



Notat

Til Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri
Kontoret for fiskeri, Departementet

Vedr. Værktøj til miljøvurdering af muslingeopdræt

Fra DTU Aqua v/ Flemming Thorbjørn Hansen, Daniel Taylor, Jens Kjerulf Petersen, Pernille Nielsen og DHI v/ Thomas Uhrenholdt. Kvalitetssikring: Jørgen Dalskov (DTU Aqua), Anders Erichsen (DHI)

Resume

Med udgangspunkt i en anmodning om faglig vurdering af, hvilke ansøgninger om nye anlæg til produktion af blåmuslinger på bunden (kulturbanker) eller i vandsøjlen (opdrætsanlæg) i Limfjorden som vurderes at have væsentlig påvirkning af udpegningsgrundlaget for udpegede Natura 2000-områder eller rev og ålegræsbede, har DTU Aqua gennemført en modellering af spredning af fækalier fra anlæggene ved hjælp af en spredningsmodel baseret på DHI's hydrodynamiske model system ABM Lab for Limfjorden.

Resultater af modelberegningerne viser, at den direkte sedimentation fra opdrætsanlæg sker lige under anlæggene og ud til ca. 100 m fra anlæggene. Resuspension af muslingefækalier som følge af bølgenedslag og strøm under opdrætsanlæg og fra kulturbanker kan sprede fækalierne til et større område i Kås Bredning, Sallingsund og Løgstør Bredning, mens der i Skive Fjord kun sker en marginal spredning ved resuspension. For områder, der ligger tæt på ansøgningerne i Kås Bredning, Sallingsund og Løgstør Bredning viser beregningerne, at der formentlig enkelte steder og meget lokalt kan ske en vis akkumulering af organisk stof på op til mellem 10-20 g C/m² i gennemsnit i en afstand fra 100-500 m fra ansøgningsområderne meget afhængig af lokaliteten. Generelt vil det akkumulerede materiale ske i et område fra afgrænsningen af det ansøgte produktionsområde til dybere vand, hvor de generelle sedimentationsforhold favoriserer sedimentation eller langs dybdekurven i de dominerende strømretninger langs kysten. Til sammenligning vurderes den naturlige gennemsnitlige akkumulering af sedimenteret materiale fra vandsøjlen at udgøre 10 g C/m². Iltforbrug associeret til det sedimenterede materiale kan ud fra en ekspertvurdering antages at være meget lokalt under eller i anlæggene, men kan også forekomme lokalt og kortvarigt udenfor den primære påvirkningszone og vil ikke i sig selv give anledning til, at der opstår iltsvind i vandsøjlen. Beregningerne i analysen kan antages at være generelt konservative forstået som, at der vil være en større akkumulering af materiale på havbunden og et større iltforbrug end det kan forventes i virkeligheden. Der er heller ikke medtaget positive effekter på generel sedimentation og iltforbrug på bassinskala i beregningerne. Der

28. april 2022

Journal nr. : 21/1039770

JEKJP/FTOH



har ikke kunnet gennemføres supplerende modelberegninger indenfor projektets rammer og resultaterne er forbundet med en vis usikkerhed.

Til behandling af ansøgningerne i relation til påvirkning af Natura 2000-områder samt rev og ålegræs foreslår DTU Aqua, at følgende kriterier indgår: 1) Om ansøgningen har en afstand til ålegræssets målsatte dybdegrænse jf. vandområdeplanerne på <100 m; 2) Om ansøgningen har en afstand til et Natura 2000-område eller rev, så der ikke sker en øget gennemsnitlig akkumuleret sedimentation på 10 g C/m² eller mere i Natura 2000-området.

DTU Aqua anbefaler mere udvidede modelberegninger for at kunne vurdere de samlede kumulerede effekter af produktion af muslinger i kulturbanker eller opdrætsanlæg.

Baggrund

Kontoret for Bæredygtigt fiskeri i Fødevareministeriets departement har anmodet DTU Aqua om at udarbejde en faglig vurdering af, hvilke ansøgninger til nye muslingeopdrætsanlæg eller anlæg med ny type produktion, som vurderes ikke at have en væsentlig påvirkning på udpegningsgrundlaget i nærliggende Natura 2000-områder eller på de nærliggende stenrev og ålegræsbede.

Endvidere anmodes DTU Aqua om at bekræfte tidligere rådgivning om, at anlæg som udgangspunkt ikke har en væsentlig påvirkning på havbunden mere end 100 m fra anlægget. Herunder om den tidligere rådgivning også kan anvendes vedrørende smartfarms, og om varierende strømforhold kan give væsentlige afvigelser i forhold til dette.

Til gennemførelse af opgaven har DTU Aqua udarbejdet en projektbeskrivelse, der tager udgangspunkt i modellering af sedimentspredning fra opdrætsanlæggene, idet sedimentation og spredning af fækalier fra opdrætsanlæg er antaget at være den mest betydende negative effekt af muslingeopdræt.

Til vurdering af spredning af fækaliemateriale er DHI's model for Limfjorden anvendt. Modellen har været anvendt til beregning af indsatsbehov jf. vandområdeplanerne og anses for at være det bedst tilgængelige grundlag for vurdering af om og i hvilken grad muslingeopdrætsanlæg kan påvirke miljøkrav i vandområderne.

På baggrund af modelresultater og udvalgte kriterier kan de ansøgte anlæg blive kategoriseret som "potentielt" eller "ikke potentielt" at kunne påvirke det nærmest liggende Natura 2000-område. For ansøgninger, der ligger udenfor den zone, hvor der potentielt kan være en påvirkning, vil der dernæst blive foretaget en vurdering af afstand til den i vandplanerne målsatte dybdegrænse for ålegræs. En ekspertvurdering vil derefter afgøre om afstanden til dybdegrænsen potentielt kan påvirke

udbredelse af ålegræs ud til målfastsættelse, dvs. grænsen mellem god og moderat miljøtilstand.

For ansøgninger, der vedrører kulturbanker, vurderes det som udgangspunkt, at resuspension og spredning af fækalier fra disse områder er begrænset, bortset fra områder med særlige strømforhold og/eller bølgeeksponering. Af de indsendte ansøgninger udvælges 2 ansøgninger, hvor placeringerne vurderes som worst case scenarier.

For både kulturbanker og opdrætsanlæg i vandsøjlen vil det på baggrund af modelberegningerne blive vurderet, om der er potentiel mulighed for kumulering af effekter af både nye og eksisterende anlæg, som vil ændre effekten af den samlede påvirkning.

Iltforhold ved opdrætsanlæg og kulturbanker vil alene blive evalueret på baggrund af beregninger af det helt lokale og direkte iltforbrug ifm. nedbrydning af muslingefækalier. Det vil ikke være muligt indenfor dette projekts rammer at vurdere det kumulerede iltforbrug i hele vandområder med forskellige iltodynamikker.

Metode

DTU Aqua modtog i forbindelse med projektet en opgørelse fra Fødevareministeriet med information om ansøgninger i Limfjorden til nye produktionsanlæg, nye kulturbanker samt ansøgninger til omlægning af eksisterende anlæg fra lineanlæg til Smartfarm. I alt 43 ansøgninger fordelt på:

- 15 ansøgninger om nye produktionsanlæg (5 lineanlæg, og 10 Smartfarm-anlæg)
- 26 ansøgninger om nye kulturbanker
- 2 ansøgninger om ændring af eksisterende anlæg til SmartFarm

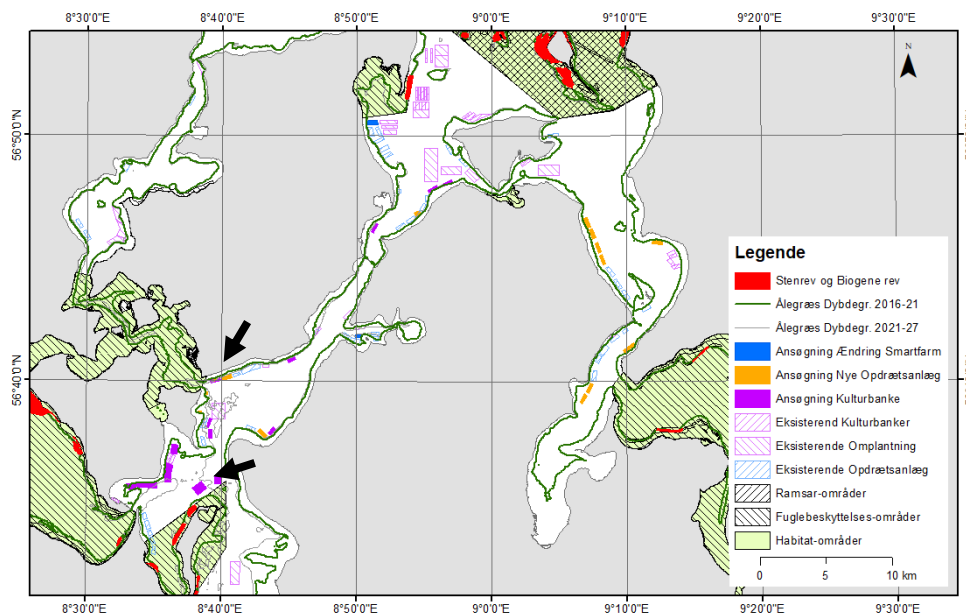
Angivne hjørnekoordinater i ansøgningerne (som længde-bredde grader) blev anvendt til at indtegne ansøgningsområderne i GIS (i UTM 32 WGS 84) som grundlag for videre analyser. Placering af de enkelte ansøgninger fremgår af Figur 1.

Ansøgningernes løbenumre og information om anlægstyper, dybdeforhold m.m. fremgår af Bilag 2. Placeringen af de enkelte ansøgningsområder med angivelse af løbenummer er vist i Bilag 1. Enkelte af ansøgningsområderne overlapper:

- Kulturbanke K455 og opdrætsanlæg 493
- Opdrætsanlæg 445 og opdrætsanlæg 458

Afstanden til beskyttet natur for hvert ansøgningsområde er beregnet som den korteste afstand fra ansøgningsområdet til det nærmeste område med beskyttet natur. Beskyttet natur omfatter:

- Natura-2000 områder, herunder:
 - EU Habitatområder
 - EU Fuglebeskyttelsesområder
 - Ramsar-områder
- Rev
- Områder indenfor ålegræssets målsatte dybdegrænsen jf. vandplanerne



Figur 1. Placering af 43 ansøgningsområder i det centrale Limfjorden fordelt på ansøgninger til nye opdrætsanlæg (lineanlæg og SmartFarm), ansøgninger til nye kulturbanke, og ansøgninger om ændring af eksisterende lineanlæg til SmartFarm. Figuren viser desuden placeringen af eksisterende opdrætsanlæg og kulturbanke, Natura-2000 områder herunder EU habitatområder, EU Fuglebeskyttelsesområder og Ramsar-områder, samt ålegræssets dybdegrænse (God/Moderat) for henholdsvis vandplansperiode 2016-2021 og 2022-2027. Pile indikerer 2 kulturbanke ansøgninger som er udvalgt til at indgå i spredningsberegningerne (se tekst for forklaring).

GIS-lag for Natura-2000 områder og rev er hentet fra MiljøGis (<https://miljoegis.mim.dk/spatialmap>) og vist i Figur 1. Afstanden til ålegræssets dybdegrænse er beregnet som den korteste afstand fra hvert ansøgt produktionsområde til en dybdekurve, der svarer til en dybde på 4,1 m, som er den dybde, der repræsente-

rer grænsen mellem "god" og "moderat" økologisk tilstand i vandplanen for vandplansperioden 2016-2021¹. Som supplement er den korteste afstand ligeledes beregnet mellem hver ansøgning til ålegræssets reviderede dybdegrænse, som angivet i vandplanen for vandplansperioden 2022-2027, og som pt er i høring (Timmerman et al. 2020²).

Hvor den korteste afstand er angivet til "0 m", betyder det, at ansøgningsområdet et sted overskrider dybdegrænsen således, at dele af ansøgningsområdet ligger indenfor "god/moderat" grænsen for ålegræs. Negative værdier indikerer, at hele ansøgningsområdet ligger inden ålegræssets dybdegrænse "god/moderat", og den numerisk værdi angiver den korteste afstand fra ansøgningsområdet ud til dybdegrænsen.

Der er anvendt interpolerede dybdedata for Limfjorden, som DTU Aqua anvender i forbindelse med forsknings- og rådgivningsarbejde. De anvendte dybdedata er i rasterformat med en opløsning på 100x100 m.

Som supplement har vi desuden udtrykt information om modelberegnete iltsvindsforekomster for hvert ansøgningsområde. Iltsvindsforekomster er her defineret som antal dage per år, hvor den modelberegnete iltkoncentration er lavere en 4 mg O₂/l. Værdierne er udtrykt fra DHI's biogeokemiske vandplansmodel, og repræsenterer et gennemsnit for syv år 2010-2016 (Erichsen og Birkeland 2020³).

Spredning af muslingefækalier

Spredningsberegninger af muslingefækalier er foretaget ved hjælp af en spredningsmodel, der kan beskrive, hvordan muslingefækalier i form af partikulært organisk materiale forventes at sedimentere indenfor og i områder omkring de enkelte ansøgte produktionsområder. Spredning og sedimentation af muslingefækalier beregnes dels ud fra viden om fækaliernes synkehastighed og dels ud fra de strømforhold, herunder bølgepåvirkninger, der eksisterer ved og omkring hvert enkelt anlæg. Ved særlig kraftig strøm, og i forbindelse med betydende bølgeeksponering, vil der kunne ske en resuspension af akkumuleret sedimenteret organisk materiale på havbunden. Resuspenderet materiale vil så kunne føres videre med strømmen

¹ Bekendtgørelse om overvågning af overfladevandets, grundvandets og beskyttede områders tilstand og om naturovervågning af internationale naturbeskyttelsesområder" - BEK nr 1001 af 29/06/2016

² Timmermann K, Christensen JPA and Erichsen A 2020. Referenceværdier og grænseværdier for ålegræsdybdegrænser til brug for vandområdeplanerne. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 28 s. - Videnskabelig rapport nr. 390. <http://dce2.au.dk/pub/SR390.pdf>

³ Erichsen A and Birkeland M 2020. Development of Mechanistic Models. Mechanistic Model for Limfjorden. Technical documentation on biogeochemical model. Technical Note. September 2020. Prepared by DHI GROUP for Danish EPA

og sedimentere i nærliggende områder. Ud over de fysiske processer, der styrer spredning, sedimentation og resuspension, så er der også biologiske processer, der har betydning for sedimentation og akkumulering på havbunden over tid. Disse udgøres af bakteriel nedbrydning og bioturbation, som medfører delvis immobilisering. Spredningsmodeller kan anvendes til at opgøre den direkte effekt af muslingernes fækalieproduktion i form af en akkumuleret mængde organisk stof på havbunden, og til beregning af øget iltforbrug.

De indirekte effekter af muslingeopdræt kan ikke opgøres vha. de spredningsmodeller, der er anvendt her. Disse omfatter bl.a. effekter af muslingernes filtration og immobilisering af næringsstoffer. De indirekte effekter forventes at virke i et større område end de direkte påvirkninger, som forventes at være lokaliseret umiddelbart under og tæt på produktionsanlæggene.

Modelgrundlag:

Spredningsberegninger er foretaget vha. DHI's model system ABM Lab, som er et agent-baseret modelværktøj til simulering af spredning af partikler som f.eks. muslingefækalier. Det er muligt at inkludere synkehastigheder, resuspension og nedbrydningsrater for det organiske materiale. Til beskrivelse af de hydrauliske forhold i Limfjorden anvendes modelberegninger af strøm og bølger fra Limfjordsmodellen udviklet af DHI til brug i forbindelse med vandplanerne (Erichsen og Birkeland 2019⁴). Data fra simulerede strømforhold og bølger anvendes direkte i ABM Lab til at beskrive spredningen, sedimentation og resuspension af muslingefækalier.

Den hydrauliske model er baseret på et beregningsnet med en varierende rumlig opløsning fra ca. 500 m i de større åbne områder ned til mindre end 100 m i de smalleste områder i Limfjorden (Figur 2). Modellens beregningsnet er desuden inddelt i 20 vertikale lag, som kan beskrive hvordan strømforhold, temperatur og saltindhold varierer med vanddybde. Modellen har åbne rande mod henholdsvis Nordsøen og Kattegat og vandudvekslingen er beskrevet.

