (2013). Review; Hydrodynamic interactions on net panel and aquaculture fish cages: A review. *Ocean Engineering* 58: 260–274.
- López J, Hurtado F, Queirolo D, Zamora V & G Suazo (2015). Volume loss of an aquaculture net pen due to current speed and linear weight of sinker ring. *Lat Am J Aquat Res* 43(2): 309-314.
- MFVM / Miljø og Fødevarerministeriet (2016). Kravspecifikation i udbuddet til projektet "Modellering af lokaliteter til havbrug". Citat.
- NN 2016 - <https://data.sa.gov.au/data/dataset/aquaculture-zones>
- Pike AW & SL Wadsworth (1999). Sealice on salmonids: their biology and control. *Adv Parasitol* 44: 233–337.
- Sanchez-Jerez P et al. (2016). Aquaculture's struggle for space: the need for coastal spatial planning and the potential benefits of Allocated Zones for Aquaculture (AZAs) to avoid conflict and promote sustainability. *Aquacult Environ Interact* 8: 41–54.
- Sigholt T & B Finstad (1990). Effect of low temperature on seawater tolerance in Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Aquaculture* 84: 167-172.
- Silva C, Ferreira JG, Bricker SB, DelValls TA, Martín-Díaz ML & E Yañez (2011). Site selection for shellfish aquaculture by means of GIS and farm-scale models, with an emphasis on data-poor environments. *Aquaculture*, 318: 444–457.
- Skov J, Mehrdana F, Marana MH, Bahloul QZMB, Jaafar RM, Sindberg D, Jensen HM, Kania PW & K Buchmann (2014). Parasite infections of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) from Danish mariculture. *Aquaculture* 434: 486-492.
- Solstorm F, Solstorm D, Oppedal F, Fernö A, Fraser TWK & R-E Olsen (2015) Fast water currents reduce production performance of post-smolt Atlantic salmon *Salmo salar*. *Aquacult Environ Interact* 7: 125–134.
- Torgersen Y, Bryde M & RT Kongtorp (2010). 3. Norway: Aquaculture zoning policy and competition for marine space in aquaculture management: 121-130. I OECD Workshop Proceedings 2010 - Advancing the Aquaculture Agenda. 429 sider.
- Tucker CS, Sommerville C & R Wootten (2000). The effect of temperature and salinity on the settlement and survival of copepodids of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837) on Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *J. Fish Dis.* 23(5): 309-320.
- Walker R, Bokuniewicz H, Carlin D, Cato I, Dijkshoorn C, De Backer A, Dalfsen Jv, Desprez M, Howe L, Robertsdottir BG, Rozemeijer M, Russell M & A Stolk (2016) Effects of extraction of marine sediments on the marine environment 2005–2011. ICES COOPERATIVE RESEARCH REPORT NO. 330, February 2016.
- Wright DW, Oppedal F & T Dempster (2016). Early-stage sea lice recruits on Atlantic salmon are freshwater sensitive. *J Fish Dis* 39: 1179–1186.
- Wurtsbaugh WA & GE Davis (1977). Effects of temperature and ration level on the growth and food conversion efficiency of *Salmo gairdneri*, Richardson. *J. Fish. Biol.* 11: 87–98.