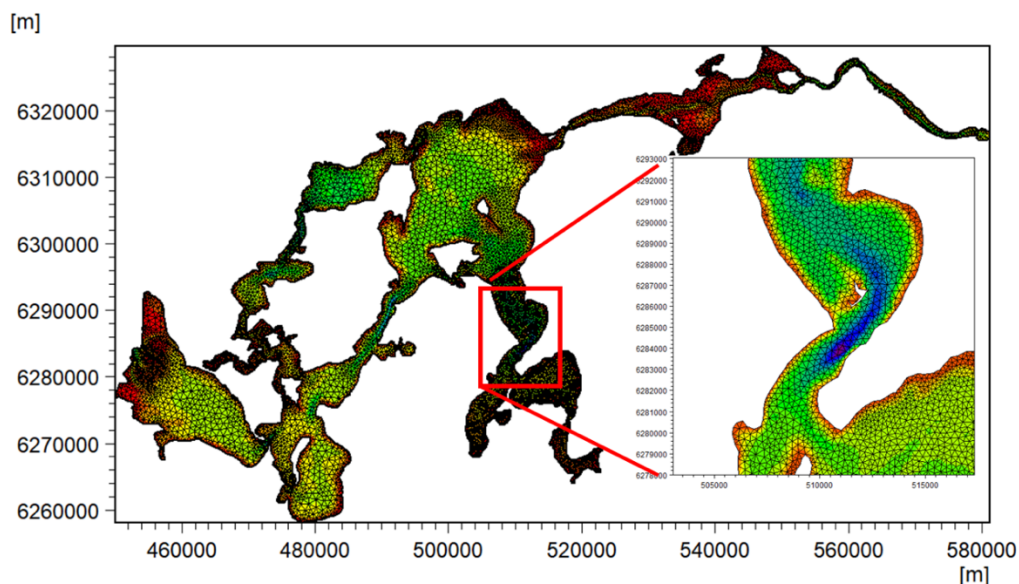
Specifikationer og antagelser for spredningsmodellen er opsummeret i *Tabel 1*. Der er valgt to simuleringsperioder, der hver især repræsenterer tidspunkter, hvor muslingebiomassen er på sit højeste, umiddelbart inden høst enten i efteråret eller senere på foråret i det tilfælde, hvor høsten fortages her. De to perioder er fra 1. september til 31. oktober og fra 1. april til 31. maj og er udvalgt fordi, der ikke indenfor projektets ressourcer kan foretages beregninger for hele produktionsperioder. Beregningerne er foretaget for 2014, 2015 og 2016 og der er anvendt et tidsskridt på 10 minutter. Der er desuden foretaget beregninger for to scenarier, henholdsvis

⁴ Erichsen A and Birkeland M 2019. Development of Mechanistic Models. Mechanistic Model for Limfjorden. Hydrodynamic model documentation. Technical Note. December 2019. Prepared by DHI GROUP for Danish EPA

med og uden resuspension. I hvert ansøgningsområde frigives partikler, der repræsenterer muslingefækalier, hver time i henholdsvis overfladen (for opdrætsanlæg) og ved bunden (for kulturbanker).

Modelspecifikationer og -antagelser:

Der er antaget en gennemsnitlig synkehastighed på 3,9 mm/sek og en gennemsnitlig nedbrydningsrate på 0,055 pr dag (Carlson et al. 2010⁵). Der er ikke taget hensyn til, at muslingefækalier under forskellige forudsætninger kan slås i stykker til mindre partikler, som vil have en langsommere synkehastighed, og dermed vil kunne spredes længere væk. Nedbrydning af muslingefækalier varierer over tid, hvor nedbrydningsraten i starten er lav, og hvor de højeste nedbrydningsrater opnås indenfor de første ca. 88 timer. I modelberegninger er der valgt en konstant gennemsnitsværdi. Der er ikke taget højde for temperaturafhængighed.



Figur 2. Beregningsnet anvendt i Limfjordsmodellen udviklet af DHI i forbindelse med de nationale vandplaner. Baggrundsfarver angiver varierende dybdeforhold. Den rumlige opløsning varierer mellem ca. 500 m i det åbne områder af Limfjorden og ned til mindre end 100 m i de mere smalle dele af Limfjordens forgreninger. Modellen har derudover 20 vertikale lag.

Resuspension af sedimenterede muslingefækalier sker, når bundforskydnings-spændingen (shear stress) overstiger en kritisk størrelse på 0,15 N/m² (McLean et

⁵ Carlsson MS, Glud RN and Petersen JK 2010. Degradation of mussel (*Mytilus edulis*) fecal pellets released from hanging long-lines upon sinking and after settling at the sediment. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science 67: 1376–1387. doi:10.1139/F10-067

al. 2018⁶). Resuspension er antaget at ske øjeblikkeligt, hvilket betyder, at når den kritiske bundforskydningsspænding er overskredet, vil der ske en resuspension, og al akkumuleret sedimenteret organisk materiale vil blive resuspenderet indenfor 10 minutter.

Tabel 1. Opsummering af specifikationer og antagelser anvendt i opsætningen af spredningsmodellen til beskrivelse af spredningen af muslingefækalier fra ansøgningsområder for etablering (eller ændring) af opdrætsanlæg og kulturbanker.

Parameter	Specifikation /Antagelse
Simuleringsperioder:	1. sept.-31. okt. & 1. apr.-31 maj
År:	2014, 2015, 2016
Scenarier:	MED og UDEN resuspension
Tidsskridt:	10 minutter
Kildespecifikation:	<ul style="list-style-type: none"> - 20 partikler per time frigivet indenfor hvert ansøgningsområde (i alt 29280 per område per simulering) - Opdrætsanlæg – partikler frigivet i overfladen - Kulturbanker – partikler frigivet ved bunden
Synkehastighed:	3,9 mm/sek*
Nedbrydningsrate:	0,055/d*
Resuspension – Kritisk "shear-stress":	0,15 N/m ² **
Resuspensionsrate:	Øjeblikkelig (indenfor ét tidsskridt på 10 minutter)
Resuspensionhøjde:	Tilfældigt fordelt mellem bund og overflade

* Carlson et al. 2010 ** McLean et al 2018

Bestemmelse af massen af partikler for hvert anlæg:

Det er ikke muligt i modellen at simulere det meget store antal muslingefækalier, som produceres i et opdrætsanlæg eller på en kulturbanke. I stedet bestemmes en masse (i kg kulstof, C) for hver partikel, der frigives i modellen således, at massen af det samlede antal partikler repræsenterer den mængde af muslingefækalier, der produceres for hvert anlæg. Til det formål er det valgt at kategorisere de 19 ansøgningsområder i modellen i 4 kategorier, som fremgår af Tabel 2. For hver af de 4 kategorier er der anvendt erfaringsbaserede værdier, der repræsenterer den maksimale muslingebiomasse (i tons vådvægt per ha). Værdierne er så omregnet til en daglig C-produktion (i form af fækalier) ved antagelse om en C-produktionsrate per kg musling (vådvægt) på 0,4 g C/kg vådvægt/d (Ricciardi & Bourget 1998⁷; Carlson

⁶ McLean K, Stone M, Droppo IG et al. 2018. Erodibility and transport behavior of dreissenid mussel deposits in an annular flume. *Journal of Soils Sediments* 18, 3448–3462.

⁷ Ricciardi A & Bourget E 1998. Weight-to-weight conversion factors for marine benthic macroinvertebrates. *Marine Ecology Progress Series*. 163. 245-251. 10.3354/meps171245.

et al. 2009⁸). Baseret på disse værdier, arealet af de enkelte ansøgningsområder, samt antallet af partikler, der frigives indenfor hvert område (i alt 480 partikler per dag per ansøgningsområde), er massen af hver partikel for hvert område beregnet, som det fremgår af Tabel 3. Gennemgang af den videnskabelige litteratur på området viser stor variation i den mængde muslingefækalier, der deponeres umiddelbart under produktionsanlæg, og den anvendte produktionsrate af fækalier på 0,4 g C/kg vådvægt/d skal ses som det bedste bud på det foreliggende grundlag.

Tabel 2. Anvendte C-produktionsrater (kg C/ha/d) for 4 typer muslingeproduktionsanlæg baseret på anslåede typiske maksimale muslingebiomasse (i ton vådvægt/ha) og en antaget specifik C-produktionsrate per kg muslinger som vådvægt (VV) på 0,4 g C/kg VV/d.

Kode	Anlægstype	Muslingebiomasse	C-produktion
		t/ha	Kg-C/ha/d
SM	SmartFarm	75	30
LL-Skive	Lineanlæg – Skive Fjord	30	12
LL-øvrige	Lineanlæg – øvrige	20	8
KU	Kulturbanker	30	12

⁸ Carlsson M S, Holmer M and Petersen JK 2009. Seasonal and Spatial Variations of Benthic Impacts of Mussel Longline Farming in a Eutrophic Danish Fjord, Limfjorden. Journal of Shellfish Research 28(4), 791-801. <https://doi.org/10.2983/035.028.0408>

Tabel 3. Anvendte begyndelses-masse (i kg C) for partikler i modellen, beregnet ud fra C-produktionsrater (kg C/ha/d) pr anlægstype (Tabel 2), områdets areal (i ha) og antallet af partikler i model der repræsenterer produktionen muslingefækalier (opgjort som kg C). * For ansøgning 385 er der i materialet fra Fødevareministeriet ikke angivet type af anlæg. Vi har her antaget at der er tale om en SmartFarm.

ID	Anlægstype	Areal (ha)	Anlægs-kode	Partikelmasse (Kg-C)
372	SmartFarm	18,75	SM	1,17
373	SmartFarm	18,75	SM	1,17
374	SmartFarm	18,75	SM	1,17
375	SmartFarm	18,75	SM	1,17
385	Opdrætsanlæg*	9,5	SM*	0,6
426	SmartFarm	18,75	SM	1,17
427	SmartFarm	18,75	SM	1,17
443	SmartFarm	18,75	SM	1,17
444	SmartFarm	18,75	SM	1,17
445	SmartFarm	18,75	SM	1,17
446	SmartFarm	18,75	SM	1,17
458	Lineanlæg	18,75	LL-Skive	0,46
493	Lineanlæg	3,75	LL-øvrige	0,06
494	Lineanlæg	3,75	LL-øvrige	0,06
495	Lineanlæg	3,75	LL-øvrige	0,06
93-1	Ændring til SmartFarm	18,75	SM	1,17
193	Ændring til SmartFarm	23,06	SM	1,44
K455	Kulturbanke	15,1	KU	0,38
K472	Kulturbanke	13,8	KU	0,35

Beregning af den kumulerede sedimentation:

For at præsentere resultater af den simulerede sedimentation af partikler omregnet til en arealspecifik mængde af muslingefækalier på havbunden er der anvendt et net med en opløsning på 100x100 m. De kumulerede sedimenterede muslingefækalier omregnes til g C/m² ved at beregne summen af massen af alle partikler, der er sedimenteret og akkumuleret indenfor hver net celle, til hvert tids skridt. Der er beregnet middel og maksimum værdier for en periode, der inkluderer de sidste 31 dage af hver simuleringsperiode, dvs. henholdsvis oktober og maj måneder. Dvs. at der ses bort fra de første 30 dage, hvor der sker en stigning i den kumulerede mængde organisk materiale på havbunden. Herefter ligger niveauet stabilt bestemt af balancen mellem sedimentationsraten af nyligt produceret organisk stof og nedbrygningsraten under forudsætning af, at der ikke sker en resuspension.

Beregning af iltforbrug og iltreduktion i bundvand: Baseret på beregnede værdier for den kumulerede mængde organisk materiale fra muslingefækalier på havbunden kan man beregne det forventede iltforbrug, og vurdere i hvilken grad det vil kunne give anledning til reduktion i iltkoncentrationen i det bundnære vand. Iltforbruget er beregnet under antagelse af en nedbrydningsrate af det sedimenterede organiske materiale på 5,5% per dag og det støkiometriske vægtforhold mellem iltforbrug og nedbrydning af organiskbundet kulstof. Iltforbruget beregnes som $g\ O_2/m^2/d$.

For at estimere den resulterende iltreduktion i bundvand som resultat af det beregnede iltforbrug er reduktionen i det overliggende vandvolumen svarende til 10 cm over bundniveau og med en antagelse om en gennemsnitlig strømhastighed på 3 cm/sek beregnet. Tilstrømmende vand antages at være iltmættet, selvom dette ikke i alle tilfælde vil være korrekt. Iltforbrug og iltreduktion i bundvand er beregnet for både middel og max for alle år og sæsoner.

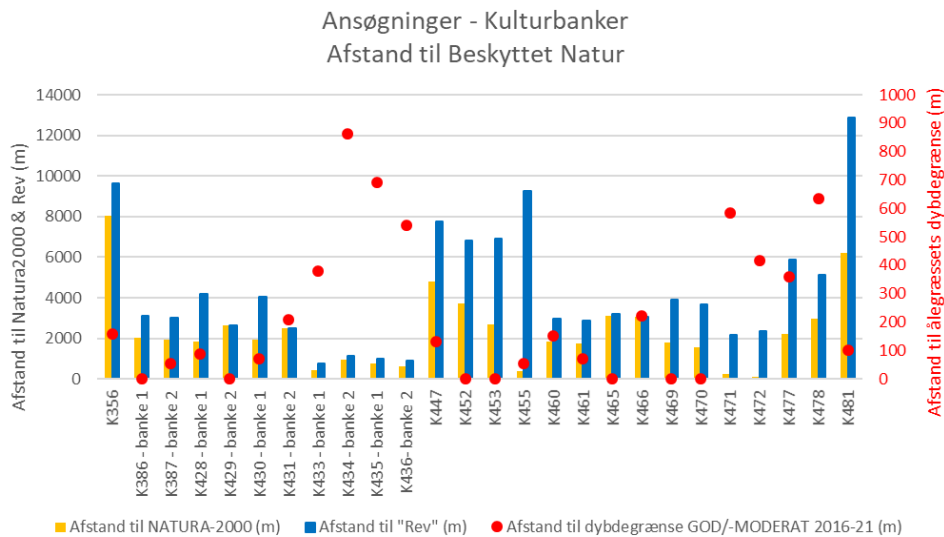
Resultater

Afstand til beskyttet natur - herunder Natura-2000-områder, rev og ålegræssets dybdegrænse for "god"/"moderat" status jvf. vandplanerne for vandplanperiode 2016-21 - fremgår af *Figur 3* og *Figur 4* for henholdsvis ansøgninger om nye kulturbanker og ansøgninger om nye og ændrede opdrætsanlæg. Primære data fremgår af Bilag 2, og inkluderer yderligere information om typen af anlæg, områdernes areal, dybdeforhold, eksisterende modellerede iltforhold ved bunden, samt afstand til ålegræssets dybdegrænse jf. vandplanerne for vandplanperiode 2022-2027.

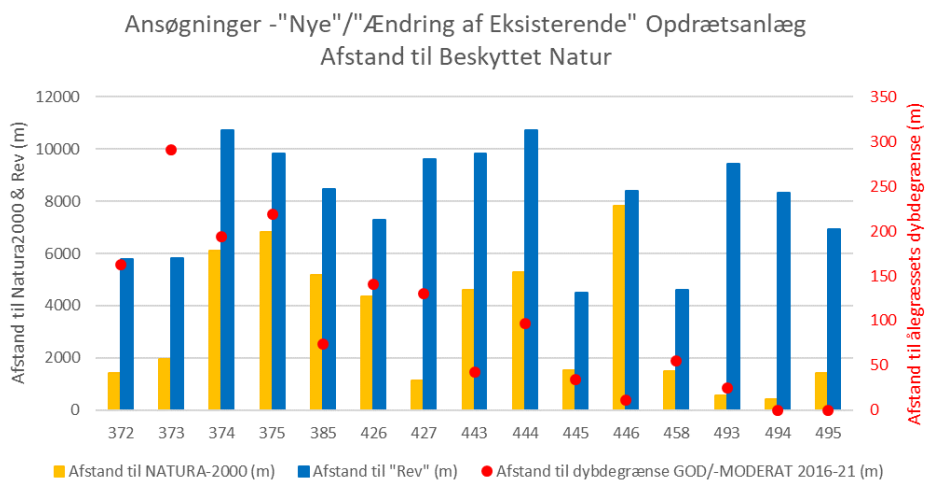
Ud af de 26 ansøgninger om nye kulturbanker ligger 6 indenfor en afstand af 1 km fra eksisterende Natura 2000-områder (K472 ligger tættest på med en minimumsafstand på ca. 86 m), 5 ansøgninger ligger indenfor en afstand af 1 km af rev (K433 ligger tættest på med en minimumsafstand på ca. 772 m), og 7 ansøgninger overlapper med ålegræssets målsatte dybdegrænse for planperiode 2016-2021 (yderligere 5 ligger indenfor en afstand af 100 m). Ser man på ansøgningernes placering i forhold til ålegræssets målsatte dybdegrænse for den kommende vandplansperiode 2022-2027 (pt i høring, se tabel Bilag 2), ligger hele arealet af 11 ansøgte kulturbanker indenfor dybdegrænsen, og dele af arealet for yderligere 9 områder ligger delvist indenfor dybdegrænsen.

Ud af de 17 ansøgninger om nye eller ændringer af eksisterende opdrætsanlæg ligger 3 områder indenfor en afstand af 1 km til nærmeste Natura-2000-område (af de nye opdrætsanlæg ligger nr. 494 tættest på med en minimumsafstand på ca. 418 m). Alle ansøgninger til nye anlæg ligger mere end 4 km væk fra nærmeste rev, og 3 ansøgningsområder overlapper med ålegræssets målsatte dybdegrænse

for planperiode 2016-2021 (yderligere 8 ligger indenfor en afstand af 100 m). Placeringer i forhold ålegræssets målsatte dybdegrænse for den kommende vandplanperiode 2022-2027 (pt i høring, se tabel Bilag 2) viser, at hele arealet af 2 ansøgte opdrætsanlæg ligger indenfor dybdegrænsen, og dele af arealet for yderligere 4 områder ligger delvist indenfor dybdegrænsen (yderligere 7 områder ligger indenfor en afstand af 100 m).



Figur 3. Korteste afstand fra ansøgninger om kulturbanker til beskyttet natur. Venstre akse er afstanden til Natura 2000 og rev. Højre akse er afstanden til ålegræssets "god/moderat" dybdegrænse.

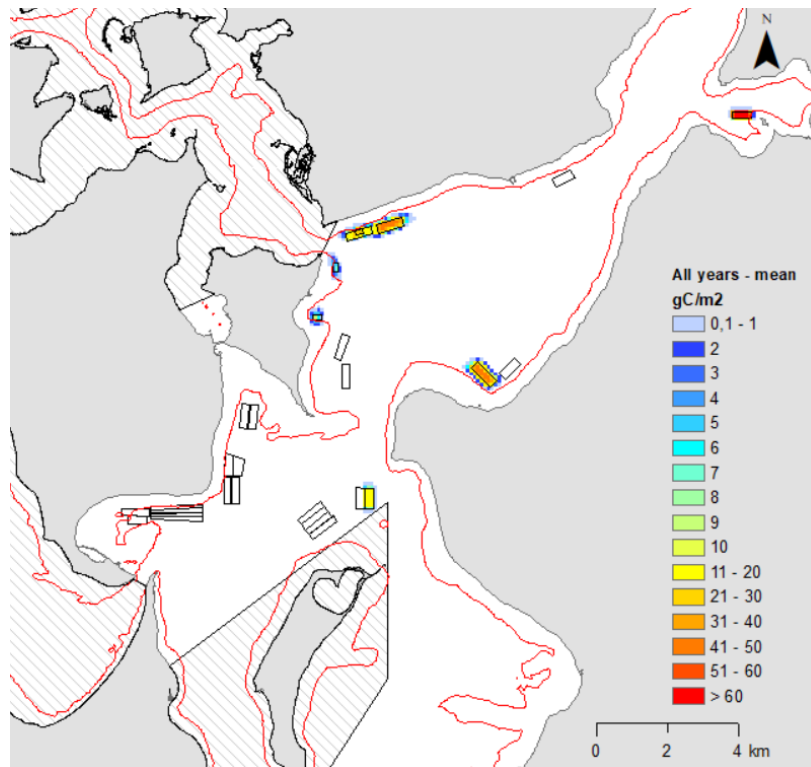


Figur 4. Korteste afstand fra ansøgninger om nye samt ændrede opdrætsanlæg (lineanlæg/SmartFarm) til beskyttet natur. Venstre akse er afstanden til Natura 2000 og rev. Højre akse er afstanden til ålegræssets "god/moderat" dybdegrænse.

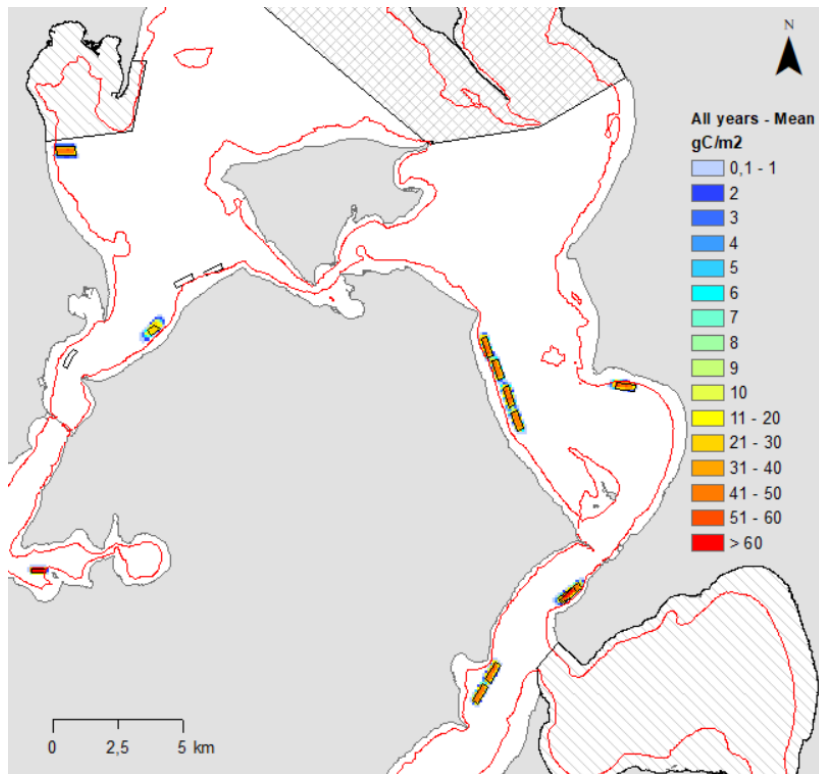
Spredning af muslingefækalier

Resultater fra modelberegninger uden resuspension er vist i *Figur 5* og *Figur 6* som gennemsnit for alle tre år. Resultaterne viser, at sedimentationen i alle ansøgningsområder sker direkte under eller i umiddelbar nærhed af hvert anlæg. Den umiddelbare nærhed er her i ca. samme størrelsesorden som den anvendte rumlige opløsning på 100 m af det net, der er anvendt til resultatpræsentation. Resultatet bekræfter tidligere rådgivning om afstand af sedimentation fra anlæg, selvom netstørrelsen begrænser en præcis afstandsangivelse.

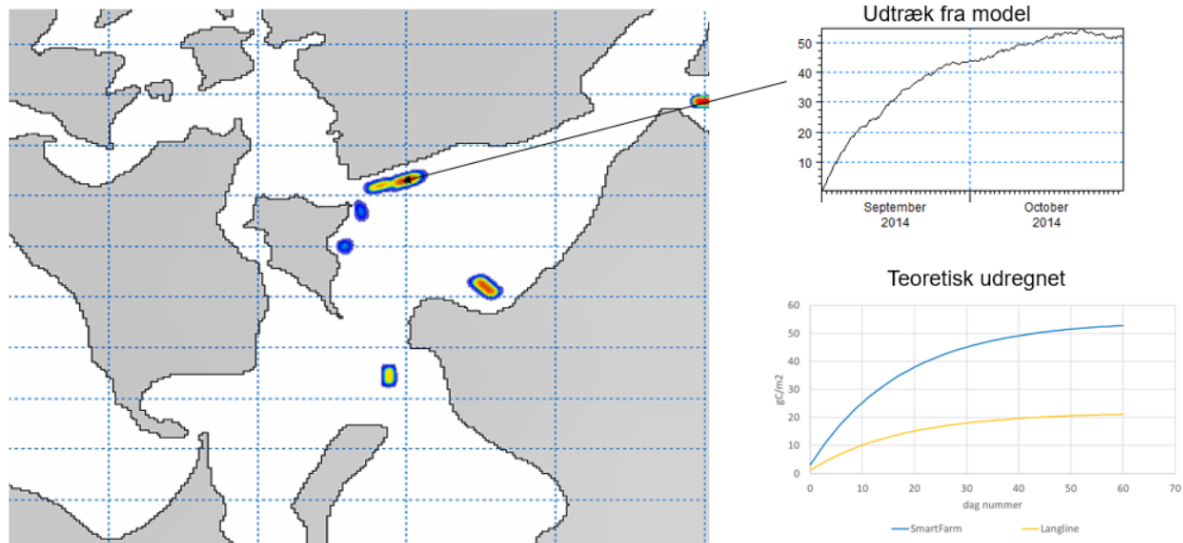
Figur 7 viser et eksempel på en akkumuleringskurve for sedimenterede muslingefækalier (som $g\ C/m^2$) under et SmartFarm anlæg beregnet ved hjælp af modellen, og tilsvarende kurver beregnet i regneark uden hensyntagen til drift af fækalier i vandfasen. Begge kurver viser sammenlignelige forløb, hvor der i starten sker en øgning i den akkumulerede mængde fækalier på havbunden, som så når et stabilt niveau efter ca. en måned på ca. $50\ g\ C/m^2$.



Figur 5. Modelberegnet akkumuleret organisk kulstof fra muslingefækalier i $g\ C/m^2$ som gennemsnit af gennemsnit for maj og oktober for alle år 2014, 2015 og 2016 i Kås Bredning og Salling Sund. Uden resuspension.



Figur 6. Modelberegnet akkumuleret organisk kulstof fra muslingefækalier i g C/m² som gennemsnit af gennemsnit for maj og oktober for alle år 2014, 2015 og 2016 i Skive Fjord og Løgstør Bredning. Uden resuspension.



Figur 7. Eksempel på kurve (øverst til højre) for akkumulering af sedimenterede muslingefækalier (angivet som $g\ C/m^2$) under og omkring en ansøgning om SmartFarm i en situation, hvor der ikke er inkluderet resuspension. Til sammenligning er vist kurver (nederst til højre) for akkumulering af sedimenterede muslingefækalier beregnet teoretisk ud fra samme forudsætninger som beskrevet i modellen bortset fra, at strømforholdene ikke er medtaget. Kurveforløb angiver den akkumulerede sedimentation for henholdsvis SmartFarm og Langelinie.

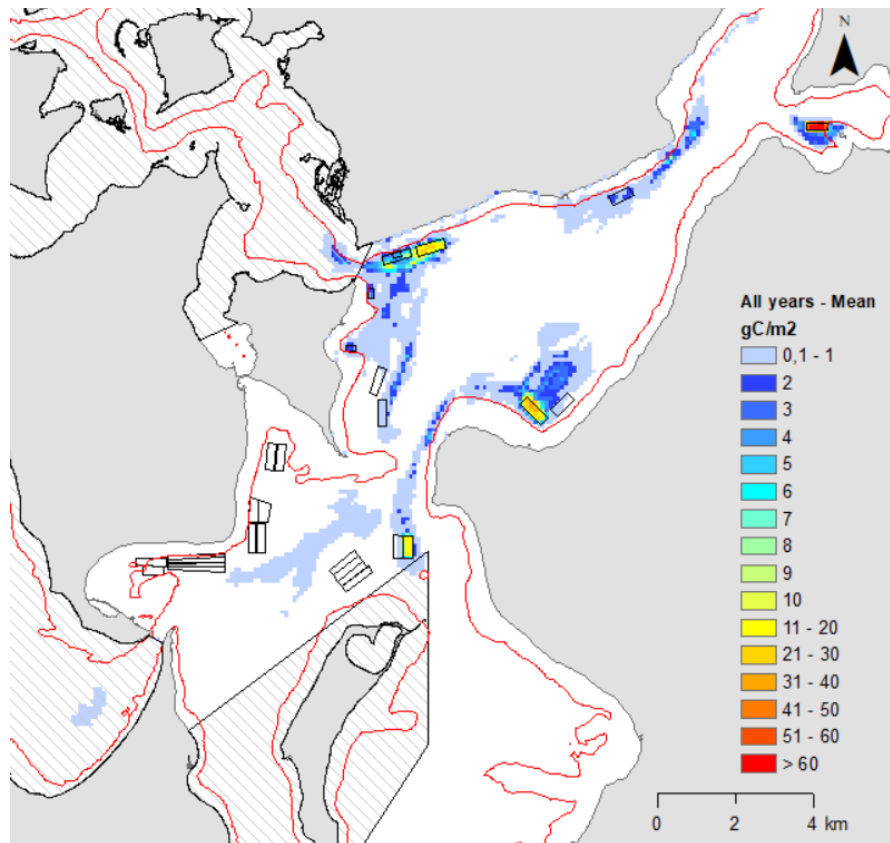
Resultater fra modelberegninger med resuspension er vist i Figur 8, Figur 9, Figur 10 og Figur 11 som henholdsvis gennemsnit (10 og 12), for alle tre år og for månederne maj og oktober, og som gennemsnit af det beregnede maksimum (11 og 13) for hver af de seks modelkørsler. Resultater for hvert år og hver måned er vist i Bilag 3. Resultaterne viser, at der sker en spredning af muslingefækalierne som følge af resuspension i de ansøgninger, der ligger i Kås Bredning, Sallingsund og Løgstør Bredning. I ansøgningerne i omkring og Skive Fjord viser beregningerne ingen eller kun marginal spredning som følge af resuspension.

Den gennemsnitlige akkumulerede sedimentation af muslingefækalier kan i beregningerne for Kås Bredning, Sallingsund og Løgstør Bredning nå niveauer på op til ca. $5\ g\ C/m^2$ i områder, der ikke ligger i umiddelbar nærhed af ansøgningerne. De tilsvarende gennemsnit af maksimumværdier kan nå niveauer på op til mellem $10-20\ g\ C/m^2$. De maksimale værdier kan lokalt for et enkelt år og en enkelt måned (Bilag 3) nå op på mellem $10-40\ g\ C/m^2$. De højeste gennemsnitsværdier såvel som maksimumværdier udenfor opdrætsområderne findes typisk på dybere vand, hvor strømforholdene og bølgeeffekten aftager og sedimentationsforholdene af resuspenderet materiale er gunstige.

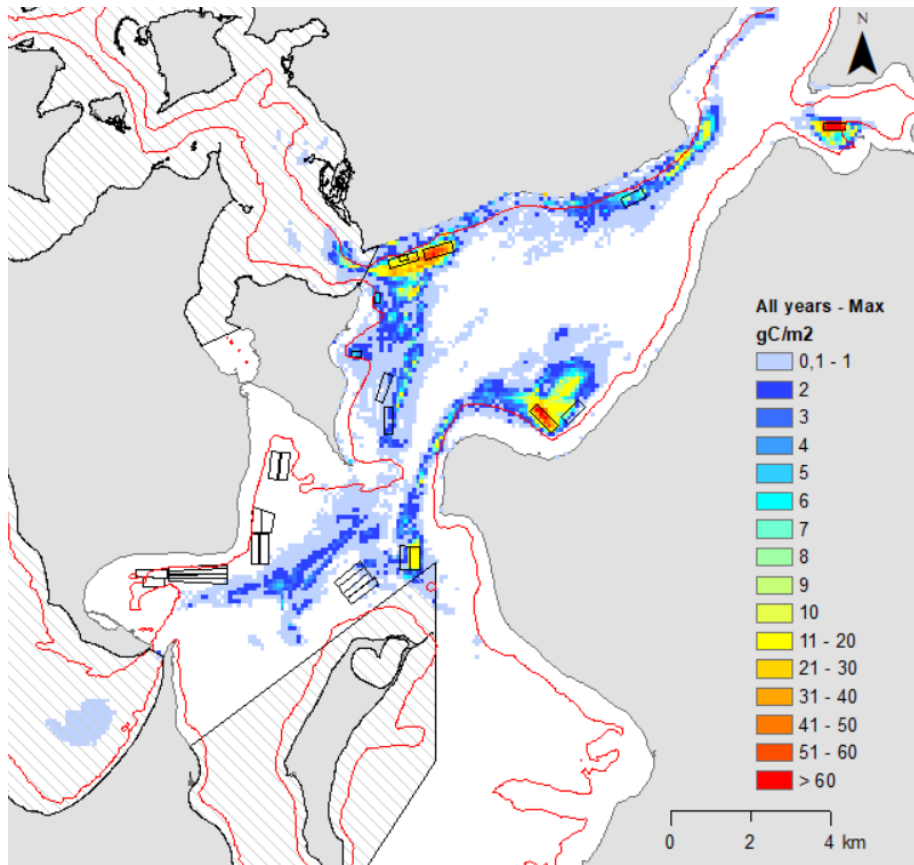
For ansøgninger i Kås Bredning, Sallingsund og Løgstør Bredning viser beregningerne, at der formentlig kan ske en vis akkumulering af organisk stof på op til mellem $10-20\ g\ C/m^2$ i gennemsnit i en afstand fra $100-500\ m$ til de ansøgte produktionsområder, meget afhængig af lokaliteten. Generelt vil det akkumulerede materiale ske i et område fra afgrænsningen af ansøgningen til dybere vand, hvor de generelle sedimentationsforhold favoriserer sedimentation eller langs dybdekurven i de dominerende strømretninger langs kysten.

En øget akkumuleret sedimentation af organisk materiale fra muslingefækalier er beregnet i et mindre begrænset område indenfor habitatområde nr. 28 vest for ansøgningsområderne kulturbanke K455 og opdrætsanlæg nr. 493 og 427. Det beregnede gennemsnit for alle år og måneder viser et område på ca. 12 ha med en akkumuleret gennemsnitlig sedimentation på mellem 2-5 g C/m². Området ligger umiddelbart udenfor ålegræssets målsatte dybdegrænse. De højeste beregnede gennemsnitlige maksimumværdier på op til 10 og 20 g C/m² findes på dybere vand udenfor ålegræssets målsatte dybdegrænse. Disse maksimumværdier af akkumuleret sedimenteret materiale er typisk kortvarige og kan optræde i forlængelse af resuspensionshændelser, og vil aftage i løbet af nogle dage i takt med at materialet nedbrydes og immobiliseres.

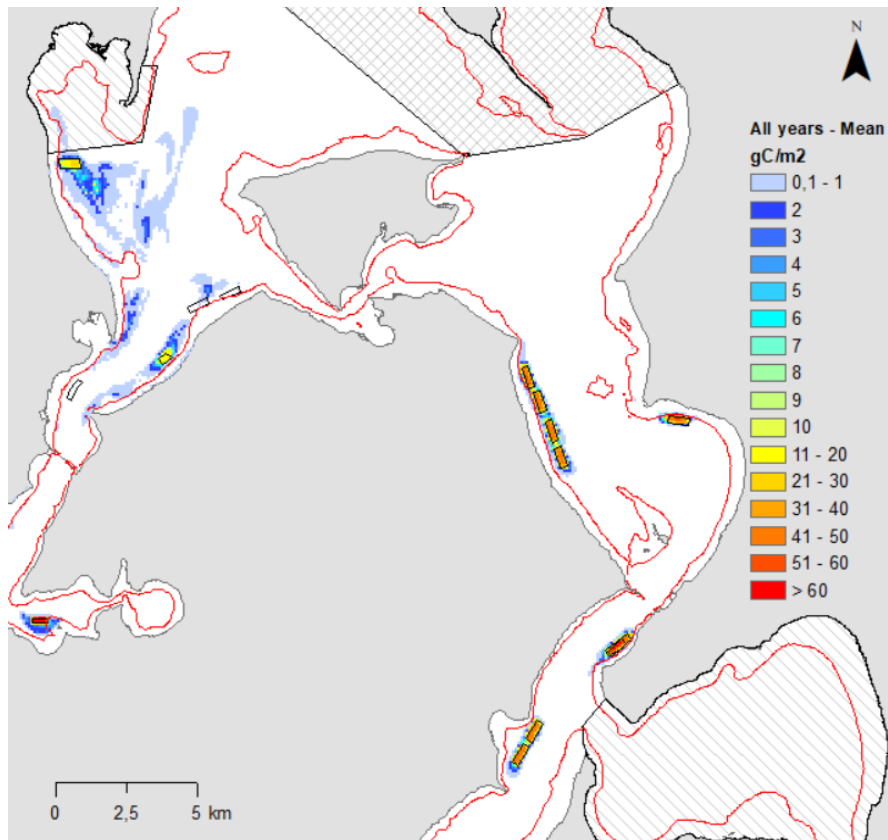
Generelt sker resuspensionen under specifikke enkelthændelser med kraftig strøm og/eller bølgepåvirkninger, som kan variere betydeligt fra gang til gang bestemt af retning og varighed af vind- og strømforhold. Særligt vindretningen vil have betydning for, hvilke dele af fjordsystemet som vil være udsat for bølgepåvirkninger, der kan give anledning til resuspension. Dette fremgår af Bilag 3, hvor modelberegning med resuspension viser variationer i spredning og sedimentation mellem år og mellem måneder.



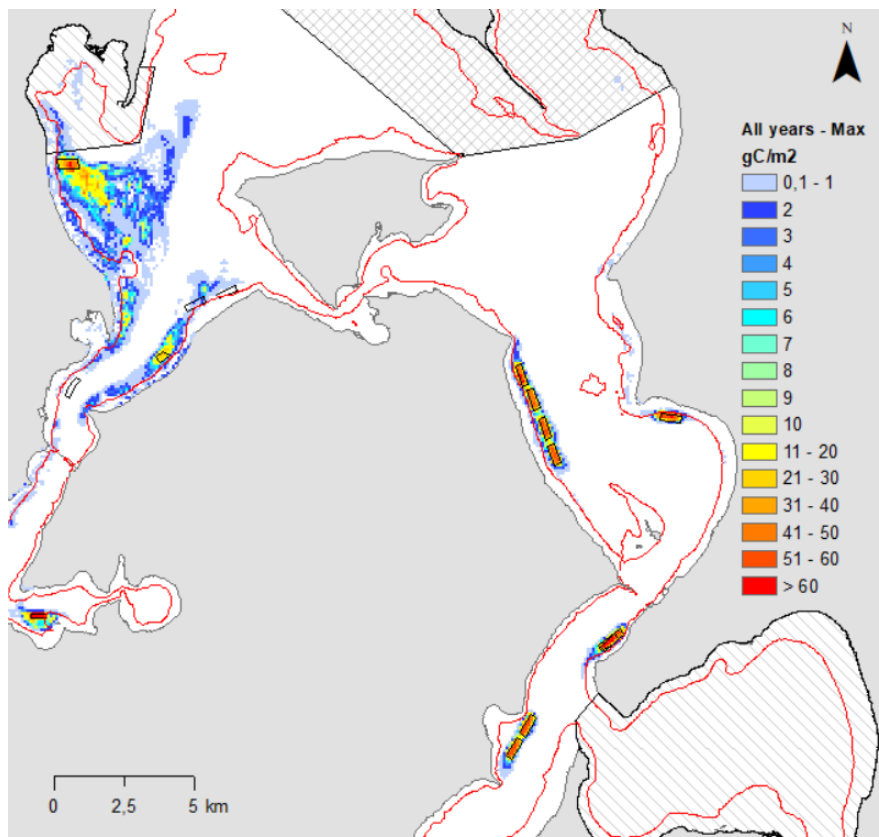
Figur 8. Modelberegnet akkumuleret organisk kulstof fra muslingefækalier i g C/m² som gennemsnit af gennemsnit for maj og oktober for all år 2014, 2015 og 2016 i Kås Bredning og Salling Sund. Med resuspension.



Figur 9 Modelberegnet akkumuleret organisk kulstof fra muslingefækalier i g C/m² som gennemsnit af maksimum for maj og oktober for alle år 2014, 2015 og 2016 i Kås Bredning og Salling Sund. Med resuspension.



Figur 10. Modelberegnet akkumuleret organisk kulstof fra muslingefækalier i g C/m² som gennemsnit af gennemsnit for maj og oktober for alle år 2014, 2015 og 2016 i Skive Fjord og Løgstør Bredning. Med resuspension.



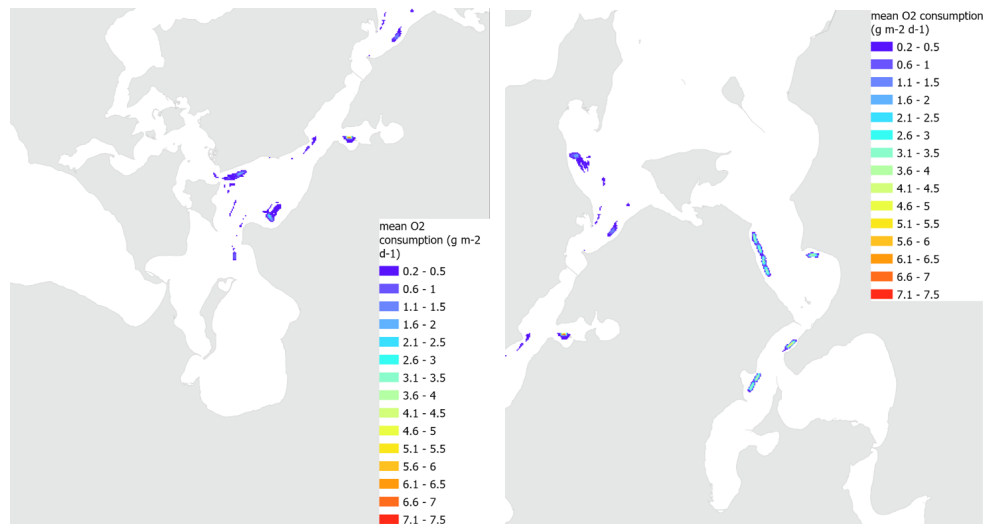
Figur 11. Modelberegnet akkumuleret organisk kulstof fra muslingefækalier i gC/m^2 som gennemsnit af maksimum for maj og oktober for alle år 2014, 2015 og 2016 i Skive Fjord og Løgstør Bredning. Med resuspension.

Fækaliernes iltforbrug

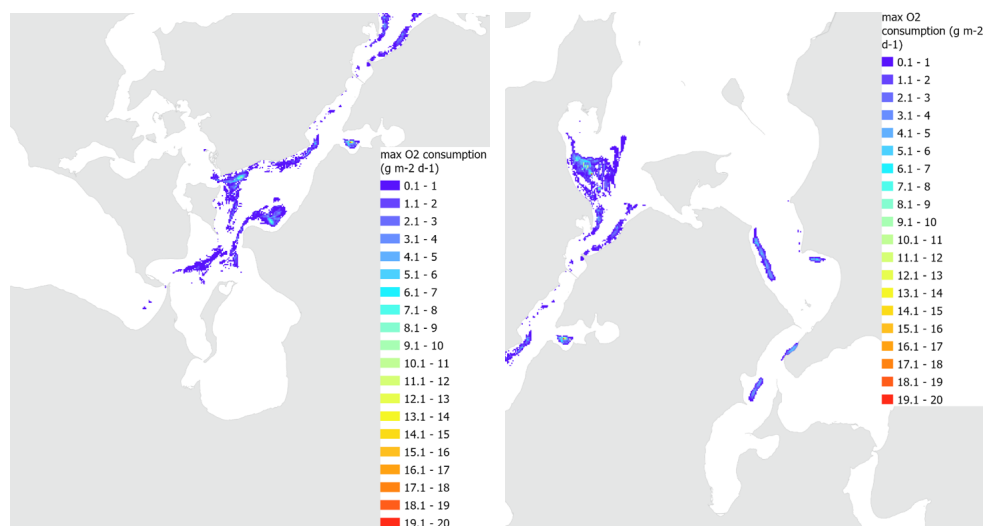
Det beregnede gennemsnitlige og maksimale iltforbrug af de sedimenterede akkumulerede muslingefækalier for alle år og måneder fremgår af henholdsvis Figur 12 og Figur 13. Det gennemsnitlige iltforbrug varierer mellem 1-7 $gO_2/m^2/d$ indenfor de enkelte ansøgte produktionsområder med de højeste værdier i ansøgningerne i Skive Fjord. I Kås Bredning, Sallingsund og Løgstør Bredning er det beregnede gennemsnitlige iltforbrug indenfor ansøgningerne generelt lavere end i Skive Fjord. Dette skyldes, at der i de førnævnte områder sker en vis resuspension, som reducerer den gennemsnitlige akkumulerede mængde organisk materiale indenfor ansøgningsområderne, der til gengæld spredes til andre områder længere væk. I områder, der ligger længere væk fra ansøgningerne og hvor resuspenderet materiale sedimenterer, ligger de højeste gennemsnitsværdier på op til ca. 1 $gO_2/m^2/d$.

Det beregnede maksimale iltforbrug viser, at der meget lokalt i områder længere væk fra ansøgningsområderne kan være et iltforbrug på op til ca. 10 $gO_2/m^2/d$. Det

maksimale beregnede iltforbrug vil dog typisk forekomme kortvarigt og aftage i løbet af nogle dage efter, at sedimentationen af resuspenderet materiale er sket og i takt med, at det organiske materiale nedbrydes eller evt. resuspenderes på ny. Sidstnævnte vil særligt gøre sig gældende for den sedimentation, der sker i lavvandede områder, som i højere grad kan eksponeres for kraftige strømforhold og bølger.



Figur 12. Beregnet gennemsnitligt iltforbrug ($\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{d}$) ved nedbrydning af akkumulerede muslingefækalier på havbunden i henholdsvis Kås Bredning og Salling Sund (venstre) samt Skive Fjord og Løgstør Bredning (højre).



Figur 13. Beregnet maksimale iltforbrug ($\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{d}$) ved nedbrydning af akkumulerede muslingefækalier på havbunden i henholdsvis Kås Bredning og Salling Sund (venstre) samt Skive Fjord og Løgstør Bredning (højre).

Iltreduktion i vandsøjlen

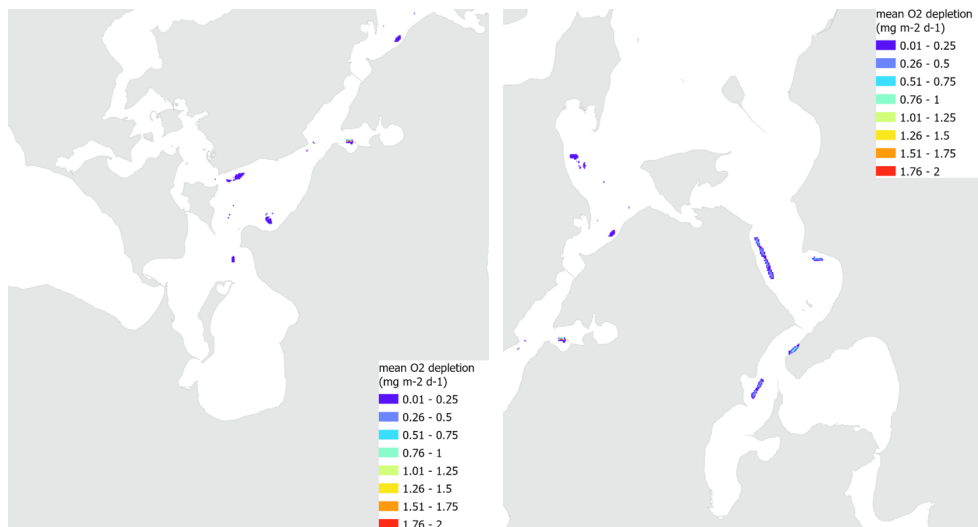
Den beregnede gennemsnitlige og maksimale reduktion af iltkoncentration i vandsøjlen forårsaget af muslingefækaliernes iltforbrug for alle år og måneder i et bundlag på 10 cm fremgår af henholdsvis *Figur 14* og *Figur 15*.

Den gennemsnitlige reduktion i iltkoncentration i vandsøjlen varierer mellem 0,01 og 1 mg O₂/l indenfor de enkelte ansøgte produktionsområder med de højeste værdier i ansøgningerne i Skive Fjord. Enkelte ekstremværdier ligger på mellem 1-2 mg O₂/l. Udenfor de ansøgte produktionsområder ligger den beregnede gennemsnitlige reduktion i iltkoncentration i vandsøjlen generelt på under 0,01 mg O₂/l.

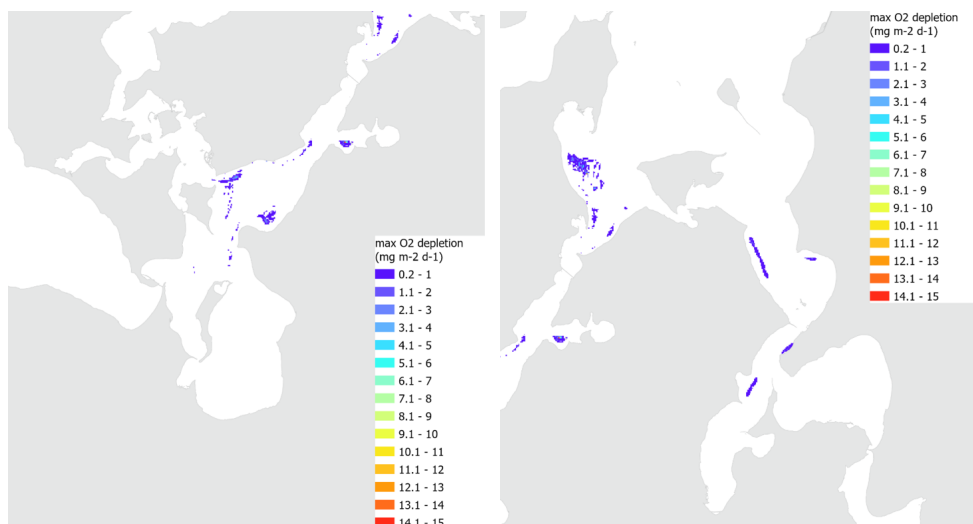
Den beregnede maksimale reduktion i iltkoncentration i vandsøjlen viser, at der meget lokalt i områder indenfor nogle af ansøgningsområderne og i de mest udsatte sedimentationsområder længere væk og kortvarigt (få dage) kan forekomme koncentrationsændringer i vandsøjlen på op til 1-5 mg O₂/l med enkelte ekstremværdier, der ligger over det. Enkelte ekstremværdier findes i enkelte net celler (på 100x100 m), og disse værdier skal tages med et forbehold, da det kan skyldes begrænsninger i forhold til den rumlige opløsning i modellen.

Det skal pointeres, at der i overslagsberegningerne for reduktion af ilt i vandsøjlen ikke er taget højde for, at bundvand fra områder med reduceret iltkoncentration kan brede sig til områder udenfor anlæggene og påvirke iltforholdene her. At belyse sådanne interaktioner kræver, at man anvender en dynamisk iltmodel, der er koblet til både hydrauliske og biogeokemiske processer i vandsøjlen og sedimentet svarende til den modellering, som er foretaget som del af grundlaget for vandområdeplanerne 2021-2027 (Erichsen & Birkeland 2020⁹). Det skal endvidere pointeres, at generel reduceret sedimentation som følge af anlæggene og dermed reduceret iltforbrug udenfor anlæggene heller ikke er medtaget.

⁹ Erichsen AC and Birkeland M 2020. Development of Mechanistic Models. Mechanistic Model for Limfjorden. Biogeochemical model documentation. DHI report (project no. 11822245)



Figur 14. Beregnet gennemsnitligt iltsvind forårsaget af iltbrug af akkumulerede muslingefækaler på havbunden (som g O₂/m²/dag). Venstre: Kås Bredning og Salling Sund. Højre: Skive Fjord og Løgstør Bredning.



Figur 15. Beregnet maksimalt iltsvind forårsaget af iltbrug af akkumulerede muslingefækaler på havbunden (som g O₂/m²/d). Venstre: Kås Bredning og Salling Sund. Højre: Skive Fjord og Løgstør Bredning.

Diskussion

En række antagelser ligger til grund for modelberegningerne. Det har ikke været muligt indenfor rammerne af dette projekt at teste de enkelte antagelser ved hjælp af supplerende modelberegninger og belyse, hvilken betydning en given usikkerhed eller variation vil kunne have for modelresultaterne. I stedet er der nedenfor i

Tabel 4 angiver en vurdering af betydningen af hver antagelse for det endelige resultat. Antagelsernes betydning for resultatet er vurderet separat for henholdsvis resultater for spredningsberegninger specifikt i forhold til mængden (som g C/m²) af akkumuleret organisk materiale på havbunden og for det beregnede resulterende iltforbrug og fald i koncentrationen af ilt i bundvandet. Antagelserne vurderes som konservative, hvis de beregnede værdier for det akkumulerede organiske materiale eller iltforbruget vurderes at være større end det kan forventes i virkeligheden og omvendt for optimistiske antagelser.

Tabel 4. Vurdering af betydningen af de tilgrundliggende antagelser for resultaterne fra modelberegningerne. De enkelte antagelser er vurderet som værende konservativ (worst-case, angivet med "+"), ikke-konservativ (optimistisk – angivet med "-") eller neutral (angivet med "0").

Antagelser	Konservativ ift. spredning?	Konservativ ift. iltforbrug?
Ingen immobilisering/diagenese af org. stof i sediment	+	+
Én nedbrydningsrate for al org. stof	-	+
Synkehastighed for "hele" fækaliier, ingen nedbrydning	-	0/-
Alle partikler frigivet i overflade for anlæg i vandsøjlen	+	0/-
Resuspension sker momentant ved tærskelværdi	+	0/-
Iltsvindsrater ved strøm på 3 cm s-1 og 10 cm dybde	0	+
Effekt af filtration på sedimentation ikke medtaget	+	+
Iltsvind ved tilstrømmende vand med iltmætning	0	+

Generelt er der anvendt konstante værdier for parametre som f.eks. nedbrydningsraten af organisk stof, synkehastigheden af muslingefækaliierne, og tærskelværdi for resuspension af sedimenteret organisk materiale. I virkeligheden er disse værdier afhængig af en række faktorer, som ændrer sig over tid og sted og ofte vil være bedre repræsenteret af en statistisk fordeling eller en mekanistisk beskrivelse, der beskriver en kausal sammenhæng. Derudover har vi ignoreret temperaturafhængighed af nedbrydningsprocessen, processer der ituslår muslingefækaliierne inden de når havbunden, og dermed giver en langsommere synkehastighed, muslingers og øvrige organismers filtration af organiske materiale som vil kunne påvirke den samlede sedimentationsrate osv. Vi har heller ikke inddraget det forhold, at naturlige muslingebanker også genererer fækaliier, der kan resuspenderes og at disse banker kan have tætheder af samme størrelsesorden som kulturbanke. Det har ikke indenfor projektet været muligt at estimere effekten heraf.

Overordnet er den samlede vurderingen, at resultaterne fra modelberegningerne er konservative, dvs. at de beregnede værdier for niveauerne for akkumuleret organisk materiale på havbunden og niveauerne for iltforbrug og iltsvind generelt ligger højere end de faktiske niveauer. Hvor meget højere er det ikke muligt at sige noget

om. Til gengæld vurderes den arealmæssige udstrækning af de berørte områder at være relativt optimistisk, dvs. mindre end hvad de rent faktisk forventes at være.

Den anvendte produktionsrate af fækalier pr kg muslinger på 0,4 g C/kg vådvægt/d svarer til en sedimentationsrate af fækalier på 3 g C/m²/d for et SmartFarm anlæg med maksimal biomasse. Under et lineanlæg er sedimentationsraten ca. 0,8 g C/m²/d, bortset fra i særligt produktive områder som Skive Fjord, hvor sedimentationsraten er 1,2 g C/m²/d for et lineanlæg med maksimal biomasse (Tabel 2).

I Tabel 5 er værdier for den naturlige sedimentationsrate målt i forskellige tidligere studier i Limfjorden samlet. Værdierne varierer mellem 0,13 og 4,18 g C/m²/d, højest i Risgårde Bredning, Kås Bredning og Løgstør Bredning, og lavest i Skive Fjord. Data fra ældre studier, som repræsenterer gennemsnitsværdier for flere stationer, ligger på niveau med værdier for Skive Fjord i nyere studier. Det er ikke meningsfuldt at sammenligne målte naturlige sedimentationsrater med de anvendte sedimentationsrater fra muslingeproduktionen en-til-en. Dette skyldes, at mens det organiske materiale fra muslingeproduktionen er "nyt" materiale med en høj andel af labilt, og dermed let-nedbrydeligt, organisk kulstof, så vil det "naturlige" organiske materiale i nogle af de målinger, der er foretaget, kunne indeholde "gammelt" materiale, som stammer fra organisk materiale der løbende er blevet resuspendret, og som må forventes at indeholde en mindre andel af labilt kulstof. Det er ikke muligt at vurdere forholdet mellem "nyt" og "gammelt" organisk kulstof repræsenteret i værdierne for sedimentationsrater i Tabel 5.

Et estimat af den del af den naturlige sedimentation, der kan udgøres af "nyt" labilt kulstof i form af sedimenteret fytoplankton, kan vurderes ud fra simulerede koncentrationer af fytoplankton for perioden 2010-2016. Niveaue for sommerhalvåret ligger på et middel på ca. 0,05, 0,1 og 0,3 mg C/l for henholdsvis Kås Bredning, Løgstør Bredning og Skive Fjord. Med en antagelse om en relativ høj gennemsnitlig synkehastighed på 1 m/d (Mao et al 2021¹⁰) svarer det til sedimentationsrater på henholdsvis 0,05, 0,1 og 0,3 g C/m²/d.

¹⁰ Mao Y, Li X, Zhang G, Liao Y, Qian G and Sun J 2021. Sinking Rate and Community Structures of Autumn Phytoplankton Responses to Mesoscale Physical Processes in the Western South China Sea. *Frontiers in Microbiology* 12:777473. doi: 10.3389/fmicb.2021.777473

Tabel 5. Tidligere studier af den naturlige sedimentationsrate (i g C/m²/d) for forskellige steder i Limfjorden.

Område	lokaltet	Sedimentationsrate (g-C/m ² /dag)	Tidspunkt	Kilde
Risgård Bredning	Rotholm	4,18	Forår 2007	Carlsson et al. 2010
Løgstør Bredning	Bjørndrup	2,40	Forår 2007	Carlsson et al. 2010
Skive Fjord		0,23	August 2010	Holmer et al. 2015
Skive Fjord		0,16	Marts 2011	Holmer et al. 2015
Skive Fjord		0,36	Marts 2011	Holmer et al. 2015
Risgård Bredning	Rotholm	0,90	Sommer 2006	Carlsson et al. 2009
Skive Fjord	Eskær	0,68	Sommer 2006	Carlsson et al. 2009
Risgård Bredning	Rotholm	0,13	Sommer 2006	Carlsson et al. 2009
Skive Fjord	Grønning	0,31	Sommer 2006	Carlsson et al. 2009
Løgstør Bredning	Bjørndrup	1,13	Sommer 2006	Carlsson et al. 2009
Salling Sund	Lysen	1,00	Sommer 2006	Carlsson et al. 2009
Kås Bredning	Kås Sand	1,50	Sommer 2006	Carlsson et al. 2009
Kås Bredning	Kås S. East	2,90	Sommer 2006	Carlsson et al. 2009
Kås Bredning	Kås S. West	2,60	Sommer 2006	Carlsson et al. 2009
Limfjord		0,49	*	Jørgens 1977
Løgstør Bredning **		0,21	**	Lund et al. 1999

* Middel over 9 stationer

** Estimeret ud fra figur

En sedimentationsrate af naturligt kulstof fra fytoplankton på 0,3 g C/m²/d, og under antagelse af en nedbrydningsrate på 0,05 per dag som anvendt for muslingefækalier, vil give en akkumuleret mængde organisk kulstof fra fytoplankton på 5 g C/m², når der er opnået balance mellem sedimentation og nedbrydning.

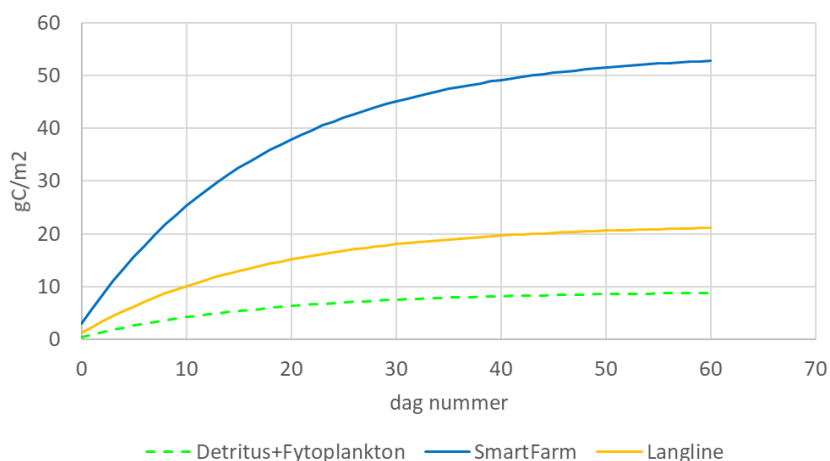
Ser man på de tilsvarende værdier for simuleret detritus kulstof (partikulært dødt organisk materiale) udtrukket fra Limfjordsmodellen for de samme 3 områder, så er billedet noget anderledes. Her er de tilsvarende sedimentationsrater på henholdsvis 0,9, 0,5 og 0,2 g C/m²/d for Kås Bredning, Løgstør Bredning og Skive Fjord (gennemsnit for alle år), hvis der anvendes samme antagelse om synkehastighed på 1 m/d. For Skive Fjord er det estimerede bidrag af kulstof til den samlede sedimentation fra detritus i samme størrelsesorden som bidraget fra fytoplankton, dvs. en akkumuleret mængde organisk kulstof fra detritus på ca. 5 C/m², mens bidraget af kulstof fra detritus i Kås Bredning er ca. 20 gange større end bidraget fra fytoplankton.

De høje simulerede detritus niveauer i Kås Bredning og Løgstør Bredning er formentlig styret af resuspensionshændelser, særlige i efterårsmånederne og vintermånederne, og de høje niveauer ses også af de målte naturlige sedimentationsrater i de samme områder (Tabel 5). Det er derfor sandsynligt, at de høje sedimentationsrater i de områder primært repræsenterer "gammelt" organisk kulstof, som til

stadighed resuspenderes, og kun undergår en relativt langsommere nedbrydning. I Skive Fjord er resuspensionen derimod meget begrænset pga. dens beskyttede beliggenhed, og den simulerede gennemsnitlige årlige detrituskoncentration er her i samme størrelsesorden, som den simulerede gennemsnitlige fytoplankton-koncentration i sommerhalvåret. Skive Fjord er samtidig et af de steder i Limfjorden, der har den højeste fytoplankton-koncentration, og dermed er forholdene i Skive Fjord et godt og konservativt bud på en beregnet naturlig baggrund af en sedimentationsrate af organisk kulstof, som samlet giver en forventet akkumuleret sedimentation på ca. 10 g C/m² fra fytoplankton og detritus, og som kan sammenlignes tilnærmelsesvis en-til-en med den akkumulerede mængde organisk kulstof fra muslingefækalier under muslingeproduktionsanlæggene.

I Figur 16 er vist en teoretisk beregning af den resulterende mængde akkumuleret sedimenteret organisk kulstof fra henholdsvis SmartFarm, lineanlæg og den naturlige baggrundssedimentation fra fytoplankton og detritus i Skive Fjord. Den akkumulerede mængde organisk kulstof under SmartFarm og under lineanlæg er henholdsvis ca. 5 og 2 gange den estimerede naturlige baggrund.

Det skal understreges, at den her anvendte naturlige baggrundssedimentation er et estimat, og forhold som f.eks. græsning fra muslinger, østers og andre organismer ikke indgår i vurderingen, ligesom der kan være forskel i nedbrydningsrater af de forskellige typer organiske materialer. Der er heller ikke i estimatet taget højde for produktion af fækalier fra naturlige muslingebestande. Figur 16 skal endvidere ses som effekter på bunden og der er ikke vurderet betydning for f.eks. lysforholdene omkring ålegræs.



Figur 16. En teoretisk beregning af den resulterende mængde akkumuleret sedimenteret organisk kulstof fra henholdsvis SmartFarm, lineanlæg og den naturlige netto sedimentation fra fytoplankton og detritus i Skive Fjord.

Iltforbrug og iltkoncentration i bundvandet

De naturlige sedimentationsrater i Limfjorden varierer over årstiden og i forskellige områder af Limfjorden med deraf varierende iltforbrug i sedimentet. Som beskrevet i tabel 5 er der dokumenteret naturlige sedimentationsrater på mellem 0,16-4,18 g C/m²/d, som giver en akkumuleret mængde organisk kulstof i sedimentet på mellem 2,7-69 g C/m² under antagelse af en konstant nedbrydningsrate af organisk kulstof på 5,5% per dag. Givet denne nedbrydningsrate, og en respirationskoefficient på 1 mol O₂ til 1 mol CO₂, vil det daglige iltforbrug udelukkende på grund af den naturlige sedimentation være på 0,19-5,08 g O₂/m²/d. Bemærk, at de højeste værdier for iltforbrug forudsætter, at de højest målte naturlige sedimentationsrater (i Tabel 5) er repræsentative for en løbende tilførsel af "nyt" organisk kulstof til havbunden. Dette er ikke nødvendigvis tilfældet. Det er sandsynligt, at de højeste målte sedimentationsrater i centrale dele af Limfjorden er udtryk for gentagne resuspensionshændelser og dermed vil de faktiske akkumulerede mængder kulstof, og det deraf følgende iltforbrug, være lavere.

Iltforbruget ved nedbrydning af sedimenterede muslingefækalier direkte under de enkelte anlæg i ansøgningsområderne i områder med ingen eller meget lidt resuspension, såsom Skive Fjord, vil ligge på maksimalt ca. 3,2-4,2 g O₂/m²/d, og iltforbruget falder til <1 g O₂/m²/d indenfor 200 m fra det enkelte anlæg. Omkring anlæg med højere grad af resuspension, f.eks. i Kås Bredning eller Dråby Vig, varierer det maksimale iltforbrug fra 0,25-5,2 g O₂/m²/d direkte under anlæggene, hvor iltforbruget falder til 0,42-1,82 i 200 m afstand og <1,1 g O₂/m²/d 500 m væk. Det højeste iltforbrug er beregnet direkte under anlægget i ansøgningsområdet i Lysen Bredning, hvor de gennemsnitlige maksimumværdier er beregnet til 8,22 g O₂/m²/d.

Et estimat af størrelsen af iltreduktion i bundvandet som resultat af iltforbruget i sedimentet kræver, at der tages hensyn til vandskiftet. Ved hjælp af en meget enkel fremgangsmåde, hvor det antages, at det påvirkede vandvolumen ved bunden er begrænset til de nederste 10 cm af vandsøjlen, og en strømhastighed på 3 cm/sek under konstante strømforhold, kan det daglige iltreduktionsrater beregnes pr. m². De naturlige sedimentationsrater giver således en beregnet iltreduktion på 0,1-1,0 mg/l i bundvandet. Den gennemsnitlige maksimale iltreduktion indenfor ansøgningsområderne, der ligger i Skive Fjord, kan tilsvarende beregnes til 0,4-0,72 mg/l. Iltreduktionen er ubetydelig udenfor ansøgningsområderne. Iltreduktionen indenfor ansøgningsområder i Kås og Dråby Vig er beregnet til 0,4-0,83 mg/l, og <0,1-0,3 mg/l i en afstand på 200 m fra ansøgningsområderne. Beregninger af de maksimale værdier for reducerede iltkoncentrationer kan ske indenfor enkelte ansøgninger om produktionsområder samt i kortere perioder meget lokalt i områder

udenfor, hvor der kan ske en særlige høj sedimentation efter en resuspensionshændelse. Resuspensionshændelser er normalt forbundet med nedbrydning af lagdelingen og dermed tilførsel af iltigt vand.

Disse skøn indikerer, at iltreduktionen i bundvandet udenfor produktionsområderne generelt vil være vanskelig at skelne fra den iltreduktion, der skyldes den naturlige sedimentation af organisk kulstof. Indenfor de ansøgte produktionsområder vil graden af reducerede iltforhold afhænge af de lokale forhold, og i områder med naturligt høje naturlige iltreduktioner kan der i beregningerne potentielt opstå lokalt iltsvind under produktionsanlæggene. Det skal imidlertid bemærkes, at denne tolkning baserer sig på en gennemsnitlig strømhastighed på 3 cm/sek og en kun 10 cm høj vandsøjle. Det er begge meget konservative antagelser. Det skal endvidere understreges, at disse estimater ikke inkluderer den reducerede sedimentation af kulstof som følge af muslingernes filtration, som opdrætsanlægget vil give anledning til både udenfor og indenfor det ansøgte produktionsområde. Der er heller ikke taget højde for kumulerede iltreduktioner som følge af iltkoncentrationen i det tilstrømmende vand. For at kunne estimere den samlede iltodynamik kræves en komplet økologisk model.

Reducerede iltforhold indenfor de ansøgte produktionsområder vil kun kunne have en biologisk betydning, hvis området i forvejen er påvirket af iltsvind, dvs. i situationer hvor iltforholdene er tæt på, eller lavere end, den kritiske grænse på 4 mg O₂/l.

Forslag til kriterier for vurdering af ansøgninger

DTU Aqua foreslår, at der på det nuværende vidensgrundlag herunder begrænsningerne i nærværende analyse kan opstilles kriterier for gruppering af ansøgninger om opdrætsanlæg (langline og SmartFarm) samt kulturbanker i relation til potentiel miljøpåvirkning, der efterfølgende kan indgå i en vurdering af ansøgningen.

1. Ansøgninger der overlapper med ålegræssets målsatte dybdegrænse for vandplanperiode 2016-21, og/eller hvor dele af det ansøgte område ligger med en afstand på mindre end 100 m. Generelt viser modelberegningerne, at den primære sedimentation sker indenfor en afstand af 100 m fra det enkelte opdrætsanlæg i områder, hvor der ikke sker resuspension af betydning, f.eks. i Skive Fjord. I områder med betydelig resuspension - som i Kås Bredning, Sallingsund og Løgstør Bredning - sker sedimentationen af resuspenderet organisk materiale primært i de dybere områder udenfor ålegræssets dybdegrænse. I områder, der ligger indenfor dybdegrænsen, er den gennemsnitlige akkumulerede sedimentation generelt væsentlig lavere end den naturlige baggrund.

2. Ansøgninger, der overlapper med ålegræssets målsatte dybdegrænse for vandplanperiode 2022-27, og/eller hvor del dele af ansøgningsområdet ligger indenfor en afstand af 100 m. Begrundelse som ovenfor.
3. Ansøgninger, der ligger indenfor en afstand til et Natura 2000-område eller et rev, hvor spredningsforholdene er af en sådan karakter, at sedimentation af resuspenderet materiale vurderes at kunne give anledning til akkumulering af muslingefækalier indenfor Natura 2000-området eller et udpeget rev, der overstiger en gennemsnitlig akkumuleret sedimentation svarende til den naturlige baggrund. Det er ikke muligt at angive et generelt kriterie for den afstand til et Natura 2000-område og/eller et udpeget rev, hvor sedimentation af organisk stof ikke overstiger den naturlige baggrund. Det afhænger af de lokale forhold, herunder især omfanget af den naturlige resuspension. Det må derfor baseres på konkret vurdering i hvert tilfælde. For at operationalisere sagsbehandling vil DTU Aqua foreslå at tage udgangspunkt i, om et enkelte anlæg kan give en øget gennemsnitlig akkumuleret sedimentation på 10 g C/m^2 eller mere i et Natura 2000-område.
4. Ansøgninger, hvor resuspension fra det enkelte anlæg kan give en øget gennemsnitlig akkumuleret sedimentation på 10 g C/m^2 eller mere i en afstand på mere end 100 m fra anlægget. Kriteriet svarer til den forventede akkumulerede naturlige sedimentation af nyligt produceret fytoplankton og dødt organisk materiale (detritus) i vandsøjlen. Områder med høj og gentagen resuspension af allerede sedimenteret organisk kulstof kan give anledning til øget sedimentation i de dele af områderne, hvor sedimentationsforholdene er gode. Kriteriet på 10 g C/m^2 er et gennemsnit, og områder i Limfjorden vil være meget forskellige mht. den naturlige mængde akkumuleret organisk materiale pga. vedvarende resuspensions- og sedimentationsprocesser.

Da analysen ikke tager højde for kumulerede effekter med eksisterende anlæg og da der i nogle områder er en del ansøgninger, hvor der er flere allerede eksisterende anlæg, kan der inddrages en kvalitativ vurdering af potentielle kumulative effekter.

Der er ikke medtaget kriterier for beregnede iltkoncentrationer. Det vurderes at de beregnede reduktioner i iltkoncentrationen ikke er tilstrækkelig præcise til at godtgøre overskridelser af et fastsat kriterie. Dertil kræves en fuldt mekanistisk model, der både tager højde for de hydrauliske forhold og de komplekse biogeokemiske processer i vand og sediment, og som sammen har betydning for ændringer i iltkoncentrationer i bundvandet.

Forslag til vurderingskriterier er samlet i Tabel 6 og Tabel 7 for henholdsvis ansøgninger om opdrætsanlæg og ansøgninger om kulturbanker.

Tabel 6. Vurderingskriterier for ansøgninger om opdrætsanlæg – enten SmartFarm (SF) eller langline anlæg (LA). Angivne kriterier er afstand til ålegræssets dybdegrænse mellem god og moderat økologisk tilstand som defineret i vandplanperiode 2 (2016-21) og 3 (2022-27) og afstand til beskyttede områder. Desuden er angivet for hvilke ansøgninger mængden af akkumuleret organisk materiale som middel overstiger 10 g C/m² >100 m fra opdrætsanlægget samt i parentes hvor mange hektar, der påvirkes af overskridelsen. Maksimal akkumulering i enkeltstående hændelser er angivet for overskridelse af 10 g C/m². Potentielt kumulative effekter er angivet for anlæg ansøgt i områder med i forvejen stor koncentration af opdrætsanlæg.

Løbe-nr.	Anlæg type	Afstand dybdegrænse god/moderat 2016-21 (m)	Afstand dybdegrænse god/moderat 2022-27 (m)	Afstand til Natura 2000 (m)	Afstand til rev (m)	Akkumuleret C >100 m fra anlæg over 10 g C/m ² og påvirket areal (ha)		Potentielt kumulative effekter
						Middel	Maks	
372	SF	162	162	1416	5791			
373	SF	291	291	1940	5813			
374	SF	194	194	6103	10730			
375	SF	219	219	6834	9828			
385	OA	74	0	5166	8474	x (1)	x	x
426	SF	141	35	4358	7283		x	x
427	SF	130	25	1135	9608	x (1)	x	x
443	SF	42	42	4621	9839			x
444	SF	97	97	5272	10730			x
445	SF	34	34	1534	4506	x (1)		x
446	SF	11	11	7831	8387			x
458	LA	55	55	1501	4609			x
493	LA	25	0	569	9443			x
494	LA	0	-96	418	8338			
495	LA	0	-408	1416	6923			
93-1	LA>SM	0	0	11579	17513		x	x
193	LA>SM	33	0	251	2684	x (1)	x	x

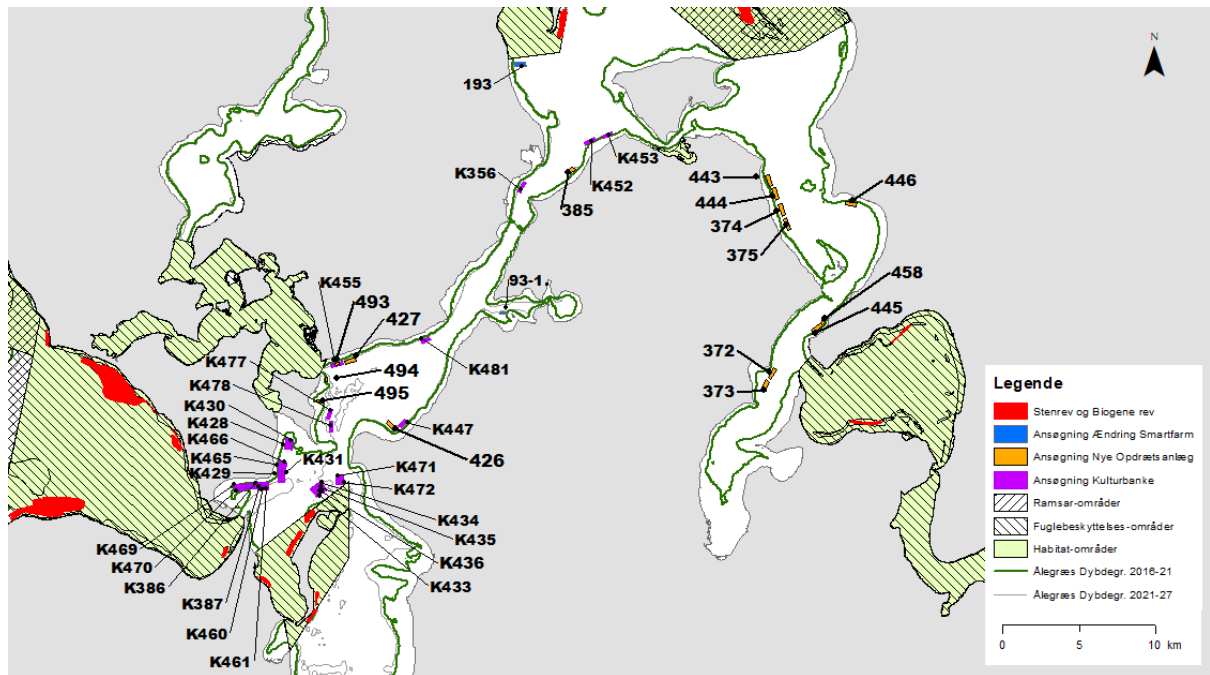
Tabel 7. Vurderingskriterier for ansøgninger om kulturbanker. Angivne kriterier er afstand til ålegræssets dybdegrænse mellem god og moderat økologisk tilstand som defineret i vandplanperiode 2 (2016-21) og 3 (2022-27) og afstand til beskyttede områder. Desuden er angivet for hvilke

ansøgninger mængden af akkumuleret organisk materiale som middel overstiger hhv. 5 og 10 g C/m² >100 m fra kulturbanken samt i parentes hvor mange hektar, der påvirkes af overskridelsen. Maksimal akkumulering i enkeltstående hændelser er angivet for overskridelse af hhv. 10 og 40 g C/m². Potentielt kumulative effekter er angivet for anlæg ansøgt i områder med i forvejen stor koncentration af opdrætsanlæg. Der er kun modelleret akkumulering af organisk materiale for to ansøgninger K455 og K472.

Løbe-nr.	Afstand til dybdegrænse god/moderat 2016-21 (m)	Afstand til dybdegrænse god/moderat 2022-27 (m)	Afstand til Natura 2000 (m)	Afstand til rev (m)	Akkumuleret C >100 m fra anlæg (g C/m ²) og påvirket areal (ha)		Potentiale for kumulative effekter?
					Middel	Maks	
K356	157	23	8039	9647			
K386 - banke 1	0	-54	2021	3099			
K387 - banke 2	54	0	1944	3023			
K428 - banke 1	86	-1861	1843	4174			
K429 - banke 2	0	0	2627	2633			
K430 - banke 1	71	-1851	1943	4060			
K431 - banke 2	207	0	2485	2490			
K433 - banke 1	381	-121	430	772			
K434 - banke 2	862	-41	955	1146			
K435 - banke 1	692	-176	773	999			
K436- banke 2	540	-160	600	877			
K447	131	19	4817	7746			
K452	0	0	3720	6832			
K453	0	0	2691	6923			
K455	53	0	391	9246	x (3)	x	x
K460	150	0	1838	2943			
K461	71	0	1763	2874			
K465	0	-549	3120	3217			

K466	221	-532	3067	3069			
K469	0	-711	1793	3896			
K470	0	-598	1548	3674			
K471	583	187	242	2181			
K472	415	248	86	2353	-	-	
K477	358	0	2194	5898			
K478	633	8	2968	5103			
K481	100	39	6211	12864			

Bilag 1 – Placering af ansøgninger på kort



Bilag 2 – Placering af ansøgninger i forhold til beskyttet natur

Nedenstående tabeller omfatter alle ansøgninger om nye kulturbanker, nye opdrætsanlæg, samt om ændringer af eksisterende opdrætsanlæg til SmartFarm.

Nedenfor er forklaring på de enkelt kolonneoverskrifter

Kolonneoverskrift	Forklaring
Løbe-nr	Løbenummer iht til ansøgning
Anlæg type	Smartfarm (SF), Lineanlæg (LA), Kulturbanke (KB)*
Art	Blåmusling (BM), Østers (ØS)
Areal iht ansøgn. (ha)	Areal af anlæg iht til ansøgning
Areal iht koordinater (ha)	Areal af anlæg baseret på hjørnekoordinater angivet i ansøgning (proj: UTM 32 WGS84)
Center- koordinat (grader N)	Center-koordinat beregnet ud fra angivne hjørnekoordinater i ansøgning
Center-koordinat (grader Ø)	Center-koordinat beregnet ud fra angivne hjørnekoordinater i ansøgning
Afstand til dybdegrænse GOD/MODERAT 2016-21 (m)	Afstand til Ålegræssets dybdegrænse GOD/MODERAT jvf Vandplanerne 2016-2021**
Afstand til dybdegrænse GOD/-MODE-RAT 2022-27 (m)	Afstand til Ålegræssets dybdegrænse GOD/MODERAT jvf Vandplanerne 2022-2027 (pt i Høring)**
Afstand til NATURA-2000 (m)	Afstand til nærmeste Natura2000 område (jvf www.miljoegis.mim.dk)
Afstand til "Rev" (m)	Afstand til nærmeste stenrev eller biogene rev (jvf www.miljoegis.mim.dk)
Dybde ansøgning (m)	Dybde angivet i ansøgningen
Dybde middel (m)	Middeldybde beregnet ud fra dybdedata
Dybde min (m)	Minimumsdybde beregnet ud fra dybdedata
Dybde max (m)	Maximumsdybde beregnet ud fra dybdedata
Antal dage med ilt < 4 mg/l - middel	Antal dage per år med iltkoncentration ved bunden mindre end 4 mg/l. Baseret på DHI's vandplansmodel for Limfjorden. Gennemsnit for 7 års periode.

* En enkelt ansøgning er angivet med OA (=opdrætsanlæg jvf ansøgningen). Det fremgår ikke af ansøgningen hvilken types

**Bemærk at afstanden til ålegræssets dybdegrænser er den mindste afstand fra ansøgningsområdet til dybdegrænsen. Hvis værdien er "0" betyder det at ansøgningsområdet et eller andet sted overlapper (=krydser ind over) dybdegrænsen. Hvis værdien er negativ, betyder det at hele ansøgningsområdet ligger "inden for" dybdegrænsen, - dvs. på lavere vand, med en mindste afstand til dybdegrænsen angivet ved den negative værdi.

Løbe-nr	Anlæg type	Art	Areal iht ansøgn. (ha)	Areal iht koordinater (ha)	Center-koordinat (grader N)	Center-koordinat (grader Ø)	Afstand til dybdegrænse GOD/- MODERAT 2016-21 (m)	Afstand til dybdegrænse GOD/- MODERAT 2022-27 (m)	Afstand til NATURA-2000 (m)	Afstand til "Rev" (m)	Dybde ansøgning (m)	Dybde middel (m)	Dybde min (m)	Dybde max (m)	Antal dage med ilt < 4 mg/l - middel
K356	KB	BM		15,0	56,7720	8,8546	157	23	8039	9647		7,5	6,0	9,7	0
K386 - banke 1	KB	BM	14,5	13,9	56,5973	8,5761	0	-54	2021	3099		4,4	4,3	4,7	0
K387 - banke 2	KB	BM, ØS	14,5	14,7	56,5965	8,5760	54	0	1944	3023		4,8	4,5	5,9	0
K428 - banke 1	KB	BM	15	14,8	56,6205	8,6071	86	-1861	1843	4174		4,7	4,4	4,8	0
K429 - banke 2	KB	BM	15	14,9	56,6017	8,5993	0	0	2627	2633		5,4	4,7	6,5	0
K430 - banke 1	KB	BM	15	14,7	56,6204	8,6113	71	-1851	1943	4060		4,7	4,5	4,8	0
K431 - banke 2	KB	BM	15	14,9	56,6017	8,6031	207	0	2485	2490		5,1	4,6	6,2	0
K433 - banke 1	KB	BM	15	15,0	56,5924	8,6433	381	-121	430	772		5,5	5,5	5,6	0
K434 - banke 2	KB	BM	15	15,1	56,5961	8,6379	862	-41	955	1146		5,5	5,4	5,5	0
K435 - banke 1	KB	BM	15	15,1	56,5948	8,6397	692	-176	773	999		5,5	5,4	5,5	0
K436- banke 2	KB	BM	15	14,7	56,5936	8,6415	540	-160	600	877		5,5	5,5	5,5	0
K447	KB	BM	14,7	14,8	56,6329	8,7293	131	19	4817	7746		6,9	6,3	7,1	1
K452	KB	BM, ØS		15,3	56,7975	8,9274	0	0	3720	6832		6,8	4,4	9,8	0
K453	KB	BM, ØS		12,1	56,8014	8,9459	0	0	2691	6923		6,6	4,7	8,7	4
K455	KB	BM	15,1	15,2	56,6671	8,6594	53	0	391	9246		5,8	5,4	6,0	1
K460	KB	BM		14,7	56,5954	8,5760	150	0	1838	2943		4,9	4,5	6,5	0
K461	KB	BM		14,7	56,5945	8,5761	71	0	1763	2874		5,1	4,3	6,8	0
K465	KB	BM		14,2	56,6081	8,5999	0	-549	3120	3217		4,5	4,3	4,7	0
K466	KB	BM		15,3	56,6077	8,6041	221	-532	3067	3069		4,6	4,5	4,7	0
K469	KB	BM	14,66	15,2	56,5960	8,5571	0	-711	1793	3896		4,2	3,9	4,5	0
K470	KB	BM, ØS	13,3	13,5	56,5940	8,5579	0	-598	1548	3674		4,3	4,0	4,4	0
K471	KB	BM, ØS	13,8	13,9	56,5999	8,6606	583	187	242	2181		5,9	5,8	6,2	0
K472	KB	BM, ØS	13,8	14,6	56,5999	8,6647	415	248	86	2353		6,1	5,9	6,3	0
K477	KB	BM	14,1	14,1	56,6383	8,6518	358	0	2194	5898		6,1	5,8	6,4	0
K478	KB	BM	14,6	14,8	56,6309	8,6534	633	8	2968	5103		6,0	5,7	6,1	0
K481	KB	BM, ØS		14,0	56,6813	8,7536	100	39	6211	12864		7,5	7,2	7,8	0

Ansøgninger om Nye Opdrætsanlæg

Løbe-nr	Anlæg type	Art	Areal iht ansøgn. (ha)	Areal iht koordinater (ha)	Center-koordinat (grader N)	Center-koordinat (grader Ø)	Afstand til dybdegrænse GOD/- MODERAT 2016-21 (m)	Afstand til dybdegrænse GOD/- MODERAT 2022-27 (m)	Afstand til NATURA-2000 (m)	Afstand til "Rev" (m)	Dybde ansøgning (m)	Dybde middel (m)	Dybde min (m)	Dybde max (m)	Antal dage med ilt < 4 mg/l - middel
372	SF	BM	18,75	18,51	56,6623	9,1212	162	162	1416	5791	7	7,4	7,1	7,9	23
373	SF	BM	18,75	18,76	56,6550	9,1134	291	291	1940	5813	7	6,8	6,5	7,4	19
374	SF	BM	18,75	18,77	56,7577	9,1316	194	194	6103	10730	7	9,6	9,3	9,9	3
375	SF	BM	18,75	18,95	56,7493	9,1453	219	219	6834	9828	7	9,5	8,3	9,8	2
385	OA	BM, ØS	10,00	9,56	56,7808	8,9078	74	0	5166	8474	5	6,8	4,6	8,8	0
426	SF	BM	19,00	19,01	56,6315	8,7171	141	35	4358	7283	5	7,0	6,8	7,1	0
427	SF	BM	18,75	18,62	56,6692	8,6738	130	25	1135	9608	5	6,2	5,9	6,5	0
443	SF	BM	18,75	18,84	56,7746	9,1181	42	42	4621	9839	6	8,8	6,5	10,0	1
444	SF	BM	18,75	18,84	56,7671	9,1248	97	97	5272	10730	6	9,4	7,6	10,1	2
445	SF	BM	18,75	0,78	56,6897	9,1706	34	34	1534	4506	6	8,7	6,6	11,5	11
446	SF	BM	18,75	18,53	56,7610	9,2049	11	11	7831	8387	8	7,4	6,1	8,3	6
458	LA	BM, ØS	18,75	0,40	56,6890	9,1684	55	55	1501	4609	7	8,6	7,5	9,3	15
493	LA	BM	3,75	3,61	56,6676	8,6594	25	0	569	9443	5	5,7	5,4	5,9	0
494	LA	BM	3,75	3,15	56,6584	8,6486	0	-96	418	8338	5	4,7	4,1	5,2	0
495	LA	BM	3,75	3,82	56,6457	8,6402	0	-408	1416	6923	4	4,9	4,8	5,0	0

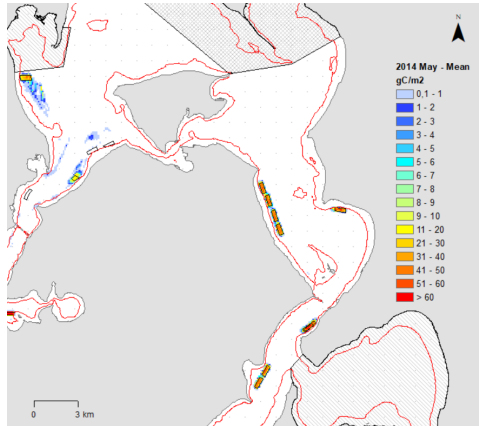
Ansøgninger om ændring til SmartFarm

Løbe-nr	Anlæg type	Art	Areal iht ansøgn. (ha)	Areal iht koordinater (ha)	Center-koordinat (grader N)	Center-koordinat (grader Ø)	Afstand til dybdegrænse GOD/- MODERAT 2016-21 (m)	Afstand til dybdegrænse GOD/- MODERAT 2022-27 (m)	Afstand til NATURA-2000 (m)	Afstand til "Rev" (m)	Dybde ansøgning (m)	Dybde middel (m)	Dybde min (m)	Dybde max (m)	Antal dage med ilt < 4 mg/l - middel
93-1.	LA>SM	BM, ØS	18,75	9,05	56,6975	8,8358	0	0	11579	17513	5	5,4	4,4	5,7	0
193	LA>SM	BM, ØS	23,06	23,58	56,8424	8,8525	33	0	251	2684	6	7,0	6,3	7,5	0

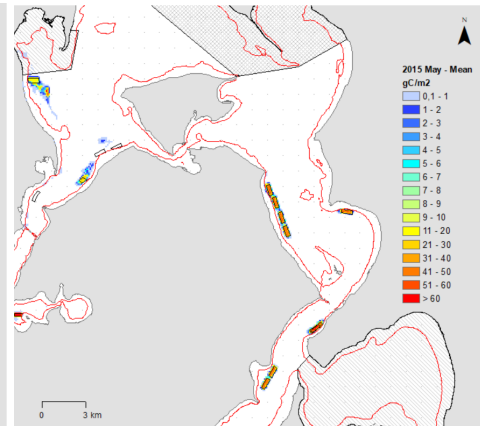
Bilag 3 – Modelberegnete akkumulerede muslingefækalier

Løgstør/Skive Middel - Med resuspension.

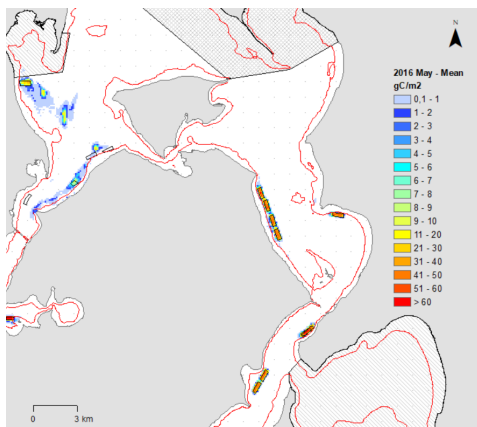
2014 Maj – middel:



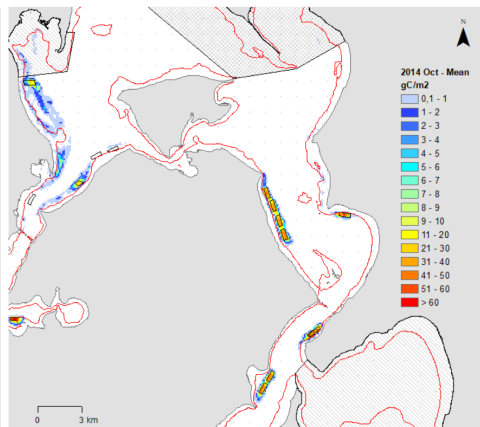
2015 Maj – middel



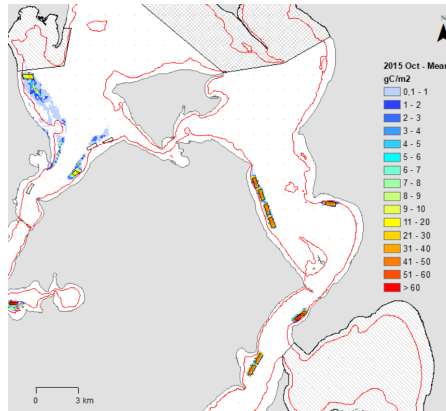
2016 Maj – middel:



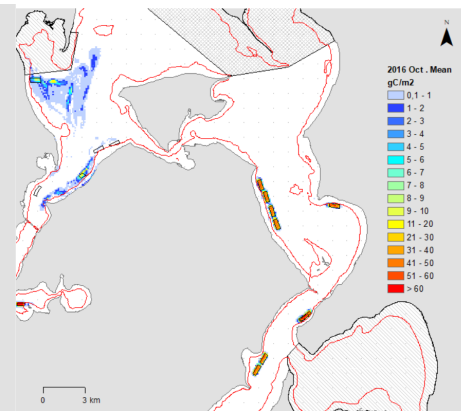
2014 Okt – middel



2015 Okt – middel:

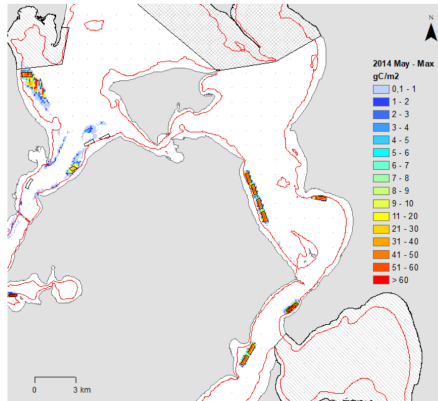


2016 Okt – middel

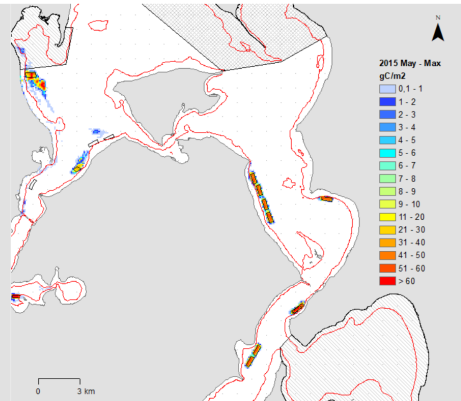


Løgstør/Skive MAX – Med resuspension.

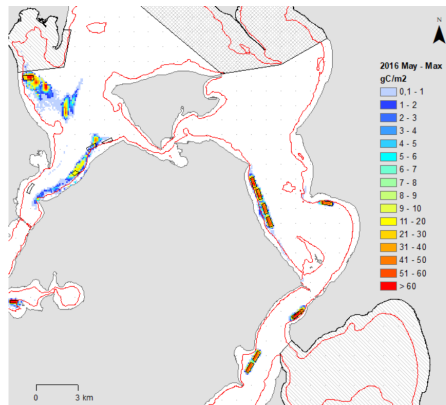
2014 Maj – max:



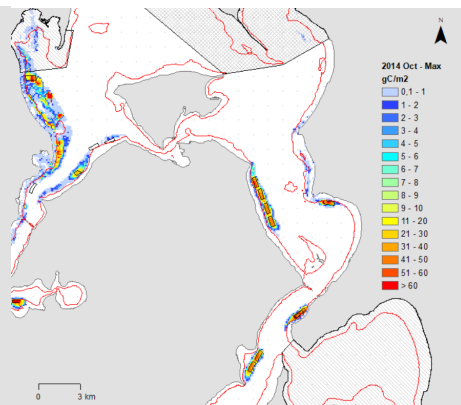
2015 Maj – max:



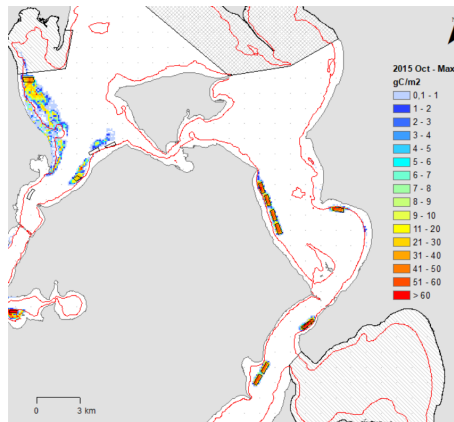
2016 Maj – max:



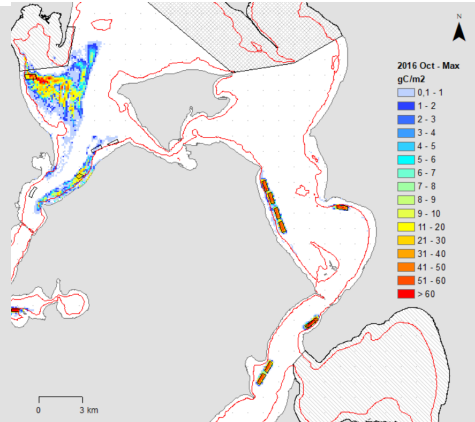
2014 Okt – max:



2015 Okt – max:

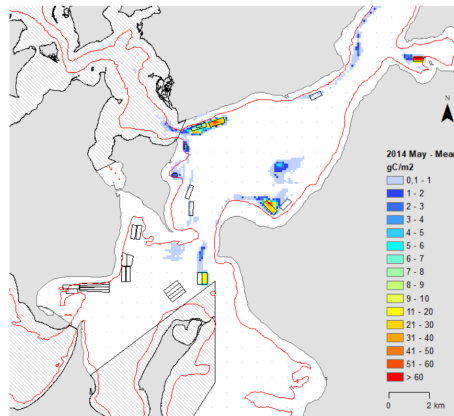


2016 Okt – max:

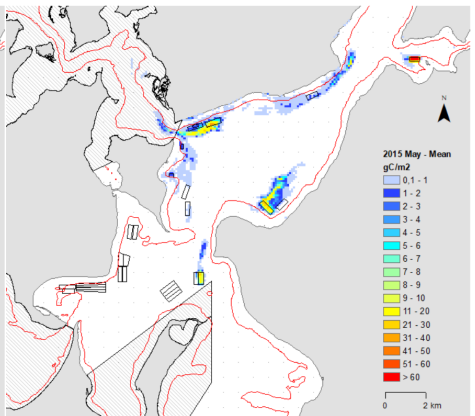


Kås – middel – Med resuspension.

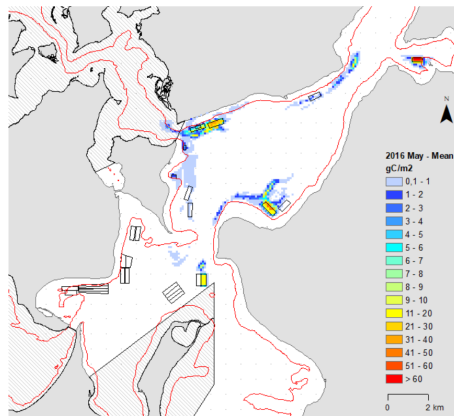
2014 Maj – middel:



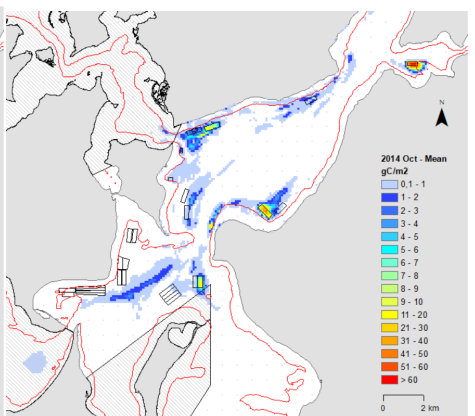
2015 Maj – middel:



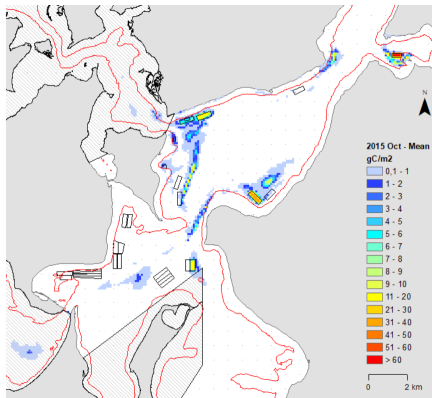
2016 Maj – middel:



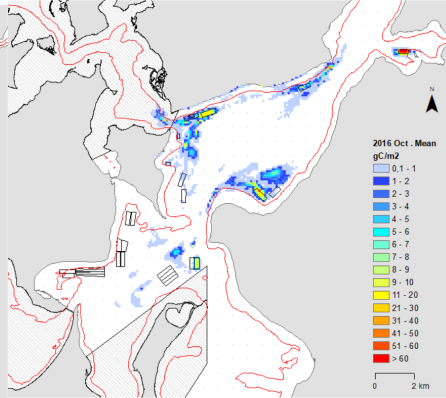
2014 Okt – middel:



2015 Okt – middel:

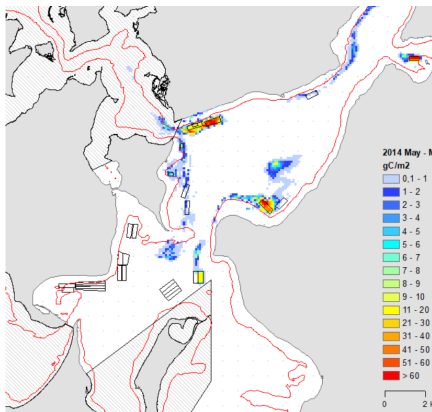


2016 Okt – middel:

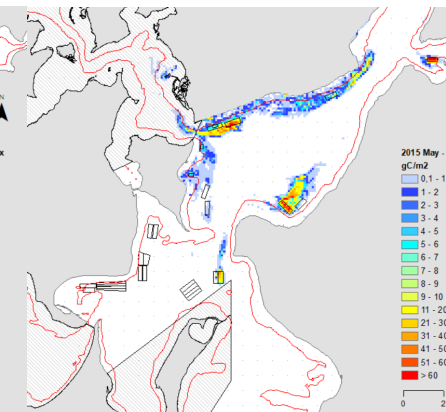


Kås – MAX – Med resuspension.

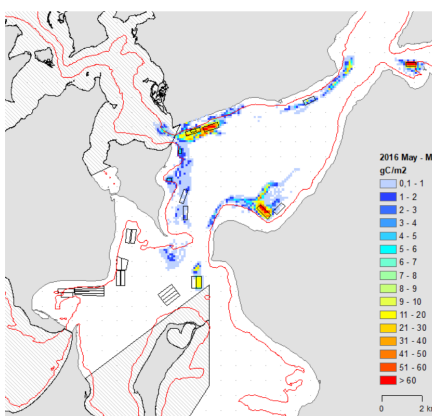
2014 Maj – max:



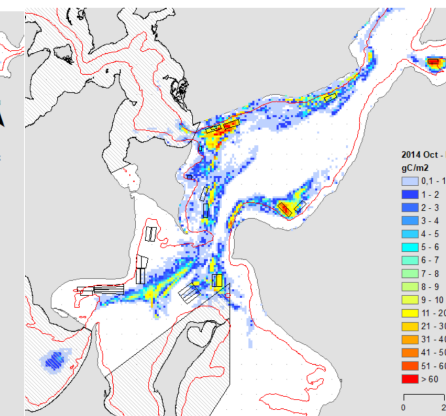
2015 Maj – max:



2016 Maj – max:

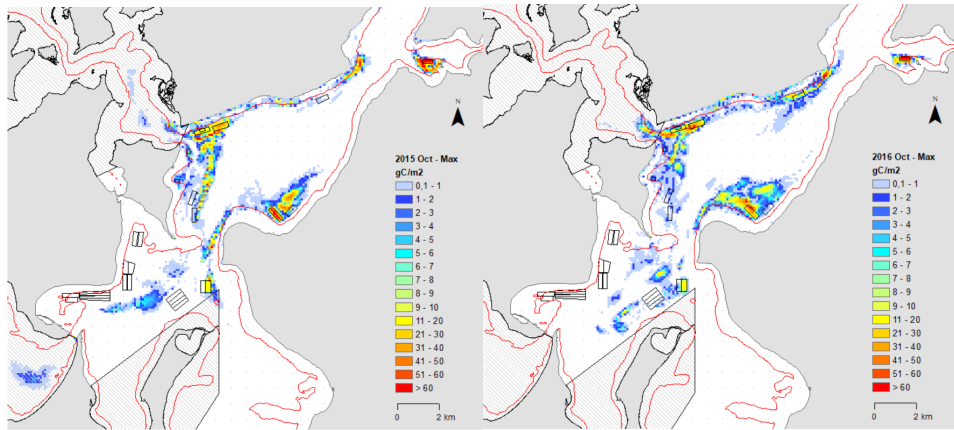


2014 Okt – max:



2015 Okt – max:

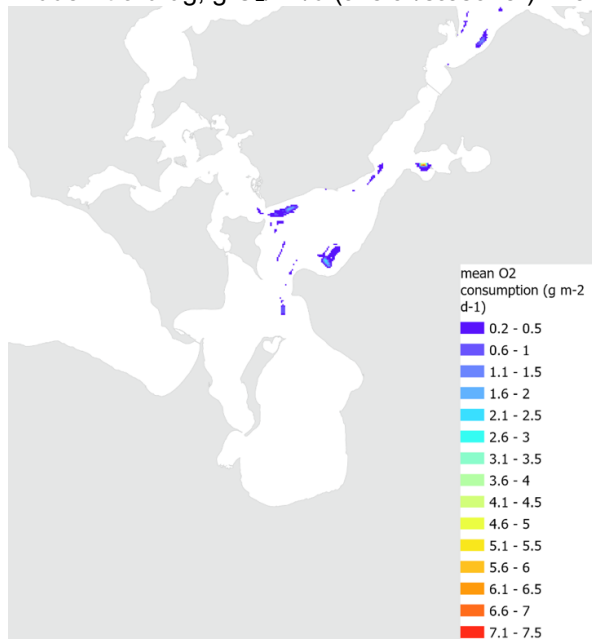
2016 Okt – max:



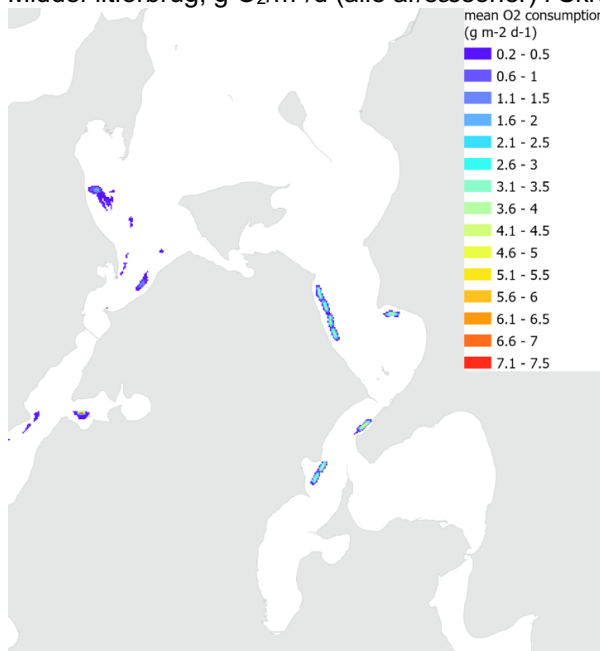
Bilag 4 – Beregninger af iltforbrug og iltreduktion i vandsøjlen

Iltforbrug ($\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{d}$) og iltsvind ($\text{mg O}_2/\text{l}$) beregnet ud fra simulerede kumulerede musling fækalier (Bilag 3).

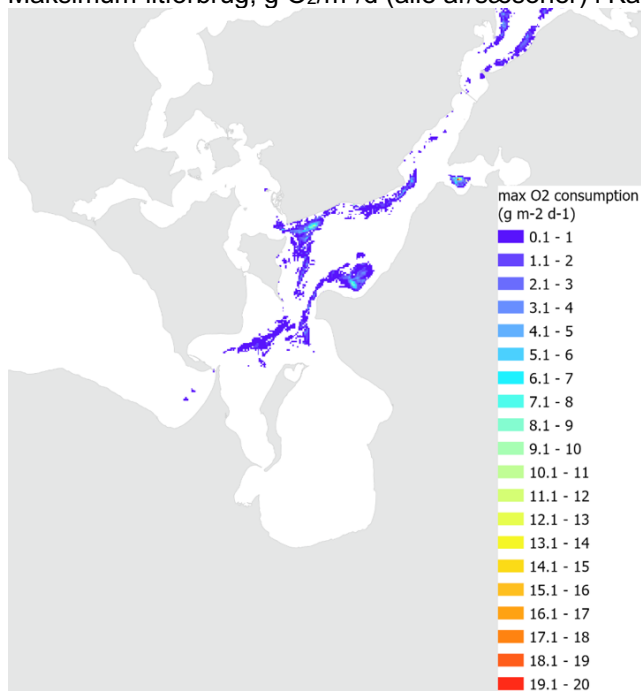
Middel iltforbrug, $\text{g O}_2/\text{m}^2/\text{d}$ (alle år/sæsoner) i Kås Bredning, og Salling Sund:



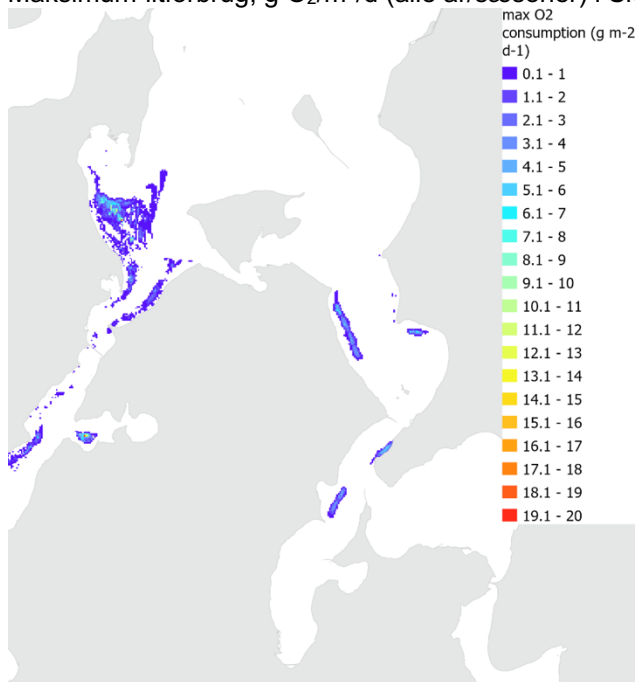
Middel-iltforbrug, g O₂/m²/d (alle år/sæsoner) i Skive Fjord:



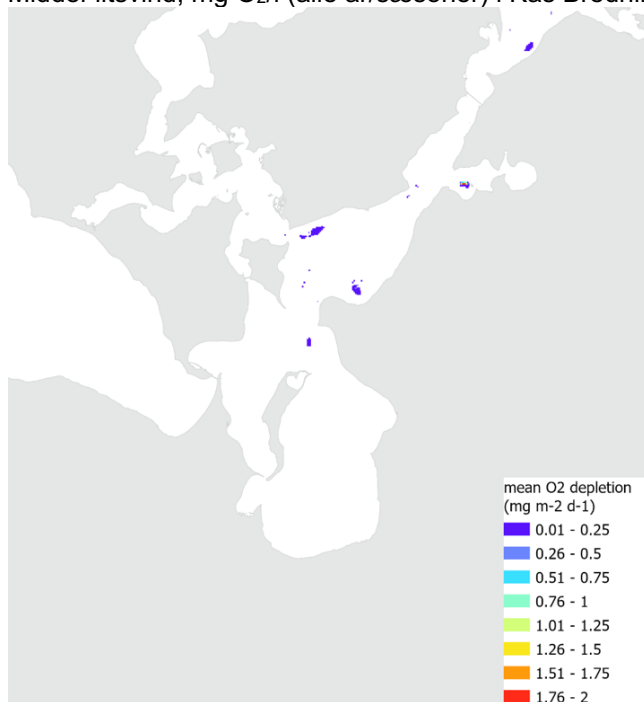
Maksimum-iltforbrug, g O₂/m²/d (alle år/sæsoner) i Kås Bredning, og Salling Sund:



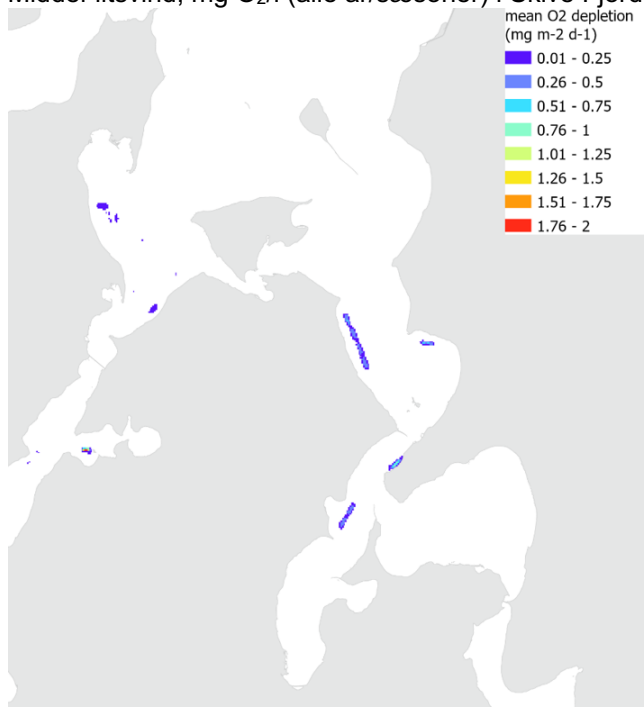
Maksimum-iltforbrug, g O₂/m²/d (alle år/sæsoner) i Skive Fjord:



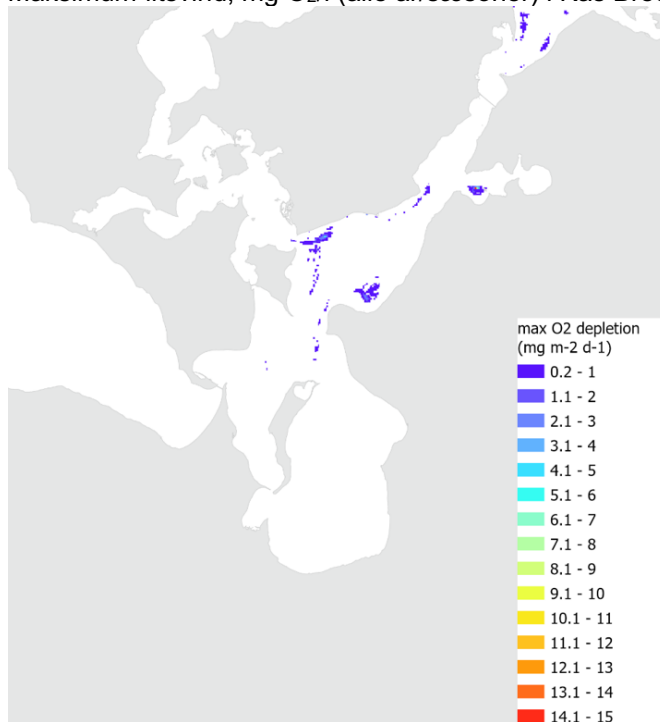
Middel-iltsvind, mg O₂/l (alle år/sæsoner) i Kås Bredning og Salling Sund:



Middel-iltsvind, mg O₂/l (alle år/sæsoner) i Skive Fjord:



Maksimum-iltsvind, mg O₂/l (alle år/sæsoner) i Kås Bredning og Salling Sund:



Maksimum-iltsvind, mg-O₂/l (alle år/sæsoner) i Skive Fjord:

