

# Kulturbankeprojekt med udlægning af blåmuslinger produceret på langline



## DTU Aqua-rapport nr. 273-2013

Af Per Dolmer, Helle Torp Christensen,  
Mads Christoffersen, Flemming Thorbjørn  
Hansen, Flemming Møhlenberg, Dennis  
Lisbjerg, Bjarne Stage, Anja Landes, Pernille  
Nielsen og Ditte Tørring

# Kulturbankeprojekt med udlægning af blåmuslinger produceret på langline

## DTU Aqua-rapport nr. 273-2013

Af Per Dolmer, Helle Torp Christensen, Mads Christoffersen, Flemming Thorbjørn Hansen (DHI), Flemming Møhlenberg (DHI), Dennis Lisbjerg, Bjarne Stage, Anja Landes, Pernille Nielsen (KU) og Ditte Tørring

Danmark og EU investerer i bæredygtigt fiskeri og akvakultur

Projektet er støttet af Fødevareministeriet og EU

Ministeriet for Fødevarer,  
Landbrug og Fiskeri



Den  
Europæiske  
Fiskerifond

## RESUMÉ

DTU Aqua har sammen med DSC, DHI, Wittrup Seafood A/S og Dansk Akvakultur gennemført et projekt, hvor muslinge yngel produceret i vandsøjlen er udlagt i kulturbanke i As Vig, øst for Horsens Fjord. I den oprindelige projektplan indgik, at muslinge yngelen skulle produceres i Horsens Fjord på SmartFarm-systemer, men pga. isskader på anlæg var dette ikke muligt. I maj 2011 blev 75 tons kompensationsopdrættede muslinger fra Skive Fjord udlagt i et 300x100 m stort område på 10-11 meters vanddybde i en tæthed på 2,5 kg m<sup>-2</sup>. I forbindelse med afhøstning af muslingerne i Skive Fjord, transport til Horsens Fjord og udlægning blev stressniveau og andelen af muslinger, der havde skalskader eller var knuste undersøgt. Opbevaringen af muslingerne på afhøstningsfartøj i Skive Fjord medførte ikke et øget stressniveau, hvorimod transport på lastbil og omlastning til udlægningsfartøj medførte en mindre øgning i stressniveau. Prøvetagning af muslinger ombord på afhøstningsfartøj viste at, af de muslinger der var afhøstet først havde 7,4 % skalskader, hvorimod kun 1,4, af de sidst afhøstede muslinger havde skalskader. Efter transport til kulturbanke var andelen af skadede muslinger 2,8 % for muslinger indsamlet øverst i de bigbags, der blev anvendt til transport, og det tilsvarende tal var 10-11 % for muslinger indsamlet nederst i bigbags. For muslinger opbevaret nederst i bigbags er der kun to målinger, så denne værdi er forholdsvis usikker.

Udlægningsmetodik af blåmuslinge yngel i kulturbanke var ikke hensigtsmæssig, og side scan undersøgelse af kulturbanken efter udlægning viste en meget klumpet fordeling. Der blev frem til september 2011 observeret en stor dødelighed af muslinger, som antages at skyldes en kombination af effekter fra fødemangel og prædation fra specielt edderfugl. Fra september 2011 til juni 2012 skete der kun en lille reduktion i biomassen. Forholdet mellem udlagt biomasse og produktion (P/B) var -0,4 til -0,8. Væksten af muslingerne var forholdsvis langsom med specifikke vækstrater på 12 % mdr<sup>-1</sup> i sommerperioden 2011 og 5 % mdr<sup>-1</sup> over et år. Muslingerne i kulturbanken oprettede et højt kødindhold, både målt som tørvægt af kød, kødprocent og konditionsindeks. I juni 2012 var kødprocenten i kulturbanken på 32 %, hvilket er betydeligt over de 20 %, som Wittrup Seafood har som minimum for muslinger, inden et fiskeri igangsættes. Kødprocenten var ligeledes højere end for muslinger i en naturlig muslinge banke lige syd for kulturbanken. De udlagte blåmuslinger viste fra maj til september 2011 en signifikant øgning i både skalvægt, relativ skaltykkelse og skaldensitet. Således øges den relative skaltykkelse med 65 % over sommeren 2011. I juni 2012 er den relative skaltykkelse 16 % mindre end skaltykkelsen af muslinger i den naturlige muslinge banke. På baggrund af muslingernes høje kødindhold og kapacitet til at danne en tyk skal, vurderes muslingerne at have en høj kvalitet i forhold til en kommerciel udnyttelse. Det er således et produkt, der inkluderer de bedste karakterer fra bund- og linemuslinger i forhold til forarbejdningsmulighed og produktkvalitet. En øgning af muslingernes overlevelse i forhold til forbedret udlægningspraksis og kontrol af prædation anses som værende afgørende i forhold til at skabe en økonomisk bæredygtig produktion.

I forbindelse med projektet er der opstillet en model for de biologiske produktionsforhold i As Vig området i det sydvestlige Kattegat, herunder kortlægning af de optimale områder for muslinge produktion generelt, samt en analyse af betydningen af udlægningstæthed af muslinger for muslinge produktionen. Der anvendes en model, der er opbygget af en hydrodynamisk model og en økologisk model. Til modelarbejdet anvendes data fra 2011 og første halvår 2012, samt data for muslingers tilvækst, som er indsamlet under projektet. På baggrund af modelanalyser anbefales det, at udlægningstætheden af muslinger i området ikke overskrider 400 individer m<sup>-2</sup>. Kortlægning af

muslingeproduktionspotentialiet i sydvestlige Kattegat viser, at området ved As Vig ikke er optimalt hvad angår muslingernes fødegrundlag. Fødegrundlaget kan øges med ca. 50 % ved at placere kulturbanken på bedre lokaliteter f.eks. nord for Endelave, i det nordlige Lillebælt og på andre mindre lokaliteter i det sydvestlige Kattegat. Endelig bemærkes, at kulturbankedyrkning i områder væsentligt større end den modellerede banke kan give problemer med et for højt iltforbrug af bundkulturen.

I november 2012 er der gennemført en undersøgelse af område i Horsens Fjord udlagt som kulturbanke med en dybde på 4-5 meters dybde. Der er gennemført 14 punktdyk med dykkerobservationer og billedoptagelse, og der er gennemført en side scan kortlægning af området. Der er ikke observeret ålegræs i området.

I forbindelse med projektet er projektets resultater formidlet til Fødevareministeriet og Miljøministeriet i forhold til tilladelsesgivning til omplantning af muslinger fra Skive Fjord til As Vig og i forbindelse med afklaring af de forvaltningsmæssige udfordringer i anvendelsen af opdrættede muslinger som kompensationsmuslinger ved havbrug til bundkultur. Der er afholdt møder med lokale kommuner for at orientere om projektet, og der er holdt en række følgegruppemøder.

## INDHOLDSFORTEGNELSE

<b>Resumé</b>	<b>2</b>
<b>Indholdsfortegnelse</b>	<b>4</b>
<b>Formål</b>	<b>6</b>
<b>Baggrund</b>	<b>7</b>
<b>Del 1 Påvirkning af muslingekvalitet ved afhøstning af yngel fra liner og ved transport til kulturbanke</b>	<b>9</b>
<b>Indledning</b>	<b>9</b>
<b>Metode</b>	<b>9</b>
<b>Resultater - stresspåvirkning af transport</b>	<b>10</b>
<b>Del 2 Kulturbankedyrkning i As Vig</b>	<b>11</b>
<b>Indledning</b>	<b>11</b>
<b>Metoder</b>	<b>11</b>
Udlægningspraksis	11
Biomasse	12
Kødprocent	12
Skallængde	12
Specifik vækst	13
Konditionsindeks	13
Skalvægt	13
Skaldensitet	13
Skaltykkelse	13
<b>Resultater</b>	<b>13</b>
Udlægningspraksis	13
Biomasse	14
Kødprocent	15
Skallængde	16
Specifik vækstrate	17
Køddindhold relativt til skallængden	18
Konditionsindeks	18
Skalvægt relativt til skallængden	19
Relativ skalvægt	20
Relativ skaltykkelse	21
Skaldensitet (skal-askevægt/skal-overfladeareal)	22
Betydning af selektiv prædation på målte ændringer i skalvægt	22
<b>Diskussion</b>	<b>23</b>
<b>Del 3 3D-modellering af kulturbankeområder</b>	<b>25</b>
<b>Del 4 Analyse af ålegræsudbredelse i kulturbanke i Horsens Fjord</b>	<b>26</b>
<b>Del 5 Formidling af projektet</b>	<b>29</b>
<b>Referencer</b>	<b>30</b>
<b>Bilag 1. Modellering og kortlægning af kulturbankeområder. Rapport af DHI</b>	<b>30</b>

## FORMÅL

Projektets formål var, at optimere et produktionskoncept, hvor blåmuslingeeyngel opdrættes i vand-søjlen, afhøstes og udlægges i bundkultur med henblik på senere afhøstning som konsummuslinger. Grundet logistiske problemstillinger med isvintre, der ødelagde de påtænkte linedyrkningsfaciliteter, blev projektet ændret, således at den manglende adgang til linemuslinger i nærområdet blev løst ved at udlægge 75 tons kompensationsopdrættede linemuslinger fra Skive Fjord i kulturbanke i As Vig øst for Hordens Fjord.

Projektets delmål var, at:

1. Dokumentere optimal afhøstnings- og udlægningstidspunkt.
2. Undersøge om størrelsessortering inden udlægning kan forbedre slutprodukt.
3. Dokumentere vækst og overlevelse af udlagte muslinger som funktion af udlægningstæthed.
4. Sammenligning af linemuslingers produktionspotentiale i bundkultur i forhold til ved omplantning af bundmuslinger.
5. Opstille 3D-model for biologiske produktionsforhold i område ved jyske østkyst og gennemføre en kortlægning af optimale områder for kulturbankedyrkning.
6. Analysere forvaltning og driftsøkonomiske perspektiver for produktionskoncept.

Pga. den manglende adgang til linemuslinger blev delmål 1-3 modificerede, således at der i øget omfang fokuseredes på kvalitet af bundkulturmuslinger. Kvaliteten blev bestemt i forbindelse med undersøgelse af muslingernes robusthed over for afhøstning og flytning, mængden af opbygget kød, og i forhold til tykkelse af skal. Delmål 4 blev opfyldt ved at sammenligne lineopdrættede muslinger i bundkultur med vilde bundmuslinger i As Vig. Delmål 5 blev gennemført som planlagt. Pga. den begrænsede skala af kulturbanken blev der ikke gennemført driftsøkonomiske vurderinger og for delmål 6 blev der primært fokuseret på en forvaltningsmæssig afklaring af mulighed for at anvende kompensationsopdrættede muslinger til bundkultur. Afklaringen skete gennem inddragelse af Fødevareministeriet, Miljøministeriet og relevante kommuner.

## BAGGRUND

Kommerciel produktion af blåmuslinger har en række udfordringer, hvis løsning fordrer en målrettet udviklingsindsats. Krav til naturbeskyttelse, herunder forvaltningen af Natura 2000 og Vandrammedirektiver, begrænser mulighederne for en udnyttelse af de naturligt forekommende bestande af blåmuslinger i mange områder. En reduktion af udledning og koncentration af næringsalte i indre danske fjorde kan over en årrække forventes at reducere fiskeriet af muslinger yderligere. Natur- og Landbrugskommissionen har i april 2013 anbefalet, at der sker en udvikling af supplerende virkemidler. Produktion af muslinger med henblik på næringsstoffjernelse er i anbefalingerne foreslået som supplerende virkemiddel. Anvendelse af muslingeopdræt til fjernelse af næringsstoffer fra havbrug eller som virkemiddel i Vandmiljøplanen giver adgang til en stor mængde små, tyndskallede blåmuslinger, der potentielt kan anvendes som yngel til bundkulturdyrkning. En helhedsorienteret tankegang i forhold til muslingefiskeriets udfordringer og anvendelse af muslingeopdræt til næringsstoffjernelse kan umiddelbart identificere udviklingen af nye areal-intensive produktionsformer, som dyrkning af muslinger på langliner eller i kulturbanker, eller som i dette projekt viderydning af linemuslinger i bundkultur. Laboratorie- og felt eksperimenter har indikeret, at blåmuslinger dyrket på langliner kan anvendes til bundkultur (Kamermans et al. 2002, 2009, Christensen et al. 2012), og at dyrkning af blåmuslinger i bundkultur kan reducere det areal, der samlet set påvirkes i forhold til skrabning af naturlige bestande (Dolmer et al 2012), dog under forudsætning af, at udlægningstæthed af yngel og produktionshastighed optimeres.

En anden udfordring i forbindelse med produktion af muslinger er en stigende konkurrence fra bl.a. chilenske producenter af kogte muslinger. En udviklingsstrategi for dansk muslingeproduktion er en øget fokusering på produktion af konsummuslinger, hvor konkurrencen ikke er global, men begrænset til europæiske producenter. En vigtig konkurrenceparameter i dette marked er kvalitet og leveringskontinuitet.

Dette projekt er gennemført i samarbejde med Wittrup Seafood A/S og Hjarnø Havbrug, der de senere år arbejdet med udviklingen af produktion af muslinger på et norsk system Smart Farm eller det tilsvarende system Easyfarm. Systemet består af lange plastrør, der bruges til opdrift, og hvor-



**Figur 1 Smartfarm-system med PVC-rør, der holder opdrætssystemet flydende. På røret er monteret grovmasket net, hvorpå blåmuslinger etablerer sig.**

under der holdes et 2-3 meter dybt net med grove masker. Nettet opsamler muslinge yngel, og muslingerne vokser på nettet til tætte kulturer. Muslingekulturerne kan udtyndes eller afhøstes med et særligt afhøstningsaggregat. Produktionssystemet er kostbart at etablere, men selve driften kan forventes at give en stor mængde produceret muslinger per investeret arbejdstime. I forhold til at sikre en optimal produktion kan udlægning af muslingerne i bundkultur være attraktivt.

Der er fire grunde til dette. 1) Anvendelsen af Smart Farm-systemet kan optimeres i forhold til årlig yngelopsamling. Muslingerne kan ikke forventes at opnå afsætningsstørrelsen på mindre end et år. Dvs. hvis anlægget skal drives effektivt og årligt anvendes til opsamling af yngel, skal muslingerne afhøstes senest om foråret inden nysetling af larver, og herefter udlægges i kulturbanker. 2) Afhøstes muslingerne ikke inden nysetling, kan der kun ske en setling på den etårige muslingekultur, og flere størrelsesgrupper vil forekomme i kulturen. Dette vil kræve et sorteringsarbejde ved afhøstning og vil dermed fordyre processeringen af muslingerne. 3) Opdræt af muslinger i vandsøjlen producerer tyndskallede muslinger. En større andel af disse muslinger vil blive skadede under forarbejdning. Udlægning af muslingerne i bundkultur vil bremse væksthastigheden, og muslingerne vil udvikle mere skal, der kan mindske tab ved forarbejdning. 4) produktion af muslinger langs den jyske østkyst medfører ofte store tab pga. prædation fra edderfugl. Edderfuglene forekommer som trækfugl i vinterperioden og vil kunne æde store forekomster af muslinger fra langliner. Edderfugl er i området en hyppig gæst og edderfuglen foretrækker at dykke efter muslinger på lavere vanddybde end 7 m, men kan dog dykke betydelig dybere. Udlægning af muslinger i større vanddybde end 7 m kan muligvis reducere tabsrater af muslinger pga. fugleprædation. Projektet løfter således en problemstilling, der er specifik for produktionsforhold på den jyske østkyst. Ved prædation af muslinger fra langliner, vil edderfugle afrive flere muslinger fra linekulturen, end de æder, og der vil ske et tab af muslinger til bunden. Dette tab ved afrivning af muslinger vil ved prædation fra bundkultur i stort omfang forblive i bundkulturen, og vil ikke have økonomisk betydning

Nærværende afrapportering består af fem dele. Første del er en beskrivelse af en stress undersøgelse, der er gennemført af blåmuslingerne i forbindelse med afhøstning, flytning og udlægning i bundkultur i maj 2011. Undersøgelserne er gennemført af DTU Aqua og DSC. Anden del består af en afrapportering af de undersøgelser af biomasse, vækst og kvalitet af de muslinger, der er udlagt i bundkultur i maj 2011 og frem til juni 2012. Undersøgelserne er gennemført af DTU Aqua. Tredje del omhandler en modellering af områder på østkysten af Jylland med henblik på at identificere områder, der er egnede til bundkultur. Analysen er gennemført af DHI på baggrund af de data fra produktion af muslinger i kulturbanke indsamlet af DTU Aqua.. Fjerde del beskriveren ålegræsundersøgelser, der er gennemført i december 2012 i et område i Horsens Fjord, hvor der er udlagt til kulturbanke. Undersøgelsen er gennemført af DTU Aqua. Femte del beskriver det arbejde, der er gennemført i forhold til at afklare de forvaltningsmæssige forhold, der er gældende for anvendelse af kompensationsopdrættede muslinger til bundkultur. Endvidere beskrives de formidlingsaktiviteter, der er gennemført i forbindelse med projektet i forhold til møder med følgegruppe, erhvervsinteresser, lokale kommuner og ministerier samt præsentationer på større møder.



## DEL 1 PÅVIRKNING AF MUSLINGEKVALITET VED AFHØSTNING AF YNGEL FRA LINER OG VED TRANSPORT TIL KULTURBANKE

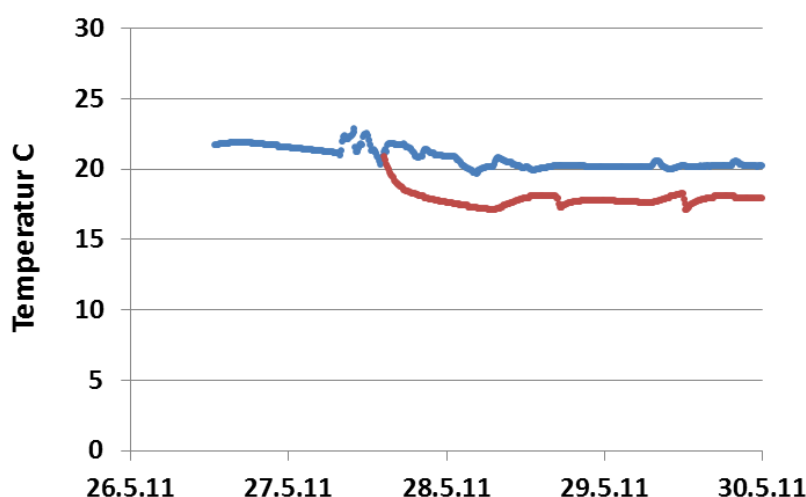
### Indledning

I forbindelse med høst og transport af linemuslinger vil disse blive fysisk påvirkede. Stresstilstanden kan have betydning for, hvor godt muslingerne klarer sig efter udlægning både i forhold til overlevelse og evne til at etablere en bankestruktur, der er robust i forhold til prædation fra søstjerner og edderfugle. Endvidere kan stresstilstand have betydning for, hvor hurtigt muslingerne genoptager filtration og vækst.

### Metode

Stresspåvirkning af afhøstning og transport blev målt som overlevelse af muslinger som funktion af tid, og blev testet ved SOS overlevelsestest -stress on stress test (Hamer et al 2008). Under afhøstningen blev muslingerne overført til 2 m<sup>2</sup> bigbags, som ved landing blev hejst op i container for transport på lastbil. Herefter blev muslingerne kørt fra Hvalpsund til Snaptun, hvor bigbags med muslinger blev overført fra container til udlægningsfartøjets last. Muslingerne blev sejlet ud til kulturbanken, og de enkelte bigbags blev hejst op, der blev skåret et hul i bunden, og muslingerne blev drysset ud. Under afhøstning og under udlægning i kulturbanke blev der taget prøver til bestemmelse af stress. I forbindelse med afhøstning af 5 landinger er der taget 4 prøver fra 3. og sidste sæk, inden muslingerne blev bragt i land. I forbindelse med udlægning i kulturbanke blev der taget prøver fra toppen af sæk (n=5) og fra bunden af sæk (n=2). Dødeligheden af muslingerne blev målt ved at placere 50 muslinger (30 mm) i en plastikboks med 100 % fugtighed og konstant temperatur (Fig. 2). Antallet af døde muslinger blev registreret dagligt. Muslinger der var åbne og ikke reagerede ved forstyrrelse (forsigtigt slag med blyant eller lign.) blev noteret som døde (Hamer et al 2008).

I forbindelse med udtagning af prøver (ca. 0,8 til 3,0 kg) blev skalstørrelserne registreret, og det blev registreret om muslingerne havde synlige skalskader, såsom skalbrud eller decideret skalknusning.

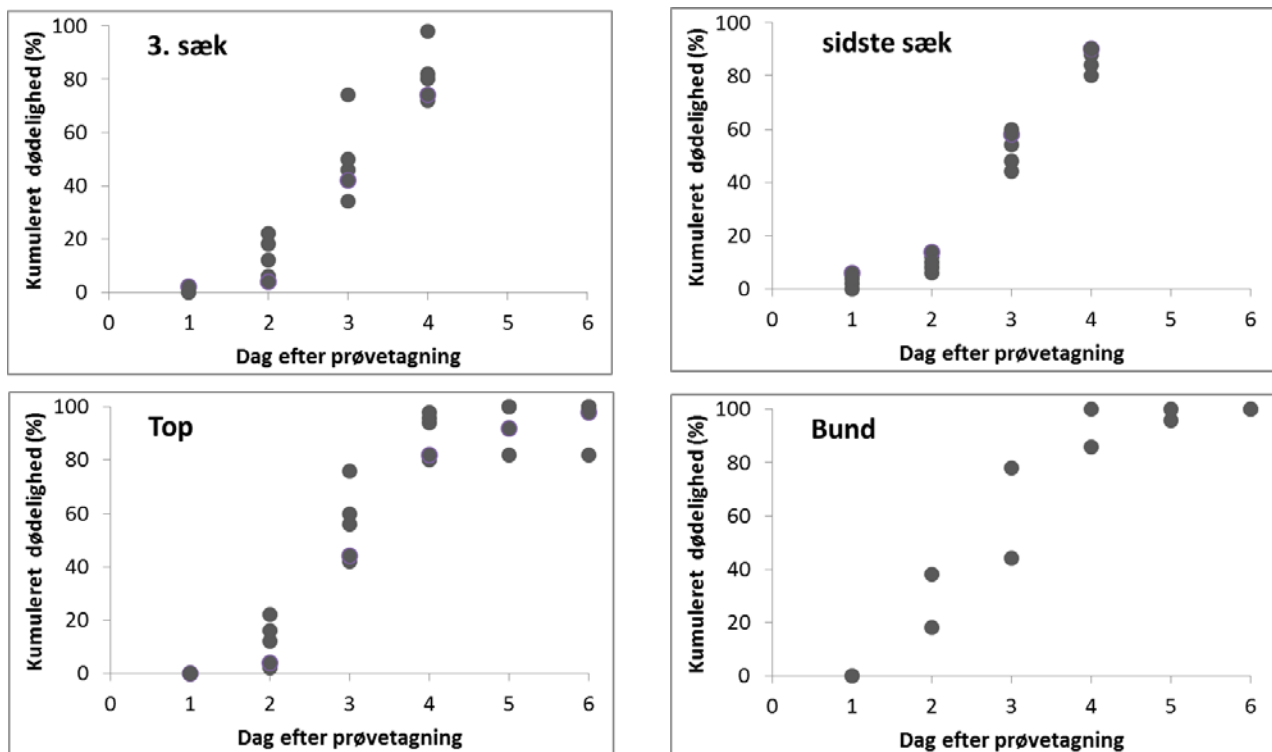


Figur 2 Temperaturmålinger i forbindelse med stresstest af afhøstning (blå kurve: 20-22 °C) og inden udlægning i kulturbanke (rød kurve: 17-18 °C). Temperaturen er målt hvert 10 minut i forsøgsopstilling.

## Resultater - stresspåvirkning af transport

Muslinger indsamlet fra henholdsvis 3. og sidste sæk under afhøstningen i Skive Fjord havde efter 3 dage en kumuleret dødelighed på 49 % og 53 % og havde således stort set det samme stressniveau efter afhøstning. Efter en transport fra Hvalpsund til As vig med lastbil og med omlastning af sække til udlægningsfartøj var den kumulerede dødelighed steget til 56 og 61 % efter tre dage. Ophold af muslingerne på afhøstningsfartøj i Skive Fjord medførte således ikke et øget stressniveau, hvorimod transport på lastbil og omlastning til udlægningsfartøj medførte en mindre øgning i stressniveau.

En analyse af forekomst af muslinger med skalskader viste, at for prøvetagningerne af muslinger under afhøstning var det  $7,4 \pm 2,1$  % (gennemsnit  $\pm$  2.S.E.) af muslingerne fra den 3. sæk, der havde ødelagt skal, hvorimod den tilsvarende andel fra de sidst høstede muslinger var  $1,4 \pm 0,8$  %. En t-test viste, at der var signifikant forskel i antallet af skadede muslinger i 3. og sidste sæk ( $p < 0.001$ ). Efter transport til Kulturbanke var andelen af skadede muslinger øverst i sækkene  $2,8 \pm 2,7$  %. For muslingerne nederst i sækkene er der kun to måling, der viser at 10,3 og 10,8 % af muslingerne er ødelagte ved udlægning.



Figur 3 Stresstest af muslinger i forbindelse med afhøstning af transport til omplantningsbank af muslinger udtaget under afhøstning af langliner i Skive Fjord. De øverste figurer viser resultater af muslinger indsamlet på afhøstningsfartøj som 3. sæk, og hvor muslingerne derfor har lang opholdstid på fartøjet, og for muslinger der er indsamlet fra sidste sæk, og med kort opholdstid på afhøstningsfartøjet. De to nederste figurer viser resultaterne af stresstest af muslinger indsamlet fra udlægningsfartøj i forbindelse med udlægning i As Vig. Muslingerne er indsamlet henholdsvis fra toppen af sækkene og fra bunden af sækkene.

## DEL 2 KULTURBANKEDYRKNING I AS VIG

### Indledning

Anvendelse af linemuslinger til bundkultur har potentielt nogle fordele i forhold til disse muslingers evne til hurtigt at danne bankestrukturer, der gør populationen mere robust over for prædation (Christensen et al. 2012), men omvendt kan muslingernes tynde skaller gøre dem mindre modstandsdygtige over for prædation fra strandkrabbe, søstjerner og edderfugl.

Den hollandske muslingeproduktion gennemfører i disse år en omstilling fra kulturbankedyrkning med muslinge yngel fisket med skraber, til anvendelse af yngel opsamlet i vandsøjlen. Dyrkning af blåmuslinger i bundkultur har tidligere været og er i dag delvist baseret på opfiskning af yngel i den hollandske del af vadehavet. Efter opfiskning er muslingerne udlagt i afgrænsede bundkulturer, hvor bestanden plejes. De hollandske muslingeproducenter har sammen med de grønne organisationer og forvaltningssystemet vedtaget en strategi, hvor opfiskningen af vilde muslinger i Vadehavet udfases frem til 2020 og erstattes med yngel til bundkultur opsamlet på flydende systemer, herunder Smartfarm og Easyfarm. Der er gennemført undersøgelser af denne yngels overlevelse i forhold til prædation, men ikke af kvaliteten af de producerede muslinger.

Blåmuslinger produceret på langlinesystemer har god adgang til føde, og er ikke i samme omfang som bundmuslingerne fødebegrænsede. Af samme årsag er kødindholdet i linemuslinger som udgangspunkt også betydeligt højere end for muslinger dyrket på bunden. At skaltykkelsen på linemuslinger er mindre end for bundmuslinger forklarer kun en lille del af den forskel i kødindhold, der oftest ses.

I dette afsnit ses på ændringen i biomassen i den udlagte bundkultur. Endvidere ses på ændring i kødindhold og skaltykkelse for den enkelte musling som et mål for muslingens kommercielle værdi.

### Metoder

Wittrup Seafood A/S har tilladelse til kulturbankedyrkning i As Vig inden for koordinaterne:

55.47,537 N 10.03,644 Ø

55.47,018 N 10.02,974 Ø

55.46,804 N 10.03,792 Ø

55.47,331 N 10.04,420 Ø

I maj 2011 blev der gennemført etablering af kulturbanke i et område på 300x100 m i den nordlige del af området, der er givet tilladelse til. Hjørne koordinaterne for den etablerede muslingebanke var:

55 47,330 N 10 04,000 Ø

55 47,258 N 10 04,258 Ø

55 47,214 N 10 04,203 Ø

55 47,284 N 10 03,949 Ø

Kulturbanken blev etableret på 10-11 m vanddybde.

### Udlægningspraksis

Der blev udlagt 75 tons blåmuslinger i kulturbanke i As Vig sidst i maj måned 2011. Kulturbanken blev etableret med udlægning af linemuslinger fra Skive Fjord, produceret i forbindelse med projektet MUMIHUS. Muslingerne var produceret som kompensationsopdræt, hvor formålet var at produ-

cere og afhøste størst mulig biomasse, med henblik på at fjerne næringsstoffer fra det marine miljø. Produktion af muslinger i kompensationsopdræt kan forventes at give mindre muslinger med en større størrelsesvariation, fordi biomassen i systemet er øget betydeligt (op til 100 %).

Efter afhøstning og transport af muslingerne i bigbags til Snaptun, blev de udlagt fra muslingefartøj (HO2) med en forventet udlægningstæthed på 2,5 kg/m<sup>2</sup>. Pga. manglende mulighed for at pumpe muslingerne fra ventiler i siden af fartøjet, blev bigbags med muslingerne hejst ud over rælingen, mens fartøjet var i fart, og et mindre hul blev skåret i bunden, således at muslingerne blev drysset ud. Rent teknisk var dette dog en vanskelig operation, og en del bigbags blev tømt ukontrolleret.

Inden udlægningen og 14 dage efter udlægningen blev der gennemført side scan af kulturbanken med henblik på at beskrive udlægningsmønsteret. Side scan optagelserne blev optaget med DTU's fartøj Havmusen og ved hjælp af Humminbird 1198c SI Combo, optaget med 455 kHz og en rækkevidde på 80 meter. Optagelserne blev samlet til et overfladekort.

Der blev indsamlet prøver til bestemmelse af biomasse, størrelsesfordeling, kødmængde og skaltykkelse henholdsvis 2, 3, 4, 6 og 13 måneder efter etableringen af kulturbanke. I juli og september 2011 samt i januar og juni 2012 blev indsamlingerne gennemført med let muslingeskraber, hvor effektiviteten blev sat til 0,66 (Eigaard et al 2011). I august blev indsamlingerne gennemført med dykker på 5 stationer. På hver station blev der indsamlet muslinger i 7-42 cirkler af 0,25 m<sup>2</sup>. Ringprøverne blev indsamlet tilfældigt fordelt, og indsamlingen blev gennemført indtil der var fundet muslinger i 7 prøver.

I juni 2012 blev der gennemført 3 forsøgsskrab på naturlig muslingebanke syd for kulturbanken. Positionen for prøvetagningen var 55 46.648 N 10 02.979 Ø.

### ***Biomasse***

Biomassen for blåmuslinger i kulturbanken i As Vig blev beregnet ud fra den udlagte mængde (75 tons) og udlægningsareal (100x300 m), hvilket giver en udlægningstæthed på 2,5 kg m<sup>2</sup>, svarende til ca. 600 muslinger m<sup>-2</sup>. Biomassen i august blev beregnet ud fra dykkerindsamlinger på 5 stationer, og biomassen på resterende indsamlingstidspunkter blev beregnet ud fra forsøgsskrab med let muslingeskraber med kendt effektivitet. På baggrund af ændringerne kan forholdet mellem udlagt biomasse og produktion (P/B) beregnes ud fra den udlagte biomasse i maj 2011 og biomasse i juni 2012, samt for perioden august 2011 til juni 2012.

### ***Kødprocent***

Mængden af kød i muslingerne blev bestemt af Wittrup Seafood A/S med industriens standartmetoder, hvor ca. 1 kg muslinger koges under tryk og andelen af kød i forhold til muslingeprøvens total vægt af blåmuslinger beregnes. Kødprocenten blev beregnet i forbindelse med alle prøvetagninger, dog ikke i august 2011. Der blev taget en supplerende prøve i april 2012 af Wittrup Seafood A/S.

Kødprocenten af muslinger fra naturlig muslingebanke syd for kulturbanke blev bestemt i juni 2012.

### ***Skallængde***

Skallængden af muslinger fra alle indsamlede prøver er bestemt ved måling af den maksimale skallængde på 100-200 individer med elektronisk skydelære med en præcision på 0,1 mm.

### **Specifik vækst**

Tørvægten af 30 muslinger fra hvert forsøgsskrab blev bestemt ved tørring til konstant vægt (105°C, 24 timer). Længden af muslingerne blev bestemt inden tørring. Den specifikke vækst rate ( $\mu$ ) er bestemt som  $\mu = \ln(DW_{t_1}/DW_{t_0})$ , hvor  $DW_{t_0}$  er tørvægten ved udlægning og  $DW_{t_1}$  er tørvægten på tidspunkt for bestemmelse af specifik vækst rate.

### **Konditionsindeks**

Konditionsindekset (CI) er et udtryk for hvor meget kød muslingerne indeholder i forhold til skallens volumen og beregnes som  $CI = DW/L^3$ , hvor  $DW$  er tørvægten og  $L$  er skallængden. Konditionsindekset blev bestemt på muslinger indsamlet med forsøgsskrab fra kulturbanke og fra naturlig banke syd for kulturbanken.

### **Skalvægt**

Skalvægten blev bestemt for 30 muslinger fra hvert forsøgsskrab efter tørring til konstant vægt (105 °C, 24 timer). Skalvægten blev bestemt på muslinger indsamlet med forsøgsskrab fra kulturbanke og fra naturlig banke syd for kulturbanken.

### **Skaldensitet**

Skaldensitet blev bestemt fra 30 muslinger fra hvert forsøgsskrab fra kulturbanke og fra forsøgsskrab på naturlig muslingebanke. Indeks for skaldensitet er estimeret som:  $Skaldensitet = AW_{skal}/A$ , hvor  $AW_{skal}$  er skaltørvægten og  $A$  er skaloverfladearealet. Skaloverfladearealet ( $A$ ) kan beskrives som en cylinder og er bestemt som  $A = l \times \sqrt{h^2 + w^2} \times \frac{\pi}{2}$ , hvor  $l$  er skallængden (mm),  $h$  er skalhøjden (mm) og  $w$  er skalbredden (mm), målt på det bredeste sted (Reimer og Tedengren 1996).

### **Skaltykkelse**

Skaltykkelse blev bestemt fra 10 muslinger fra hvert forsøgsskrab fra kulturbanke og fra forsøgsskrab på naturlig muslingebanke. Skaltykkelsen blev bestemt med micrometer.

## **Resultater**

### **Udlægningspraksis**

Udlægningspraksis med udhængning af bigbags med muslinge yngel over rælingen på fartøjet var ikke hensigtsmæssig, idet en del af sækkene blev tømt forholdsvis hurtigt. Side scan af kulturbanken efter udlægning (Fig. 4) viser således, at fordelingen af muslinger er meget klumpet. Lokalt høje tætheder kan medføre fødebegrænsning og forhøjet dødelighed.

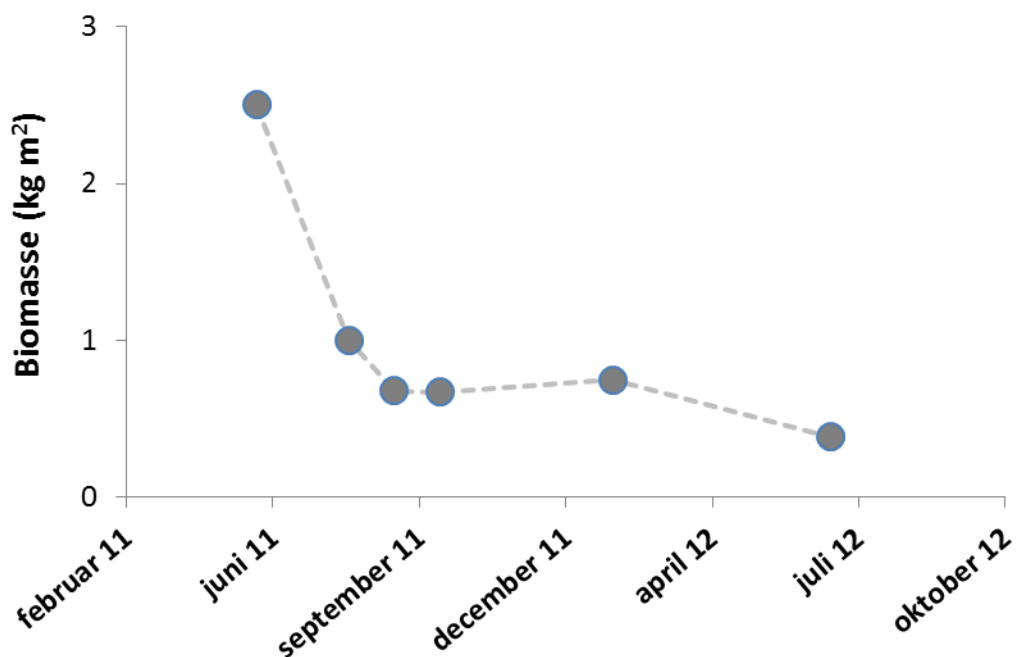


**Figur 4** Billedet til venstre: Kulturbanken blev etableret ved udlægning af blåmuslinger fra et lineopdræt i Skive Fjord. Bigbags med muslingerne blev løftet ud over siden på udlægningsfartøjet, og et hul blev skåret i bunden af sækken, med henblik på at sikre en kontrolleret udlægning fra det sejlen- de fartøj. Billedet til højre: Sidescan kortlægning af kulturbanken efter udlægning viste, at muslin- gerne var udlagt meget ujævnt. Dykkerobservationer i august 2011 viste, at der lokalt var tætheder på over 5 kg m<sup>2</sup>.

### ***Biomasse***

Fra udlægningen af linemuslingerne i maj 2011 til første prøvetagning i juli 2011 falder biomassen med ca. 60 % fra en beregnet gennemsnitlig biomasse på omkring 2,5 kg m<sup>-2</sup> til ca. 1,0 kg m<sup>-2</sup>, og biomassen falder yderligere ca. 30 % den efterfølgende måned, hvorefter den er relativt stabil. Det store fald i biomasse efter udlægning forventes at være forårsaget af uhensigtsmæssig udlæg- ningsmetodik. Muslingerne blev udlagt fra big bags, hvilket medførte en meget klumpet fordeling, med lokale høje biomasser.

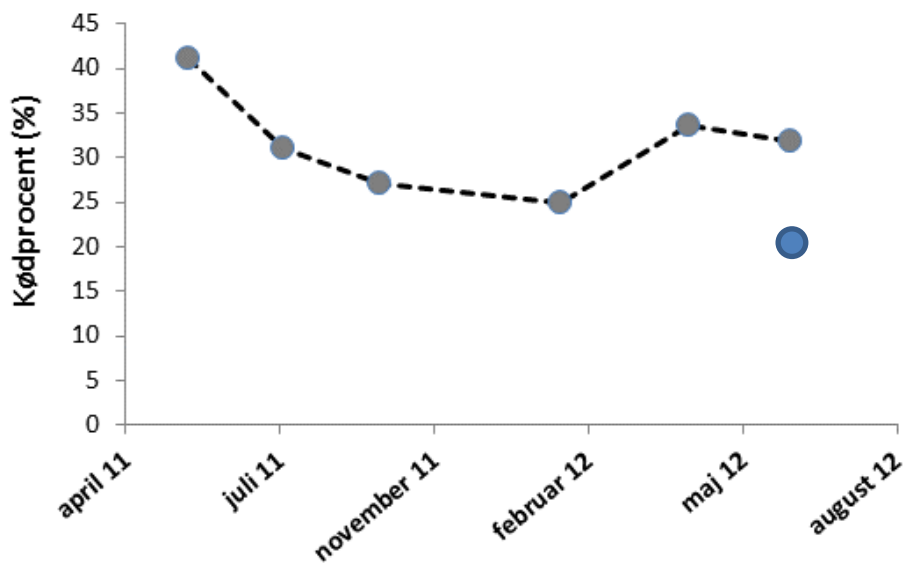
Produktionen af den udlagte biomasse (P/B) var fra maj 2011 til juni 2012 på -0,8 og fra august 2011 efter at biomassen var stabiliseret på et lavere niveau til juni 2012 var P/B på -0,4. Dvs. for begge perioder skete der et væsentligt tab af biomasse.



Figur 5 Biomassen af blåmuslinger i kulturbanke bestemt ved dykkerindsamling og forsøgsskrab.

### **Kødprocent**

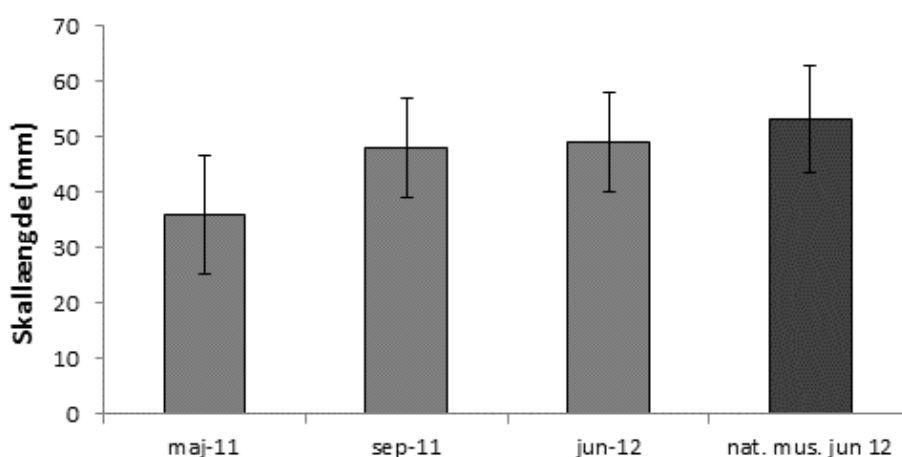
Kødprocenten af muslingerne i kulturbanken ligger i hele perioden forholdsvis højt, og væsentlig højere end det minimumsniveau for kødindhold for fiskeri af muslinger til fersk konsum af Wittrup Seafood (fig. 6), hvilket som udgangspunkt er 20 % kød. Kødprocenten for de udlagte linemuslinger faldt fra 41 % til 27 % hen over sommeren. Linemuslinger har som udgangspunkt en høj kødprocent pga. deres placering oppe i vandsøjlen, der giver en kontinuerlig adgang til føde, modsat muslinger placeret på havbunden, som er afhængig af opblanding af vandsøjlen eller vandstrømning for at sikre en fødetilgængelighed. Det er derfor forventeligt, at kødprocenten hos de udlagte linemuslinger reduceres efter udlægningen på havbunden. Fra sensommeren og vinteren over falder kødprocenten yderligere, hvilket er i overensstemmelse med den reducerede fødemængde tilgængelig for muslingerne i vinterperioden. I foråret stiger kødprocenten markant og forventeligt pga. forårsopblomstringen. Ved sidste prøvetagning i juni 2012 er kødprocenten 32 %, hvilket er 53 % højere end kødprocenten i den naturlige muslingebanke. Her blev kødprocenten målt til 20,8 % (fig. 6).



Figur 6 Kødprocent af muslingerne målt som den kogte vægt af kød i forhold til muslingernes totale vådvægt. Kødprocenter er angivet for muslinger i bundkulturen (grå punkter) i perioden maj 2011 til juni 2012. I juni 2012 er også angivet kødprocent i naturligt forekommende muslingebestand umiddelbart syd for kulturbanken (blå punkt).

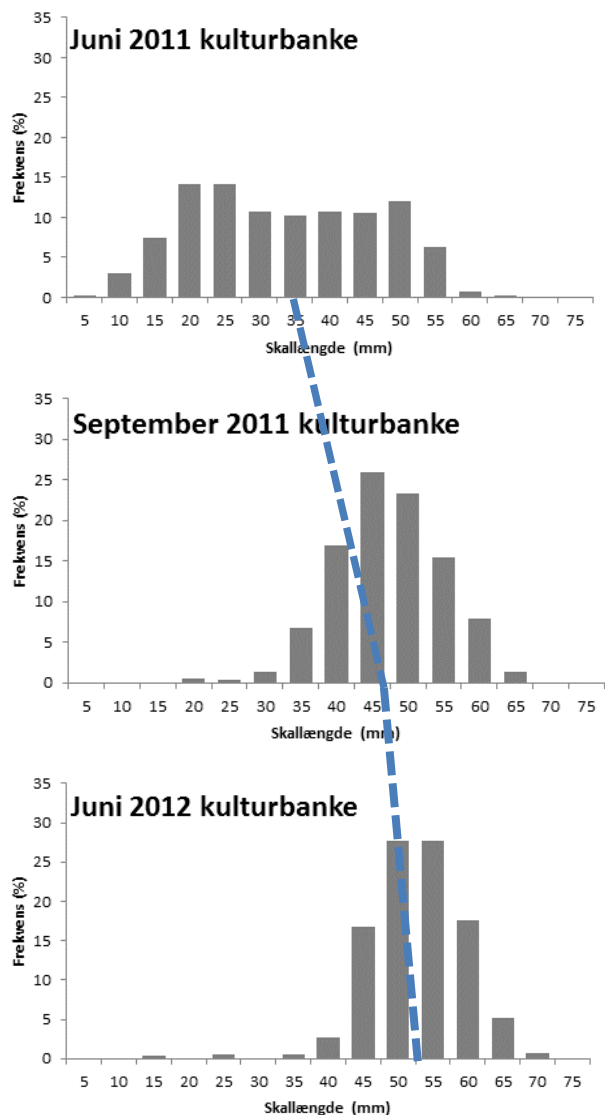
### Skallængde

Den gennemsnitlige ( $\pm$ sd) skallængde for de udlagte linemuslinger i maj 2011 er  $36,0 \pm 10,6$  mm. Skallængden på de udlagte muslinger stiger signifikant fra maj 2011 til september 2011 (Kruskal-Wallis One Way Anova  $P = <0,001$ ; Fig. 7 og 8). I vinterhalvåret fra september 2011 til juni 2012 ændres skallængden ikke signifikant. Ved sidste prøvetagning i juni 2012 året efter udlægningen er der ikke signifikant forskel på de udlagte linemuslinger og bundmuslinger fra en naturlig banke i umiddelbart nærhed af udlægningsområdet.



Figur 7 Gennemsnitlige ( $\pm$  sd) skallængde for muslinger i kulturbanke samt muslinger i naturlig muslingebanke.





**Figur 8 Størrelsesfordelingerne af muslingerne i kulturbanke i juni og september 2011, samt i juni 2012. Det bemærkes, at størrelsesfordelingen i juni 2012 har stor variation i forhold til de senere måletidspunkter.**

Som det ses af Fig. 8 er der stor spredning i skallængderne af de udlagte linemuslinger. Muslingerne blev ikke størrelsessorteret før udlægning. Over sommeren 2011 reduceres variationen i bestandens størrelsesfordeling.

**Specifik vækstrate**

Den specifikke vækstrate blev beregnet ud fra ændringerne i muslingernes tørvægt.

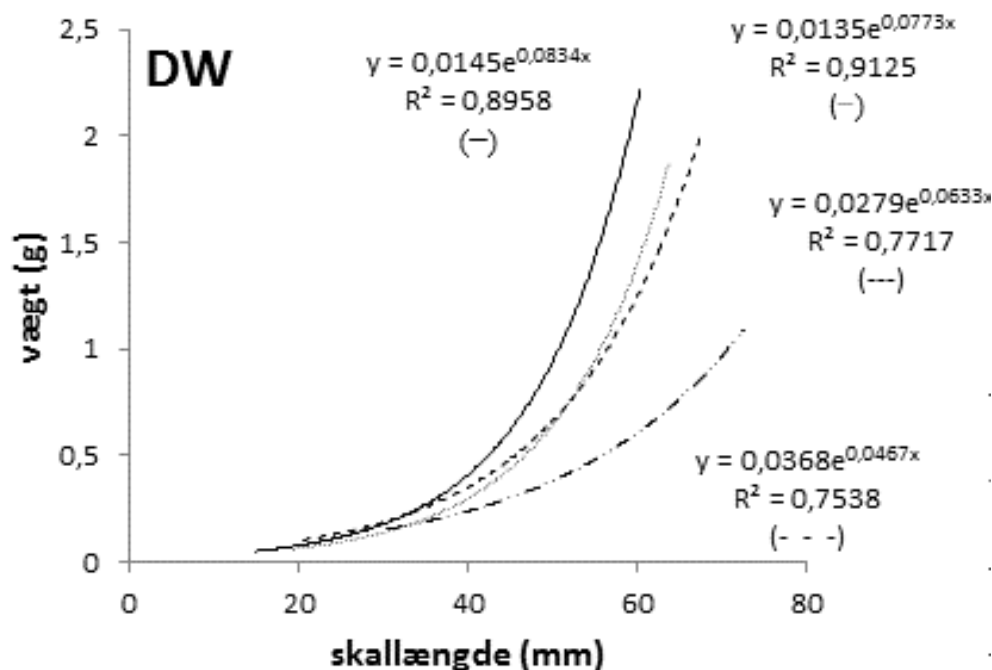
Den specifikke vækstrate for linemuslinger udlagt på havbunden var som forventeligt størst i sommerperioden (maj-sept 2011) umiddelbart efter udlægningen, og blev estimeret to 12 % mdr<sup>-1</sup>.

Den specifikke vækstrate for linemuslinger udlagt på havbunden var gennemsnitligt efter ét år 5 % mdr<sup>-1</sup>.

### Køddindhold relativt til skallængden

For alle prøvetagninger er der en eksponentiel sammenhæng mellem skallængde og kød-tørvægt (DW) (Fig. 9).

Mellem første prøvetagning i maj 2011 og anden prøvetagning i september 2011 falder den relative kød-tørvægt signifikant (Kruskal-Wallis One Way Analysis  $P = <0,001$ ). I den efterfølgende periode fra september 2011 til juni 2012 ændres kød-tørvægten ikke signifikant. Sammenlignes de muslingerne i kulturbanken med de naturligt forekommende muslinger indsamlet i umiddelbart nærhed, har bundkulturmuslingerne signifikant højre relative kød-tørvægt end de naturligt forekommende muslinger (Mann-Whitney Rank Sum Test  $P = <0,001$ ).

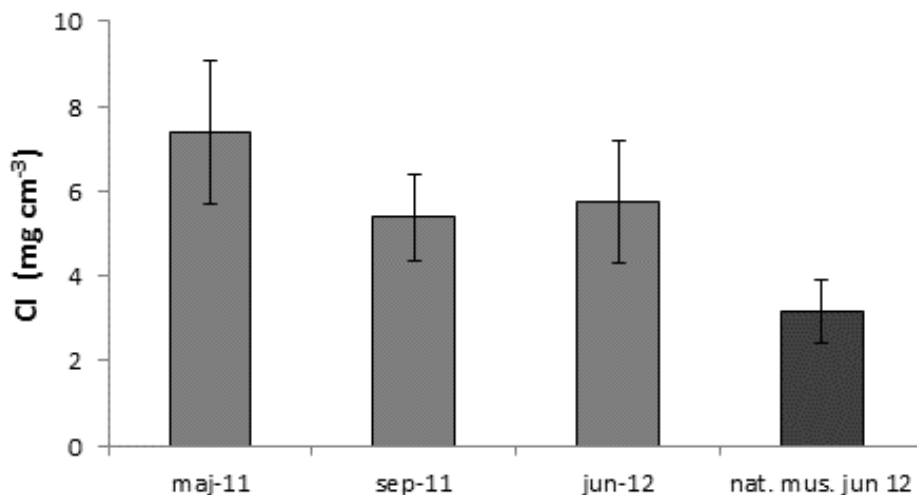


Figur 9 Sammenhæng mellem muslingernes tørvægt og skallængde for muslinger indsamlet fra kulturbanken i maj 2011 (—), september 2011(.....), juni 2012 (----), og fra den naturlige muslingebanke i juni 2012(-.-.-). Regressionsligninger og  $R^2$  er angivet for de enkelte måneder.

### Konditionsindeks

Konditionsindekset (CI) er et mål for muslingernes køddindhold i forhold til skalvolumen. Konditionsindekset for de udlagte bundkulturmuslinger falder signifikant fra udlægningstidspunktet i maj 2011 til den første prøvetagning i september 2011 (Kruskal Wallis one way anova  $P = <0,001$ ). Konditionsindekset bevarer samme niveau hen over vinterhalvåret, idet der ikke er signifikant forskel mellem de sidste to prøvetagninger. Til trods for en reduktion i konditionsindeks for bundkulturmuslingerne et år efter udlægningen, har disse muslinger til sammenligning med bundmuslinger fra en

naturlig banke i umiddelbart nærhed af udlægningsområdet et signifikant højere indeks i juni 2012 måned året efter udlægningen (Mann-Whitney Rank Sum Test  $P = <0,001$ ).



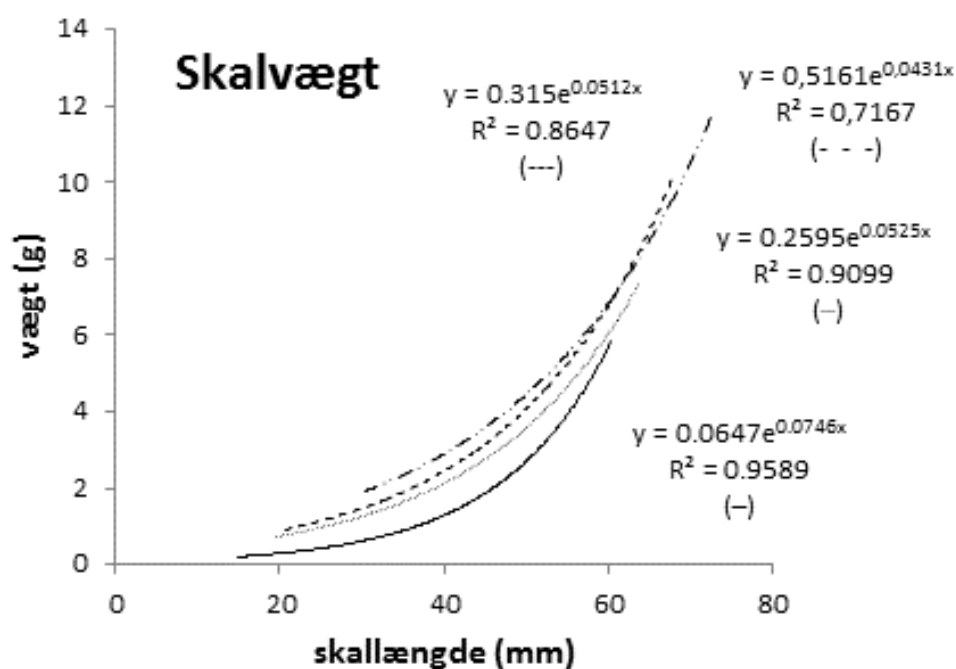
**Figur 10 Gennemsnitlige Konditionsindeks ( $\pm x$ ) for blåmuslinger i bundkultur og for muslinger i naturlig muslingebanke.**

### ***Skalvægt relativt til skallængden***

Ved alle prøvetagninger er der en tydelig eksponentiel sammenhæng mellem skallængde og skalvægt (Fig. 11).

For bundkulturmuslingerne sker der en signifikant ændring i forholdet mellem skallængde og skalvægt mellem alle prøvetagninger (Kruskal-Wallis One Way Analysis  $P = <0,001$ ). Udviklingen i det relative forhold mellem skallængde og skalvægt viser, at linemuslingerne stiger mere i skalvægt end de stiger i skallængde. Det forventes derfor, at bundkulturmuslingerne skal blive tykkere efter udlægningen på havbunden.

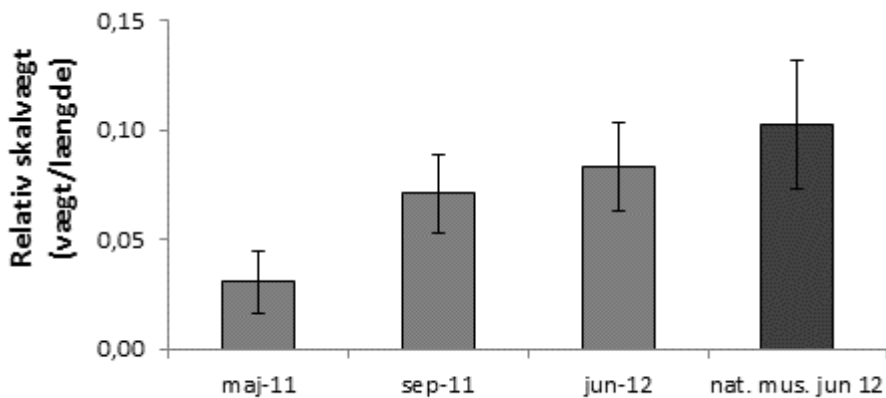
Ved prøvetagningen et år efter udlægningen er der til trods for øgningen i den relative skaltykkelse, stadig signifikant forskel mellem bundkulturmuslingerne og de naturligt forekommende muslinger opsamlet i umiddelbar nærhed af kulturbanken (Mann-Whitney Rank Sum Test  $P = <0,001$ ).



Figur 11 Sammenhæng mellem muslingernes skalvægt og skallængde for muslinger indsamlet fra kulturbanken i maj 2011 (—), september 2011(.....), juni 2012 (---), og fra den naturlige muslingebanke i juni 2012(-·-·-). Regressionsligninger og R<sup>2</sup> er angivet for de enkelte måneder.

### Relativ skalvægt

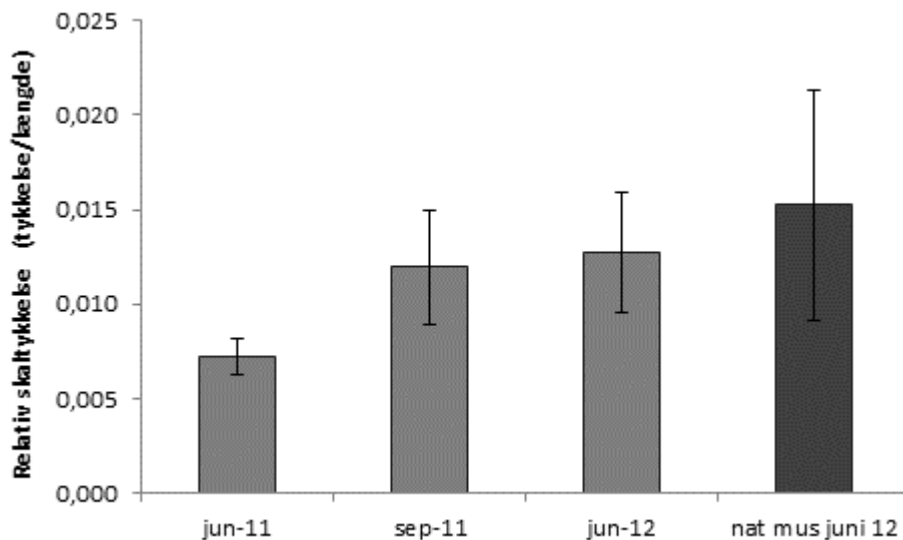
Den relative skalvægt forøges signifikant for de udlagte bundkulturmuslinger i perioden fra juni 2011 til september 2012 i udlægningsåret (Kruskal-Wallis One Way Analysis P = <0,001). Over vinteren i perioden fra september 2011 til juni 2012 øges den relative skaltykkelse ligeledes signifikant (Kruskal-Wallis One Way Analysis P = <0,001). Et år efter udlægningen af bundkulturmuslinger på havbunden er der signifikant forskel mellem de udlagte bundkulturmuslinger og naturligt settledede bundmuslinger indsamlet fra en muslingebanke i umiddelbart nærhed af kulturbanken (Mann-Whitney Rank Sum Test P=0,001).



Figur 12 Gennemsnitlige skalvægte ( $\pm x$ ) for muslinger i kulturbanke og for muslinger i naturlig muslingebanke.

### Relativ skaltykkelse

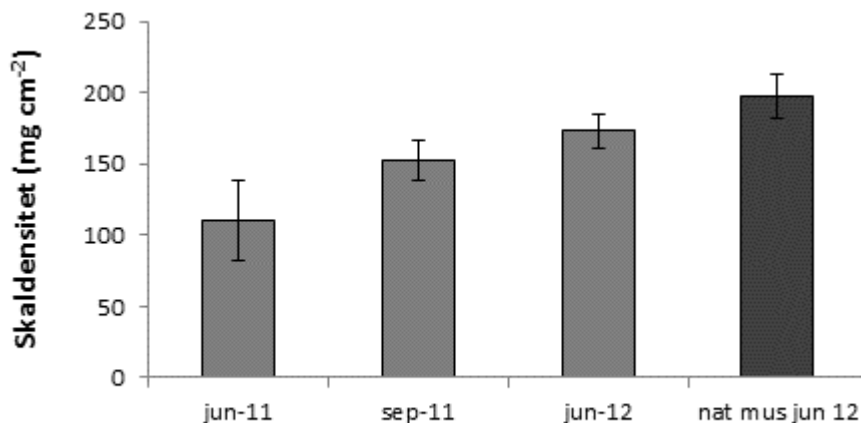
Den relative skaltykkelse forøges signifikant for de udlagte bundkulturmuslinger i perioden fra juni 2011 til september 2011 i udlægningsåret (Kruskal-Wallis One Way Analysis  $P = <0,001$ ). Over vinteren i perioden fra september 2011 til juni 2012 ændres den relative skaltykkelse ikke signifikant, og et år efter udlægningen på havbunden er der ikke signifikant forskel mellem de udlagte bundkulturmuslinger og naturligt settledede bundmuslinger indsamlet fra en muslingebanke i umiddelbart nærhed af kulturbanken (Mann-Whitney Rank Sum Test  $P=0,101$ ).



Figur 13 Den relative skaltykkelse ( $\pm xx$ ) af muslinger i kulturbanke og af muslinger i naturlig muslingebanke.

### **Skaldensitet (skal-askevægt/skal-overfladeareal)**

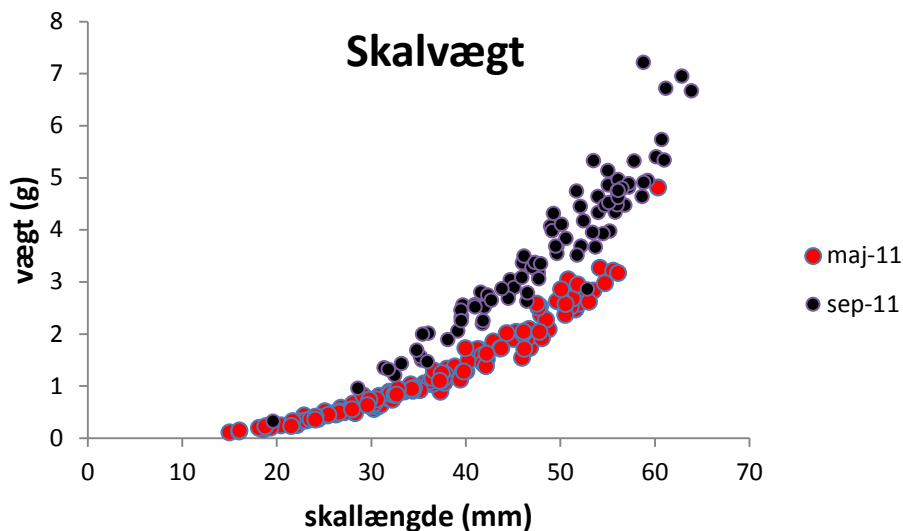
Skaldensiteten for de udlagte bundkulturmuslinger stiger signifikant fra udlægningstidspunktet i juni 2011 til første prøveindsamling i september 2011 (Kruskal-Wallis One Way Analysis  $P = <0,001$ ). Ligeledes stiger densiteten signifikant over vinteren fra september 2011 til juni 2012 (Kruskal-Wallis One Way Analysis  $P = <0,001$ ). Sammenlignes de udlagte bundkulturmuslinger med naturligt forekommende bundmuslinger fra samme område, er der trods forøgelsen i skalindeks blandt bundkulturmuslingerne en signifikant forskel (Student t- test  $P = <0,001$ ).



Figur 14 Skaldensitet ( $\pm$  sd) af muslinger i kulturbanke og af muslinger i naturlig muslingebanke.

### **Betydning af selektiv prædation på målte ændringer i skalvægt**

I forhold til at teste, om selektiv prædation og tæthedsbestemt dødelighed medfører en øget dødelighed af tyndskallede muslinger, og at den øgede skaltykkelse der observeres fra maj til september 2011 skyldes prædation og ikke øget skalvækst, er skaltykkelserne på de to tidspunkter sammenlignet. På Fig. 15 ses skaltykkelsen som funktion af skallængde på de to tidspunkter, og det kan bemærkes, at der bortset fra få målinger ikke er et sammenfald i skaltykkelsen på de to tidspunkter. Det kan således med stor sikkerhed antages, at den observerede stigning i skalvægt og skaltykkelse skyldes vækst, og ikke dødelighed af de mest tyndskallede muslinger.



Figur 15 Relation mellem skalvægt og skallængde i maj og september 2011.

## Diskussion

Udlægningen af blåmuslinger blev pga. manglende adgang til teknologi ikke hensigtsmæssigt udført og muslingerne blev fordelt meget klumpet i kulturbanken. Ved kulturbankedyrkning i Limfjorden anvendes en metodik, hvor muslingerne spules ud af ventiler, placeret på hver side af fartøjet. Muslingerne kan på den måde udlægges forholdsvis præcist i den ønskede tæthed og i baner, så der sker en hurtig bankedannelse (Dolmer et al. 2012). Høje biomasse kan medfølge høj dødelighed, da fødekurrencen mellem muslingerne øges og der opstår et forhøjet iltforbrug, hvilket kan medføre en øget dødelighed af muslinger nederst i banken. Efter udlægningen af muslinger blev der ligeledes rapporteret om øget tæthed af edderfugl på kulturbanken, hvilket ligeledes kan forklare en høj dødelighed. Det samlede produktionsoutput fra kulturbanken er jf. ovenstående målinger forholdsvis lav pga. den høje dødelighed blandt de udlagte bundkulturmuslinger.

Produktionen af muslinger i forhold til den udlagte biomasse (P/B) blev bestemt til -0,4 til -0,8, dvs. med et stort tab af biomasse. I Limfjorden er der bestemt P/B forhold på -0,7 til -0,1 af Kristensen og Lassen (1997) og op til 1,0 af Dolmer et al (2012). I den hollandske kulturbankeproduktion er der rapporteret P/B forhold på fra 0 til 0,5. En væsentlig udfordring i forhold til at sikre at kulturbankedyrkingen, som afprøvet i dette projekt, gøres økonomisk bæredygtigt er, at P/B forholdet øges betydeligt. Dette kan ske både ved at sikre en bedre overlevelse af udlagt muslingeunge umiddelbart efter udlægning (optimere udlægningspraksis) og ved at mindske prædation fra edderfugl.

Den specifikke vækst for muslingerne var i sommerperioden 2011, 12 % per måned og set over 12 måneder var vækstraten 5 % per måned. Vækstraten er lav sammenlignet med målinger, der er foretaget på bundmuslinger i andre områder, hvor der er målt værdier på 1,9 til 4 % dag<sup>-1</sup> (Frandsen og Dolmer 2002). I forhold til at mindske prædation fra edderfugl er muslingebanken lagt på forholdsvis dybt vand, der ligger dybere end edderfuglens foretrukne dykkedybde. En øgning af dybde mindsker den vindinducerede opblanding af vandsøjlen og dermed transporten af føde fra overfladen og ned til muslingerne i kulturbanken. Den forholdsvis lave specifikke vækstrate kan således muligvis øges ved at placere kulturbanken på lavere vand, men prisen kan være en øget prædation fra edderfugl.

Muslingernes kødindhold og konditionsindeks (CI) viste, at blåmuslingerne i kulturbanken efter udlægningen fra maj til september 2011 havde en reduktion i begge parametre, hvorimod der frem til juni 2012 ikke sker en signifikant ændring. I juni 2012 er både kødindhold og konditionsindeks signifikant højere for muslinger i kulturbanken (CI = 5,8) i forhold til muslinger af samme størrelse i en naturlig muslingebanke (CI = 3,2). I forbindelse med undersøgelse af kommerciel kulturbanke i Limfjorden blev der målt CI mellem 3,8-5,2, (Dolmer et al. 2012) og for mindre muslinger (22-23 mm) er der ligeledes i Limfjorden målt CI mellem 3,2- 4,3 (Frandsen og Dolmer 2002).

De udlagte muslinger viser fra maj til september 2011 en signifikant øgning i både skalvægt, relativ skaltykkelse og skaldensitet. Således øges den relative skaltykkelse med 65 % over sommeren 2011. I juni 2012 er den relative skaltykkelse 16 % mindre end skaltykkelsen af muslinger i den naturlige muslingebanke. Skaltykkelsen er en vigtig parameter i forhold til muslingernes kommercielle værdi. Tyndskallede muslinger fra langlineopdræt får lettere skalbrud i forbindelse med forarbejdning og pakning på muslingeindustrier, og der sker således et stort tab. Der er de senere år gjort en stor forsknings- og udviklingsindsats i forhold til at udvikle og teste forarbejdningsmetoder, der sikrer en høj udnyttelsesgrad af tyndskallede linemuslinger (Tørring og Petersen 2005, Tørring et al 2008).

Samlet set må det konkluderes fra undersøgelsen, at udlægningspraksis var uhensigtsmæssigt gennemført og medførte en klumpet fordeling af muslingerne på bunden. Dette forhold samt et ukendt tab af muslinger pga. prædation fra edderfugl medførte en negativ biomasse produktion i kulturbanken. Muslingerne havde ved etableringen af kulturbanken et forholdsvis højt kødindhold, og efter udlægningen skete der et tab af kødindhold. Muslingerne fastholdt dog et kødindhold, der er højere end muslinger i en nærliggende naturlig muslingebanke. Kødprocenten af muslingerne i kulturbanken var i juni 2012 på 32 %, hvilket er betydeligt over de 20 % som Wittrup Seafood som udgangspunkt har som minimum for muslinger, inden et fiskeri igangsættes. I Limfjorden fiskes der ikke på muslinger, hvis kødprocenten er under 16 %. I de første måneder etablerede muslingerne en tykkere skal, og slutprodukter var således forholdsvis tykshallede muslinger med et højt kødindhold. I forhold til en kommerciel udnyttelse, er det således et produkt der inkluderer de bedste karakterer fra bund- og linemuslinger i forhold til forarbejdningsmulighed og produktkvalitet.



### **DEL 3 3D-MODELLERING AF KULTURBANKEOMRÅDER**

Formålet med arbejdsplan 3 er at opstille en model for de biologiske produktionsforhold i As Vig området. Modellen er opbygget af en hydraulisk og en økologisk model. Den hydrauliske model beregner temperatur, salinitet samt vertikal og horisontal strøm i 3 dimensioner. Den økologiske model beregner produktion og koncentration af planteplankton, vækst og biomasse af udlagte muslinger, N og P næringsalte samt ilt. DHI's MIKE 3 modelsystem anvendes til beregning af hydraulikken i 3 dimensioner og MIKE ECOLab anvendes til beregning af de biologiske forhold. Til modelleringsarbejdet anvendes data fra 2005, der suppleres med data for vækst, der indsamles under projektet. Modelresultaterne anvendes til at lave en kortlægning af optimale områder for kulturbankedyrkning og analyser af muslingeproduktion som funktion af udlægningstæthed i bundkultur.

Analysen er udarbejdet i separat rapport fra DHI, der er vedlagt i bilag 1.

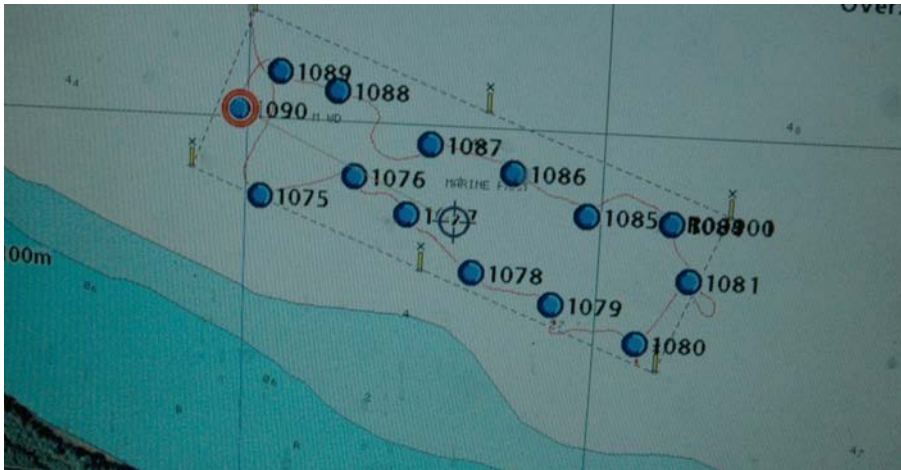
## DEL 4 ANALYSE AF ÅLEGRÆSUDBREDELSE I KULTURBANKE I HORSENS FJORD

I forbindelse med ønske om udlægning af omplantningsmuslinger i kulturbanke i Horsens Fjord blev der i november måned 2012 gennemført en dykker- og side scan undersøgelse med henblik på at kortlægge forekomst af ålegræs i området. Udbredelsen af området er vist på fig. 16.



Figur 16 Placering af område udlagt som kulturbanke (750x250 m) i Horsens Fjord

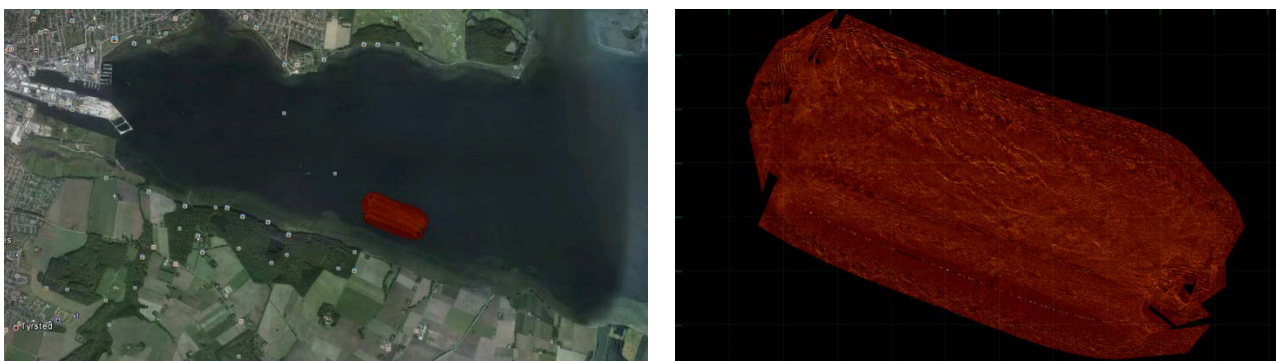
I forbindelse med undersøgelsen blev der gennemført 14 punktdyk, og på hvert punkt blev der observeret, om der var ålegræs og taget 3-5 undervandsbilleder. Fordelingen af de 14 punktdyk er vist på Fig. 17. Dybden i området var 4-5 m og bundmateriale bestod af leret sand. Der blev på de nordligste stationer fundet blåmuslinger. På ingen af stationerne blev der fundet levende, etableret ålegræs.



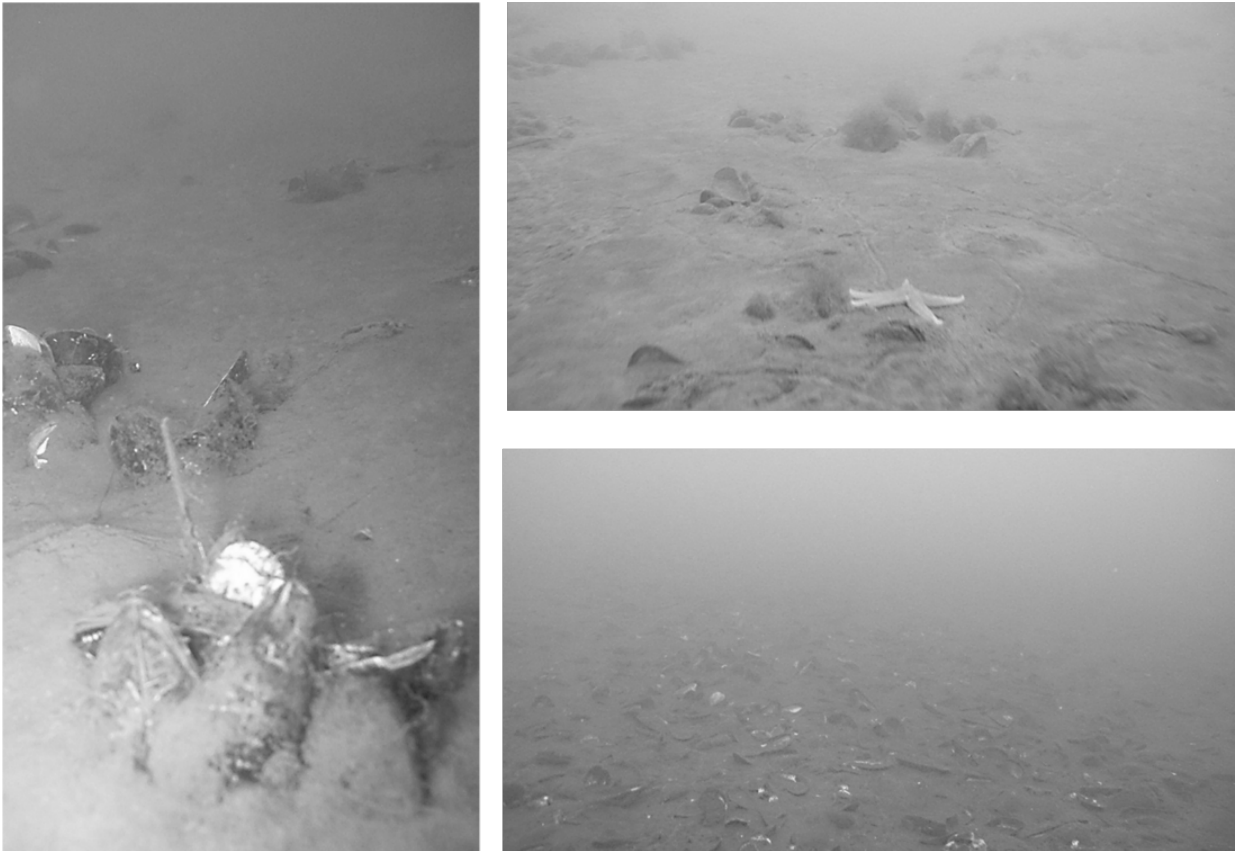
Figur 17 Gennemførte punktdyk ifm ålegræsundersøgelse.

Der blev gennemført et side scan af området, og der var ingen strukturer der indikerer forekomst af ålegræs (Fig. 18).

På figur 19 ses billeder optaget i området.



Figur 18 Side scan-kortlægning af område i Horsens Fjord undersøgt for forekomst af ålegræs.



**Figur 19** Undervandsbilleder optaget i område udlagt til kulturbankedyrkning i Horsens Fjord.

## **DEL 5 FORMIDLING AF PROJEKTET**

En væsentlig del af projektet har omfattet kommunikation med Fødevareministeriet inden etableringen af kulturbanke i maj 2011 i forhold til at opnå tilladelse til kulturbanke i Asvig:

Kommunikationen har omfattet:

Kontakt med Fødevarestyrelsen og Fødevareministeriet om tilladelse til at flytte muslinger fra Limfjorden til As Vig

Notat i forbindelse med ansøgning af område til Kulturbankedyrkning

Notat i forbindelse med anvendelse af kompensationsopdrættede muslinger til bundkultur og opfølgende e-mail.

Der er endvidere afholdt møde med Horsens og Vejle Kommuner den 5. december 2012.

Diverse følgegruppe møder med Dansk Akvakultur, Havbrugerne i Snaptun, Wittrup Seafood A/S og de andre projektdeltagere.

Projektet er formidlet i forbindelse med rådgivning til Fødevareministeriet, Vejle Kommune, Miljøministeriet og Musholm A/S.

## REFERENCER

- Christensen HT, Dolmer P, Petersen JK, Tørring D (2012) Comparative study of predatory responses in blue mussels (*Mytilus edulis* L.) produced in suspended long line cultures or collected from natural bottom mussel beds. *Helgoland Mar Res* DOI 10.1007/s10152-010-0241-0
- Dolmer P, Christensen H.T, Hansen B.W., Vismann B (2012). Area-intensive bottom culture of blue mussels, *Mytilus edulis*, in a micro-tidal estuary. *Aquaculture Environment Interactions* 3: 81-91
- Eigaard O, Frandsen RP, Andersen B, Jensen KM, Poulsen LK, Tørring D, Bak F, Dolmer P. 2011. Udvikling af skånsomt redskab til fiskeri af blåmuslinger. DTU Aqua Rapport nr 238-2011
- Frandsen RP, Dolmer P (2002) Effects of substrate type on growth and mortality of blue mussels (*Mytilus edulis* L.) exposed to the predator *Carcinus maenas* (L.). *Mar Biol* 141: 253-262
- Hamer B, Jaksić Z, Pavčić-Hamer D, Perić L, Medaković D, Ivanković D, Pavčić J, Zilberberg C, Schröder HC, Müller WE, Smolaka N, Batel R. (2008). Effect of hypoosmotic stress by low salinity acclimation of Mediterranean mussels *Mytilus galloprovincialis* on biological parameters used for pollution assessment. *Aquat Toxicol.* 89(3):137-51. doi: 10.1016/j.aquatox.2008.06.015
- Kamermans P, Brummelhuis E, Smaal A (2002) Use of spat collectors to enhance supply of seed for bottom culture of blue mussels (*Mytilus edulis*) in the Netherlands. *World Aquac* 33: 12–15
- Kamermans P, Blankendaal M, Perdon J (2009) Predation of shore crabs (*Carcinus maenas* L.) and starfish (*Asterias rubens* L.) on blue mussel (*Mytilus edulis* L.) seed from wild sources and spat collectors. *Aquaculture* 290: 256–262
- Kristensen PS, Lassen H (1997) The production of relaid blue mussels (*Mytilus edulis* L.) in a Danish fjord. *ICES J Mar Sci* 54: 854–865
- Reimer O, Tedengren M (1996) Phenotypical improvements of morphological defences in the mussel *Mytilus edulis* induced by exposure to the predator *Asterias rubens*. *Oikos* 75:383–390
- Tørring D et al (2008) Nye opdrætsteknikker. Rapport fra Dansk Skaldyrcenter
- Tørring D & Petersen JK (2005) Muslingefase II. Rapport fra Dansk Skaldyrcenter

# Bilag 1

## Modellering og kortlægning af kulturbankeområder

Kulturbankeprojekt med udlægning af blåmuslinger på Smart  
Farm system: Arbejdspakke 3

Danmark og EU investerer i bæredygtigt fiskeri og akvakultur

Projektet er støttet af Fødevareministeriet og EU

Ministeriet for Fødevarer,  
Landbrug og Fiskeri



Den  
Europæiske  
Fiskerifond



Ledelsessystem  
for  
kvalitet

certificeret i henhold til

**DS/EN ISO 9001**

af



Det Norske Veritas,  
Business Assurance,  
Danmark A/S



# Modellering og kortlægning af kulturbankeområder

Kulturbankeprojekt med udlægning af blåmuslinger på Smart Farm system: Arbejdspakke 3

Udarbejdet for **Institut for Akvatiske Ressourcer - Danmarks Tekniske Universitet**  
Repræsenteret ved **Per Dolmer**

Danmark og EU investerer i bæredygtig fiskeri og akvakultur  
Projektet er støttet af Fødevarnemissionen og EU



Projektnummer	11811077
Dato	28. december 2012
Klassifikation	Åben

Forfattere	Flemming Thorbjørn Hansen
Kvalitetssikring	Flemming Møhlenberg og Anders Eriksen
Godkendelse	Ian Sehested Hansen





## Indhold

<b>1</b>	<b>Introduktion</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Metode</b> .....	<b>1</b>
2.1	Generelt .....	1
2.2	Hydrodynamisk model .....	1
2.2.1	Software .....	1
2.2.2	Opsætning af hydrodynamisk model .....	2
2.2.3	Validering af hydrodynamisk model .....	3
2.3	Økologisk model .....	5
2.3.1	Software .....	5
2.3.2	Beskrivelse af økologisk model .....	5
2.3.3	Opsætning af økologisk model .....	7
2.3.4	Validering af økologisk model .....	8
2.4	Muslingemodel .....	10
2.4.2	Beskrivelse af muslingemodel .....	13
2.4.3	Opsætning af muslingemodel .....	13
2.4.4	Kalibrering/-validering af muslingemodel .....	16
2.4.5	Simuleringer af forskellige udlægningstætheder .....	23
<b>3</b>	<b>Resultater</b> .....	<b>24</b>
3.1	Kortlægning af dyrkningspotentiale af blåmuslinger .....	24
3.2	Betydning af udlægningstæthed på kulturbanke .....	25
<b>4</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>Referencer</b> .....	<b>35</b>

## Figurer

Figur 1	Beregningsnet anvendt i den hydrodynamiske model for den sydvestlige del af Kattegat. Farveskalaen viser dybdeintervaller i forhold til middelloverfladeniveau. Åbne modelrande er angivet med røde linjer og inkludere 3 rande mod henholdsvis Kattegat, Storebælt og Lillebælt. Placering af ferskvandskilder er angivet med røde cirkler. Placering af målestationer til modelvalidering er angivet med sorte symboler. Sort polygon angiver detailområde anvendt i forbindelse med modelberegninger for analyser af udlægningstæthedens betydning for muslingproduktionen. ....	2
Figur 2	Modelområdet og beregningsnet som er anvendt i den hydrodynamiske model [3]. Modellen har leveret randværdier til den hydrodynamiske model for det sydvestlige Kattegat. Farveskalaen indikerer dybdeintervaller, - lavvandede områder med rød/grøn, og dybere områder med blå. ....	3
Figur 3	Sammenligning af modelberegnete (linjer) og målte (symboler) saltholdigheder for henholdsvis overladen (sort) og bund (blå) på station ARH170006 ved Århus. ....	3
Figur 4	Sammenligning af modelberegnete (linier) og målte (symboler) vandtemperaturer for henholdsvis overladen (sort) og bund (blå) i 2011 på station ARH170006 ved Århus. ....	4
Figur 5	Sammenligning af modelberegnete (linjer) og målte (symboler) saltholdigheder for henholdsvis overladen (sort) og bund (blå) i 2011 på station VEJL006870 ved Vejle Fjord. ....	4
Figur 6	Sammenligning af modelberegnete (linjer) og målte (symboler) vandtemperaturer for henholdsvis overladen (sort) og bund (blå) i 2011 på station VEJL006870 ved Vejle. ....	4
Figur 7.	Skematisk beskrivelse af processer i relation til kvælstof i sedimentet i den økologiske model. ....	6
Figur 8	Skematisk beskrivelse af processer i relation til fosfor i sedimentet i den økologiske model. ....	7
Figur 9	Sammenligning mellem målte (symboler) og beregnede (kurve) koncentrationer af klorofyl i overfladen (øverst) og i bunden (nederst) ved station ARH170006 i Århus bugt. ....	8

Figur 10	Sammenligninger af målte (symboler) og beregnede (kurver) koncentrationer af klorofyl ved station VEJ0008670 nordøst for Vejle fjords udmunding i Kattegat. Øverst: overflade, midt: overflade (ekskl. Forårstoppen), nederst: 15 m's dybde. ....	9
Figur 11	Sammenligning af klorofyl koncentrationer beregnet vha. modellen for det sydvestlige Kattegat (med sort) og beregnet vha. modellen som har leveret randværdier og initialværdier (under udvikling i COBIOS og MARCOAST projekterne – se tekst) .....	10
Figur 12	Estimerede biomasser af udlagte muslinger (kg vådvægt/m <sup>2</sup> ) på kulturbanken ved As Vig på forskellige prøvetagningstidspunkter.....	11
Figur 13	Målte gennemsnitlige skallængder af indsamlede muslinger (mm) fra kulturbanken ved As Vig på forskellige prøvetagningstidspunkter. For hvert punkt er vist intervaller for standard fejl.....	12
Figur 14	Målte kødprocenter af udlagte muslinger (%) på kulturbanken ved As Vig på forskellige prøvetagningstidspunkter.....	12
Figur 15.	Beregningsnet for detailmodel anvendt i forbindelse med analyser af betydningen af udlægningstætheden af muslinger på muslingeproduktionen. Placeringen af detailmodel i forhold til modelområdet anvendt i modellen for det sydvestlige Kattegat fremgår af Figur 1. Farveskalaen viser dybdeintervaller i forhold til middelloverfladeniveau. Rød firkant angiver kulturbanke med et produktionsområde på 100x300 m. Koordinater er angivet i UTM32. ....	14
Figur 16.	Blå symboler viser akkumuleret askefri tørvægt af muslingernes kødindhold (g) som funktion af skallængden (mm) af en repræsentativ længde-sorteret prøve af muslinger indsamlet i forbindelse med udlægning af muslinger på kulturbanken ved As Vig i juni 2011. Rød vandrette linje svarer til 50 % af den akkumulerede tørvægt. Rød lodrette linje viser den tilsvarende skallængde anvendt som initialbetingelse i muslingemodellen.....	15
Figur 17.	Sammenhæng mellem målte værdier af udlagte (på kulturbanke) muslingers skallængde og kødvægt målt som askefri tørvægt (AFDW) undersøgt i juni 2011 (blå symboler). Sort kurve viser potensfunktion, der beskriver bedste fit med en R <sup>2</sup> værdi på 0,92.....	15
Figur 18.	Sammenligning af temperatur i overfladen (øverst) og bund (nederst) beregnet vha. henholdsvis den lokale model for kulturbanken (med sort) og modellen for det sydvestlige Kattegat (med rødt). ....	17
Figur 19.	Sammenligning af klorofyl i overfladen (øverst) og bund (nederst) beregnet vha. henholdsvis den lokale model for kulturbanken (med sort) og modellen for det sydvestlige Kattegat (med blå). ....	18
Figur 20.	Resultater fra kalibreringssimuleringer af muslingemodell for perioden 30. maj 2011 – 30. juni 2012. Øverst udviklingen i muslingebiomassen (gC/m <sup>2</sup> ), næst-øverst udviklingen i muslingernes gennemsnitlige skallængde (mm), næst-nederst udviklingen i muslingers kødvægt (g askefri tørvægt/musling) og nederst udviklingen i muslingernes fødegrundlag (g C/m <sup>3</sup> ). Sorte og blå kurver viser beregninger hvor henholdsvis 10% og 20% af simuleret detritus kulstof, DC, (~dødt organisk kulstof) er medtaget som fødegrundlag udover kulstof stammende fra den simulerede fytoplanktonkoncentration. ....	19
Figur 21.	Figureerne viser kulturbanken ved As Vig som beskrevet i modellen med 4x12 kvadratiske arealer. Farveskalaen viser simulerede værdier for kødvægt som g tørvægt/musling (øverst) og skallængder i mm (nederst) ved simuleringens afslutning i juni 2012. ....	20
Figur 22.	Vertikal profil af gennemsnitlige fødekonzentrationer (mgC/l) for kulturbanken ved As Vig for hele perioden 30. maj 2011 – 30. juni 2012. Afstand fra bund svaret til midten af de respektive vertikale lag i modellen. ....	21
Figur 23	Sammenhæng mellem muslingernes simulerede gennemsnitlige størrelse for hele banken ved tidspunkt for afhøstning (skallængde og kødindhold) og den gennemsnitlige årlige fødekonzentration for hele kulturbanken. Muslingerne er antaget at have en nulvækst ved en årlig gennemsnitlig fødekonzentration på 25µgC/l.....	22
Figur 24.	Akkumuleret askefri tørvægt af muslingernes kødindhold (g) som funktion af skallængden (mm) af en repræsentativ prøve af muslinger ved afhøstning af muslingerne fra kulturbanken ved As Vig i juni 2012. Rød vandrette linje svarer til 50 % af den akkumulerede askefri tørvægt. Rød lodrette linje viser den tilsvarende skallængde til sammenligning med den beregnede skallængde vha. muslingemodellen ved slutningen af simuleringen/afhøstning. ....	23
Figur 25.	Sammenhæng mellem målte værdier af udlagte (på kulturbanke) muslingers skallængde og kødvægt målt som askefri tørvægt (AFDW), undersøgt i juni 2012 (blå symboler). Sort kurve viser potensfunktion, der beskriver bedste fit med en R <sup>2</sup> værdi på 0,80.....	23
Figur 26.	Figuren viser den akkumulerede simulerede transport ved bunden i det sydvestlige Kattegat i 2011 af muslingers fødegrundlag i form af kulstof, som stammer fra dels den simulerede fytoplankton biomasse, og dels fra en fraktion, svarende til 10 %, af det simulerede døde organiske materiale (DOM). Enheden er gC/m hvor "m" refererer til transporten af C pr. meter tværsnit i et bundlag svarende til 20 cm.....	25

Figur 27.	Resultater af modelberegninger af betydningen af forskellige udlægningstætheder af muslinger på kulturbanken ved As Vig: muslingebiomassen (øverst), kødindholdet (næst-øverst), skallængden (næst-nederst) og konditionsindeks (nederst). Tidsserier repræsenterer et punkt i midten af kulturbanken.....	26
Figur 28.	Resultater af modelberegninger af betydningen af forskellige udlægningstætheder af muslinger på det tilgængelige fødegrundlag for muslingerne på kulturbanken ved As Vig. Tidsserier repræsenterer et punkt i midten af kulturbanken. ....	27
Figur 29.	Modelbereggede muslingers kødindhold som mg tørvægt (askefri) pr. individ ved afhøstning i december 2011 på kulturbanke ved As Vig ved 4 forskellige udlægningstætheder: 100, 200, 600 og 1200 individer/m <sup>2</sup> . Muslinger er udlagt 1-1-2011 med en begyndelses kødindhold på 389 mg/dyr.....	28
Figur 30	Modelbereggede muslingers gennemsnitlige skallængde (cm) pr. individ ved afhøstning i december 2011 på kulturbanke ved As Vig ved 4 forskellige udlægningstætheder: 100, 200, 600 og 1200 individer/m <sup>2</sup> . Muslinger er udlagt 1-1-2011 med en begyndesseskallængde på 40 mm. ....	28
Figur 31.	Vertikale gradienter af den årlige gennemsnitlige simulerede fødekonzentration (symboler) over kulturbanken ved As Vig beskrevet som sammenhænge mellem fødekonzentration (mgC/l) og afstand fra bunden (m) for 5 simulerede udlægningstætheder: 100, 200, 400, 600 og 1200 muslinger/m <sup>2</sup> . kurver viser trend-linjer af eksponentialfunktionen ( $y=a*\exp(x*b)$ ). DC-20% angiver en føde koncentration bestående af fytoplankton kulstof og kulstof fra 20 % dødt organisk materiale.....	29
Figur 32.	Bereggede korrigerede muslingebiomasser som funktion af udlægningstætheder af muslinger på kulturbanke ved As Vig på tidspunkt for afhøstning december 2011.....	31
Figur 33	Bereggede korrigerede skallængder som funktion af udlægningstætheder af muslinger på kulturbanke ved As Vig på tidspunkt for afhøstning december 2011.....	31
Figur 34.	Beregnet korrigeret kødindhold, bestemt som askefri tørvægt af et "standard" individ, som funktion af udlægningstætheder af muslinger på kulturbanke ved As Vig på tidspunkt for afhøstning december 2011.....	32

## Tabeller

Tabel 1.	Måledata tilgængelige fra forsøg med udlægning af muslinger på kulturbanke ved As Vig. ....	11
Tabel 2.	Oversigt over kørte beregninger med forskellige udlægningstætheder.....	24
Tabel 3.	Tabellen viser koefficienter (A og B) og R <sup>2</sup> for eksponentiel sammenhæng mellem afstand fra bund (m) og den simulerede fødekonzentration (mgC/l) i vandsøjlen over muslingebanken ved As Vig. Der er vist sammenhænge for simuleret muslingetilvækst baseret på fødegrundlag inkl. henholdsvis 10% (DC10) og 20 % (DC20) af dødt organisk materiale. Kolonnen med "%" angiver den beregnede procentvise andel af gennemsnitskoncentrationen i modellens bundlag på 2 meter, som svarer til den forventede gennemsnitskoncentration i de nederste 40 cm. Se tekst for yderligere beskrivelse.....	30

## Bilag

### A Resultater af modelvalidering af den økologiske model

**Arkivering:** Alle standard projektfiler (dokumenter etc.) er arkiveret i DHI's elektroniske arkiveringssystem. Alle andre projektfiler (set-up filer, drivdata, modelresultater) er arkiveret på eksterne harddiske placeret under DHI projektarkivnummer 11811077.



## 1 Introduktion

Denne rapport er udarbejdet i forbindelse med arbejdspakke 3 "Modellering og kortlægning af kulturbankeområder" i projektet "Kulturbankeprojekt med udlægning af blåmuslinger opsamlet på Smart Farm system". Projektet er finansieret af FødevarerErhverv under Ministeriet for Fødevarer, Landbrug og Fiskeri gennem "Tilskud til Fællesinitiativer inden for fiskeri- og akvakultursektoren".

Formålet med arbejdspakken er at opstille en model for de biologiske produktionsforhold i As Vig området i det sydvestlige Kattegat, herunder kortlægning af de optimale områder for muslingeproduktion generelt, samt at analysere betydningen af udlægningstætheden af muslingerne for muslingeproduktionen specifikt for et produktionsområde.

I forbindelse med Arbejdspakke 1 "Test af afhøstningstidspunkt og sortering", og Arbejdspakke 2 "Test af udlægningstæthed" har DTU-Aqua og Wittrup Seafood A/S foretaget et udlægningsforsøg med linedyrkede muslinger udlagt på en kulturbanke ved As Vig i perioden juni 2011 til juni 2012. I løbet af perioden er der løbende blevet foretaget analyser af muslingerne herunder muslingers vægt, kødindhold og skallængder.

## 2 Metode

### 2.1 Generelt

For at beskrive potentialet for muslingeproduktionen i sydvestlige Kattegat anvendes en model, der er opbygget af en hydrodynamisk model og en økologisk model. Den hydrodynamiske model beregner de horisontale og vertikale strømhastigheder, vandtemperaturen og saltholdigheden i 3 dimensioner. Den økologiske model beregner produktionen og koncentrationer af planteplankton, vækst og biomasse af udlagte muslinger, næringssaltskoncentrationen (kvælstof og fosfor) samt ilt. DHI's model system MIKE 3 FM anvendes til beregninger af hydrodynamikken i 3 dimensioner. DHI's økologiske beregningsmodul ECO Lab anvendes til beregning af de biologiske forhold. Til modelarbejdet anvendes data fra 2011 og første halvår 2012, samt data for muslingers tilvækst, som er indsamlet under projektet. Resultaterne anvendes til kortlægning af optimale områder for kulturbankedyrkning i det sydvestlige Kattegat, og til analyser af muslingeproduktionen som funktion af udlægningstæthed i bundkultur på en kulturbanke ved As Vig, syd for Horsens Fjord.

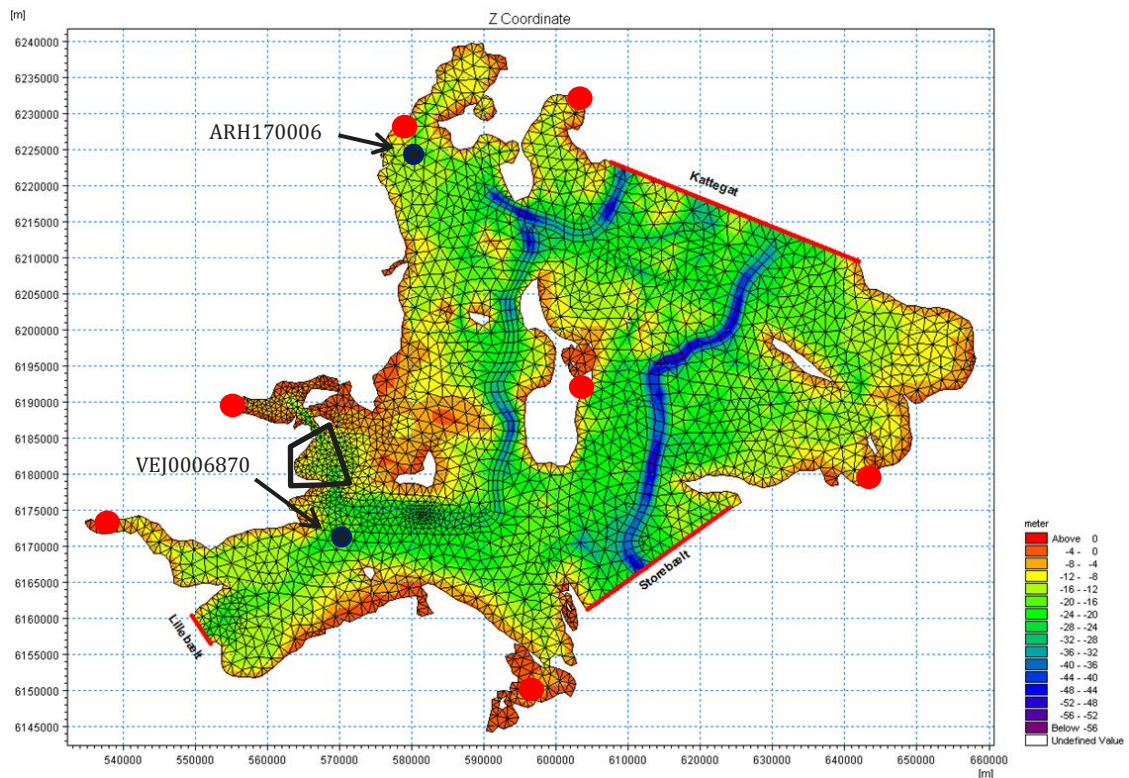
### 2.2 Hydrodynamisk model

#### 2.2.1 Software

Den anvendte hydrodynamiske model beskrevet i dette afsnit er baseret DHI's modelsystem MIKE 3 FM. MIKE 3 FM er en dynamisk 3-dimensional (3D) model med høj tidsopløselighed, der beskriver fri overfladestrømning. Det matematiske grundlag er baseret på Navier-Stokes ligninger i tre dimensioner og inkluderer effekten af turbulens og varierende densitet, massebevarelse, varmedynamik og salt. I MIKE 3 FM løses ligningerne i et fleksibelt beregningsnet. Den hydrodynamiske model giver en fuld 3D repræsentation af vandstand, vandstrømning, salt, temperatur og densitet indenfor modelområdet. For mere information om MIKE 3 FM model systemet, se [1].

## 2.2.2 Opsætning af hydrodynamisk model

Den hydrodynamiske model er opstillet for den sydvestlige del af Kattegat. Beregningsnettet med dybdeforhold og placeringer af åbne rande fremgår af Figur 1. Beregningsnettet er en modificering af et tidligere beregningsnet anvendt i forbindelse med en VVM undersøgelse af havbrugsudvidelse ved As Vig og Hundshage [2].



Figur 1 Beregningsnet anvendt i den hydrodynamiske model for den sydvestlige del af Kattegat. Farveskalaen viser dybdeintervaller i forhold til middelloverfladeniveau. Åbne modelrander er angivet med røde linjer og inkluderer 3 rander mod henholdsvis Kattegat, Storebælt og Lillebælt. Placering af ferskvandskilder er angivet med røde cirkler. Placering af målestationer til modelvalidering er angivet med sorte symboler. Sort polygon angiver detaljområde anvendt i forbindelse med modelberegninger for analyser af udlægningstæthedens betydning for muslingproduktionen.

Den hydrodynamiske model for sydvestlige Kattegat er opstillet og kørt for perioden 1-1-2011 til 30-6-2012 med tidskridt på 60 sekunder.

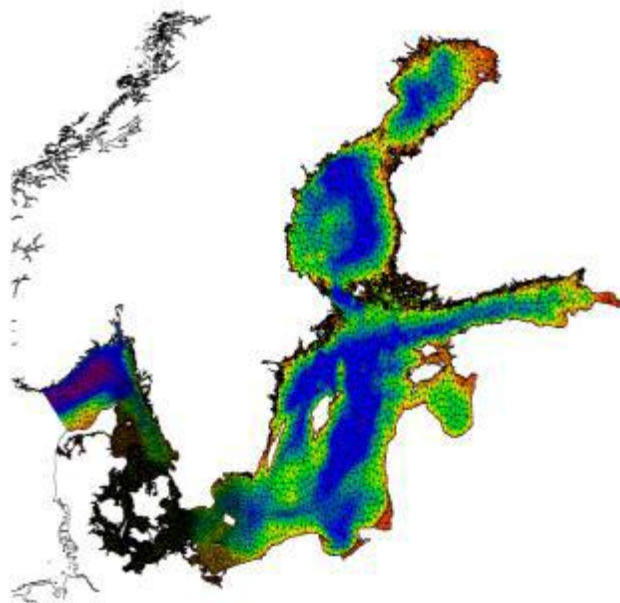
Beregningsnettet har en varierende rumlig opløsning på mellem 500 m – 1500 meter finest i de områder der ligger i området omkring As Vig og syd og sydvest for Endelave. Den vertikale opløsning af modellen består en kombination af fleksible lagtykkelser i de øverste 10 meter af vandsøjlen (sigma-z-lag) og faste lagtykkelser i de dybereliggende lag (z-lag). Lagtykkelsen er sat til 2 m. For de øverste 10 meter af vandsøjlen betyder det, at de 5 lag bevares ved lavere dybder end 10 meter, men med reducerede lagtykkelser.

Meteorologiske drivdata i form af vind, lufttemperatur, lufttryk, "clearness" og nedbør er leveret af StormGeo (Norge).

Ferskvandsafstrømningen til modelområdet for det sydvestlige Kattegat er fordelt og samlet på 7 kilder som vist i Figur 1. Kilderne udgør den samlede ferskvandsafstrømning til modelområdet i form af gennemsnitlige månedlige afstrømninger baseret på klimatologiske data.

Randbetingelser for de 3 åbne rander omfattende vandstand, strømforhold, saltholdighed og temperatur er leveret af DHIs regionale vandudsigtsmodel. Modellen dækker Østersøen, indre Danske Farvande, Kattegat og Skagerrak, se Figur 2.

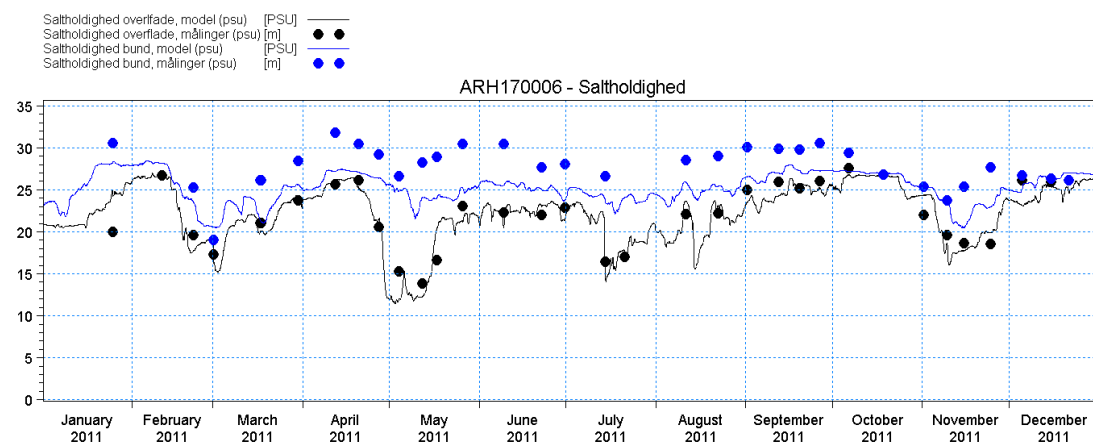




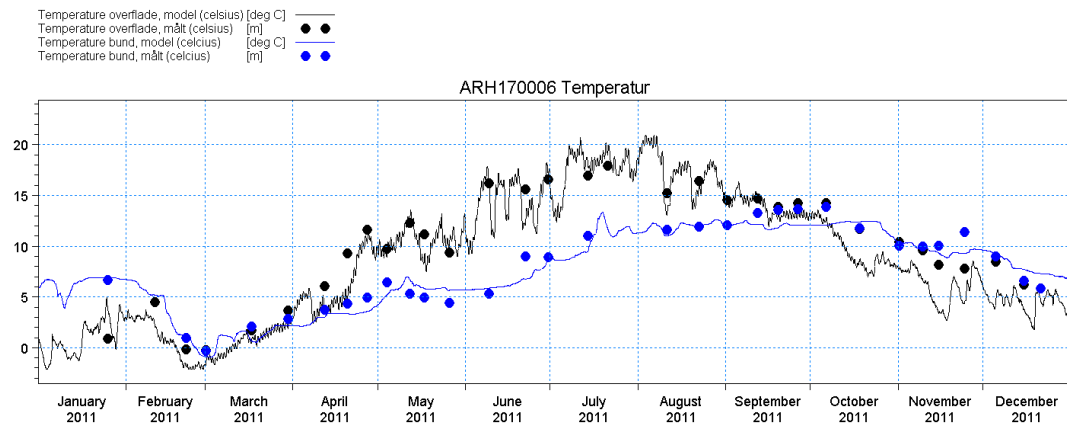
Figur 2 Modelområdet og beregningsnet som er anvendt i den hydrodynamiske model [3]. Modellen har leveret randværdier til den hydrodynamiske model for det sydvestlige Kattegat. Farveskalaen indikerer dybdeintervaller, - lavvandede områder med rød/grøn, og dybere områder med blå.

### 2.2.3 Validering af hydrodynamisk model

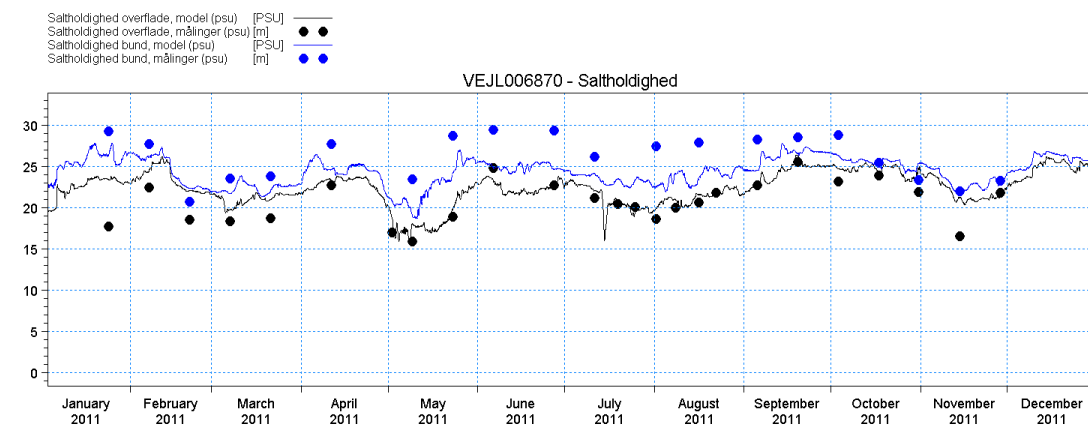
Modellen er kørt med samme kalibrerede modelkonstanter som anvendt i den regionale model. Der er ikke foretaget yderligere kalibrering. Modellen er valideret mod måledata fra 2011 for saltholdighed og temperatur i henholdsvis overflade og bund på to eksisterende målestationer indenfor modelområdet, VEJ0006870 og ARH170006. Placeringen af målestationerne fremgår af Figur 1. Sammenligninger af målte og modelberegne temperatur og saltholdigheder fremgår af Figur 3, Figur 4, Figur 5 og Figur 6.



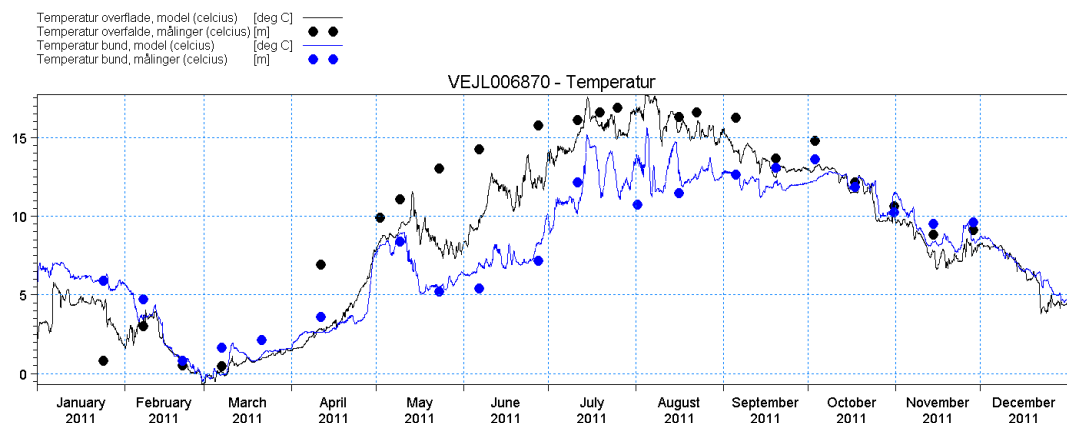
Figur 3 Sammenligning af modelberegne (linjer) og målte (symboler) saltholdigheder for henholdsvis overfladen (sort) og bund (blå) på station ARH170006 ved Århus.



Figur 4 Sammenligning af modelberegnete (linjer) og målte (symboler) vandtemperaturer for henholdsvis overfladen (sort) og bund (blå) i 2011 på station ARH170006 ved Århus.



Figur 5 Sammenligning af modelberegnete (linjer) og målte (symboler) saltholdigheder for henholdsvis overfladen (sort) og bund (blå) i 2011 på station VEJL006870 ved Vejle Fjord.



Figur 6 Sammenligning af modelberegnete (linjer) og målte (symboler) vandtemperaturer for henholdsvis overfladen (sort) og bund (blå) i 2011 på station VEJL006870 ved Vejle.

Sammenligningen mellem målte og beregnede saltholdigheder og temperatur viser en god overensstemmelse i overfladen generelt gennem hele 2011. For bundlaget underestimerer modellen generelt saltholdigheden med mellem 2 og 4 psu for begge stationer, mens der ses god overensstemmelse mellem målte og beregnede temperaturer for perioden. Det vurderes, at modellen på trods af underestimerede saltholdigheder i bundlaget, i tilstrækkelig grad beskriver stratificeringen af vandsøjlen, som har væsentligt betydning for de biologiske processer, som beskrives i den økologiske model, se følgende afsnit.

## 2.3 Økologisk model

### 2.3.1 Software

Den anvendte økologiske model beskrevet i dette afsnit er baseret på DHI's økologiske beregningsmodul ECO Lab som er fuldt integreret i MIKE 3 FM modelsystemet. ECO Lab er en åben ligningsløser, hvor man har mulighed for at bygge matematiske modeller til beskrivelse af vand-kemiske, biologiske og økologiske variable og processer. For yderligere information om ECO Lab henvises til [6].

### 2.3.2 Beskrivelse af økologisk model

Til beskrivelse af fødegrundlaget for muslinger i det sydvestlige Kattegat anvendes en økologiske model. Den økologiske model er sammensat af DHI's standard eutrofierings model (EU2) udvidet til at beskrive 3 fytoplankton grupper, samt en detaljeret beskrivelse af kvælstof (N) og fosfor (P) puljer i sedimentet. Derudover inkluderer modellen en simpel muslingemodel, der beskriver blåmuslingers tilvækst i biomasse og skallængde. Muslingemodellen beskrives separat i afsnit 2.4.

#### 2.3.2.1 Pelagisk model

DHI's standard eutrofieringsmodul beskriver processer relateret til 12 pelagiske komponenter:

- Fytoplankton kulstof (PC), kvælstof (PN) og fosfor (PP)
- Klorofyl-a (CH)
- Zooplankton kulstof (ZC)
- Detritus kulstof (DC), kvælstof (DN) og fosfor (DP)
- Uorganisk kvælstof (NO<sub>3</sub> og NH<sub>4</sub>) og fosfor (PO<sub>4</sub>)
- Opløst ilt (DO)

Modellen beskriver vha. koblede differentiallyigninger en række processer som f.eks. nettovæksten af fytoplankton biomassen som funktion af næringsstoffer, lys, temperatur, sedimentation og død. Effekten af zooplanktons græsningstryk på fytoplankton biomassen indgår også som én af flere tabsprocesser. Både den pelagiske primærproduktion og nedbrydning af dødt organisk materiale indgår i iltbalancen. Der er mulighed for at inkludere bundlevende makroalger og vegetation som ligeledes er integreret med næringsstofcyklussen, iltbalance og omsætningen af dødt organisk materiale. For en detaljeret dokumentation af modellen henvises til [4].

I modellen for det sydvestlige Kattegat er den pelagiske modelbeskrivelse udvidet med H<sub>2</sub>S, silikat, og seks komponenter til beskrivelse af forskellige fraktioner af organisk bundet C, N og P. Desuden modelleres 3 funktionelt forskellige grupper af fytoplankton i stedet for én herunder kieselalger, flagellater og blågrønalger.

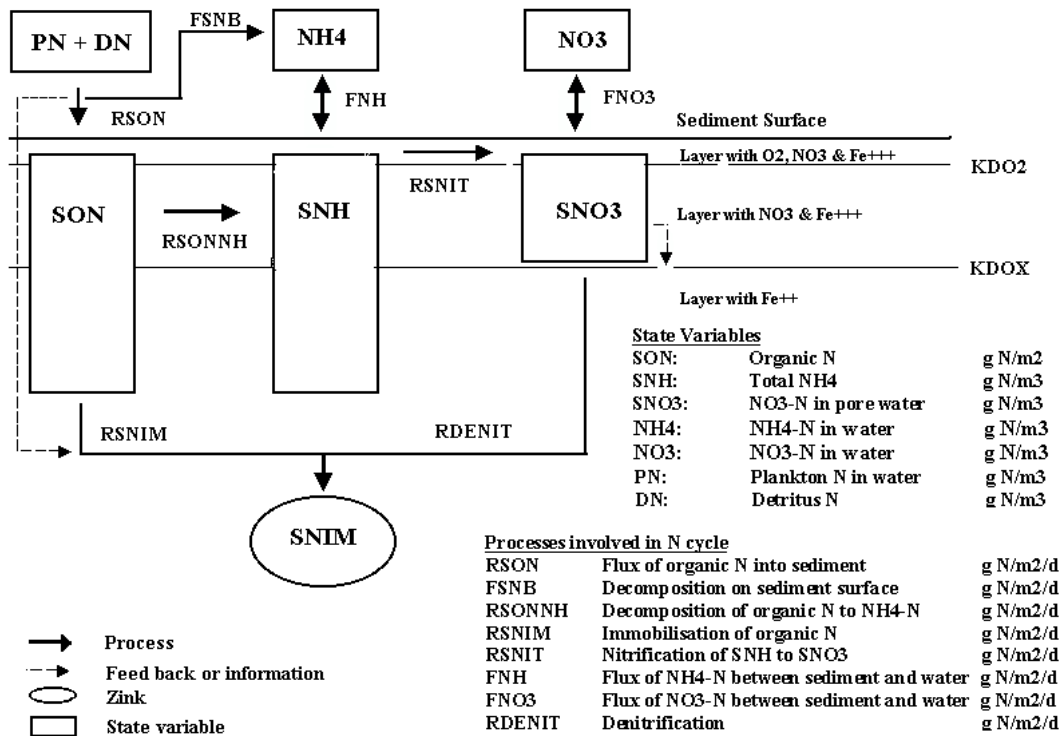
Modellen beskriver i alt 29 pelagiske variable.

### 2.3.2.2 Sediment model

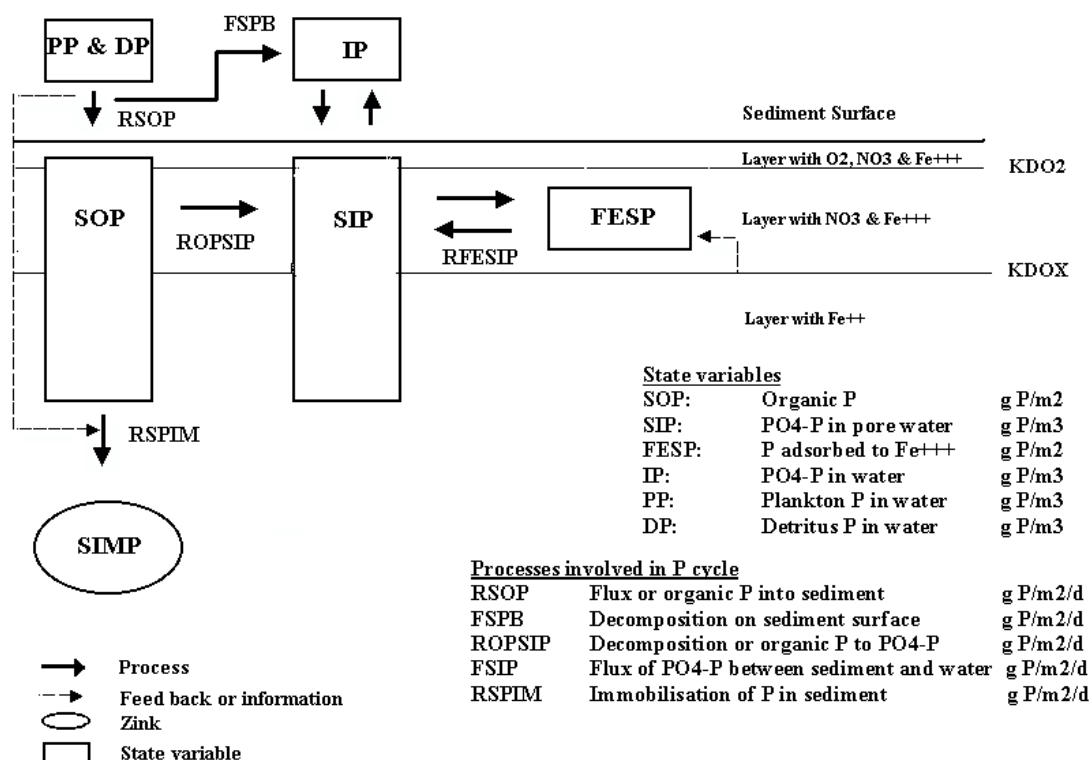
Den udvidede beskrivelse af N og P processer i sedimentet er skematisk vist i Figur 7 og Figur 8, og inkluderer puljerne af:

- Organisk N, porevands  $\text{NH}_4$ , porevands  $\text{NO}_3$  samt den del af N som begravnes og denitrificeres (immobiliseret N)
- Organisk P, porevands P, jernbunden P samt den del af P som begravnes (immobiliseret P)
- Organisk C i sedimentet, samt den del som begravnes (immobiliseret C)
- Silikat i sedimentet
- Ilt-nedtrængning i sediment, tykkelsen af det oxiderede lag, samt puljen af reducerede stoffer i sedimentet ( $\sim \text{gS}/\text{m}^2$ )

Samlet udgør sedimentmodellen 14 tilstandsvariable. For nærmere beskrivelse af sedimentmoduliet henvises til [5].



Figur 7. Skematisk beskrivelse af processer i relation til kvælstof i sedimentet i den økologiske model.



Figur 8 Skematisk beskrivelse af processer i relation til fosfor i sedimentet i den økologiske model.

### 2.3.3 Opsætning af økologisk model

Opsætningen af den økologiske model for det sydvestlige Kattegat er baseret på en regional modelopsætning for hele Østersøen, de Indre Danske Farvande, Kattegat og Skagerrak som anvendes i 2 endnu ikke afsluttede EU finansierede forskningsprojekter som DHI deltager i, COBIOS ([www.cobios.eu](http://www.cobios.eu)) og Aquamar ([www.marcoast.eu](http://www.marcoast.eu)). I forbindelse med disse projekter arbejdes der på at kalibrere en modelopsætning baseret på den økologiske model beskrevet ovenfor i afsnit 2.3.2. Den foreløbige kalibrering af denne modelopsætning er vurderet som det bedst mulige grundlag for at tilvejebringe randbetingelser, initialbetingelser og kalibrerede modelkonstanter for det nærværende modelstudie. Modellen er endnu ikke færdigkalibreret, men beskriver i tilstrækkeligt grad koncentrationer og variationer i klorofylkoncentrationer i perioden 1-1-2011 til 30-06-2012.

For modellen dækkende det sydvestlige Kattegat er der, i forhold til den regionale model, foretaget en enkelt justering. I den regionale model er der medtaget en korrektion af zooplanktons græsning på fytoplanktonbiomassen i sensommer- og efterårsmånederne august-december. Man har de senere år observeret en øget fytoplankton biomasse i denne del af året i forbindelse med masseforekomster af den invasive ribbe gøle, *Mnemiopsis leidyi*, som meget effektivt græsser zooplankton biomassen ned, og det er i denne beskrivelse antaget at dette dermed giver anledning til en højere koncentration af fytoplankton. Denne effekt ses ikke så tidligt på forsommeren i det sydvestlige del af Kattegat i 2011, og derfor er der kun kompenseret for denne effekt fra oktober til december.

Meteorologiske data i form af rumlige tidsserier med 12 timers middelværdier af global lysindstråling omregnet til fotosyntetisk aktivt lys (i enheden Einstein/m<sup>2</sup>/dag) er leveret af StormGeo, Norge. Lysindstråling anvendes til beregning af fytoplanktonproduktionen.

Som initialbetingelser for modellens sediment komponenter er anvendt samme datagrundlag som for den regionale model. Disse er udarbejdet i forbindelse med miljøundersøgelserne af den

faste forbindelse over Femern Bælt. Disse undersøgelser er endnu ikke færdigrapporteret og der henvises til seneste statusrapport [7].

Tilførsel af næringsstoffer fra åer og umålt opland til modelområdet er baseret på data fra det nationale overvågningsprogram. På grund af manglende data for 2011-2012, er der anvendt statistiske gennemsnit for tidligere år (=månedsværdier). Placering af udledningspunkter er vist i Figur 1.

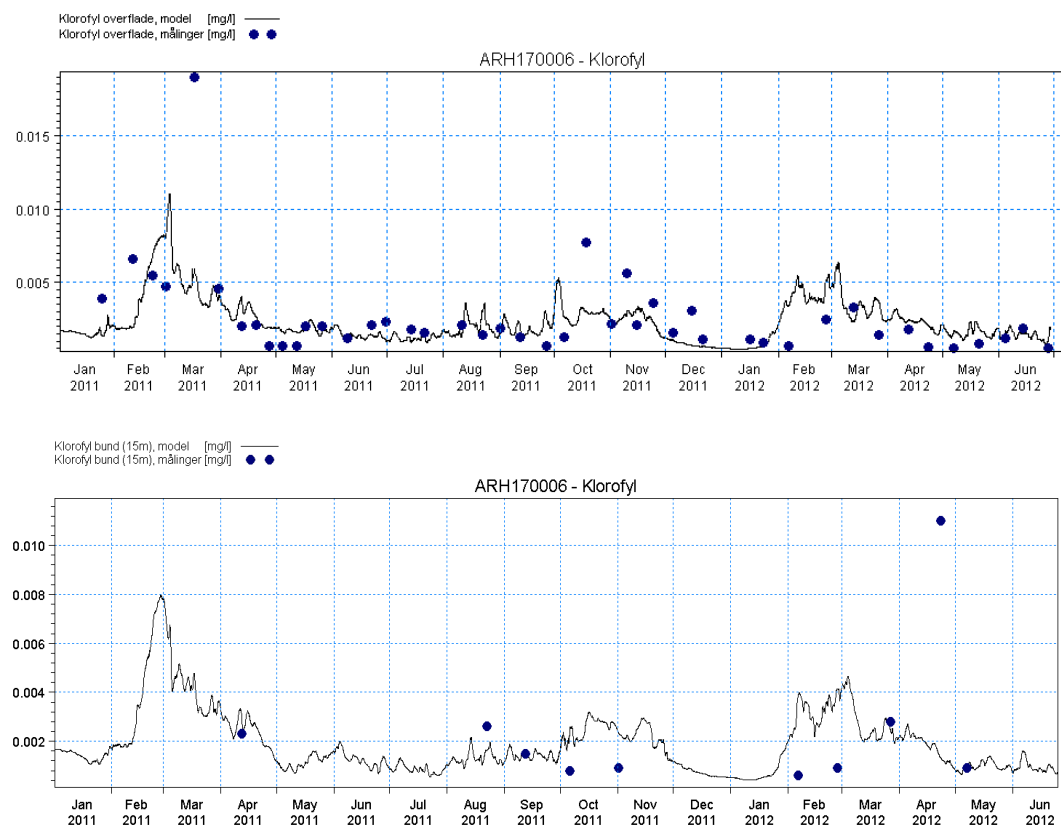
Modellen er kørt for perioden 1-1-2011 til 30-6-2012 med et tidskridt på 5 min.

### 2.3.4 Validering af økologisk model

Validering af den økologiske model af foretaget ved at sammenligne simulerede koncentration af klorofyl, nitrat-kvælstof, uorganisk fosfor og ilt med målte værdier fra to målestationer, VEJ0006870 og ARH170006. Sammenligninger er foretaget for både overflade og bund. Placering af målestationerne er vist i Figur 1.

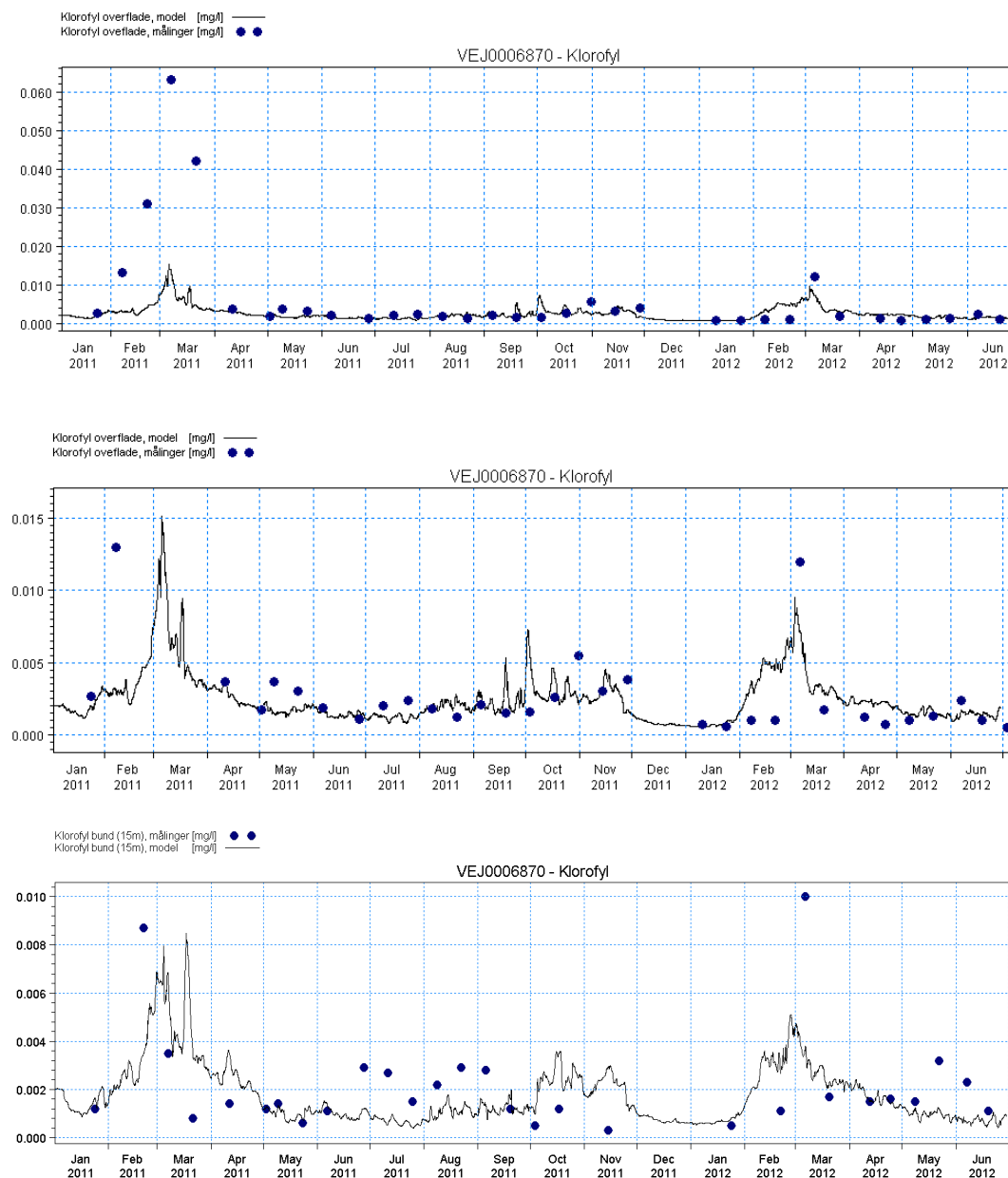
I Figur 9 og Figur 10 er vist sammenligninger mellem målte og beregnede koncentrationer af klorofyl for henholdsvis station VEJ0006870 og ARH170006. I Bilag A er vist de øvrige sammenligninger foretaget for nitrat-kvælstof, uorganisk fosfor og ilt.

Det primære mål med den økologiske model er at sikre, at den i tilfredsstillende grad beregner fødegrundlaget for muslinger i form af fytoplankton koncentrationen. Da der ikke eksisterer nogle analyser af fytoplanktonkoncentrationen, anvendes i stedet klorofylkoncentrationen, som er korreleret med den samlede koncentration af fytoplanktonkulstof for alle tre fytoplanktonarter.



Figur 9 Sammenligning mellem målte (symboler) og beregnede (kurve) koncentrationer af klorofyl i overfladen(øverst) og i bunden (nederst) ved station ARH170006 i Århus bugt.

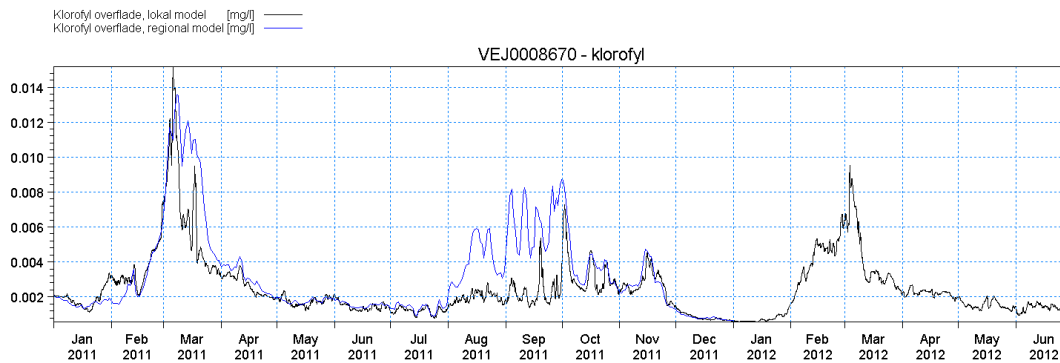
Sammenligningerne i Figur 9 og Figur 10 viser generelt en god overensstemmelse mellem målte og beregnede koncentrationer af klorofyl med en særlig undtagelse. I foråret 2011 viser målingerne, specielt for station VEJ00068700, en meget høj klorofylkoncentration som modellen ikke simulerer. Netop i 2011 var der en usædvanlig opblomstring af arten *Chattonella sp.* i de indre danske farvande. Det er uklart præcis hvad årsagen var. Den anvendte økologiske model inkluderer ikke *Chattonella sp.*, og derfor beskriver modellen ikke denne usædvanlige forårsopblomstring. Den beregnede forårsopblomstring i 2011 vurderes dog at være på niveau med den forårsopblomstring, der er observeret for andre år.



Figur 10 Sammenligninger af målte (symboler) og beregnede (kurver) koncentrationer af klorofyl ved station VEJ0008670 nordøst for Vejle fjords udmundning i Kattegat. Øverst: overflade, midt: overflade (ekskl. Forårstoppen), nederst: 15 m's dybde.

I Figur 11 er vist sammenligning mellem klorofylkoncentrationen beregnet med modellen for det sydvestlige Kattegat, og klorofylkoncentrationen beregnet med den regionale model som har leveret randværdier og initialværdier til Kattegatmodellen. Sammenligningen er vist for station VEJ0008670 for overfladen. Forskellen som ses for perioden august til september, skyldes den

korrektion i forhold til effekten af ribbegoplernes græsningseffekt på zooplankton, som er omtalt i afsnit 2.3.3.



Figur 11 Sammenligning af klorofyl koncentrationer beregnet vha. modellen for det sydvestlige Kattegat (med sort) og beregnet vha. modellen som har leveret randværdier og initialværdier (under udvikling i COBIOS og MARCOAST projekterne – se tekst)

Sammenligning af målte og simulerede koncentration af nitrat-n (Bilag A) viser generelt en tilfredsstillende overensstemmelse med undtagelse af forårsperioderne i både 2011 og 2012. Simulerede nitratkoncentrationer falder senere end målte. At modellen alligevel beskriver en rimelig klorofylkoncentration (f.eks. i foråret 2012) skyldes at silikatpuljen i modellen udtømmes af kieselalger (ikke vist), som derved bliver det begrænsende næringsstof for fytoplanktonproduktionen. Balancen mellem silikat- og kvælstof-begrænsning er ikke tilstrækkeligt kalibreret på plads i den anvendte model. Dette har dog ikke betydning for muslingernes simulerede føde-resurse i form af fytoplanktonkulstof, da simulerede klorofylkoncentrationer er tilfredsstillende i produktionsperioden.

Sammenligning af målte og simulerede koncentrationer af uorganisk fosfor (~opløst fosfat) viser en mindre tilfredsstillende overensstemmelse (Bilag A). Dels er de simulerede niveauer generelt for lave, og for station ARH170006 er der i sommermånederne en tydeligt fosforfrigivelse fra sedimentet, som giver for høje fosforkoncentrationer. Problemet er begrænset til området omkring Århus bugt, og skyldes manglende kalibrering af sedimentpuljer og parametre for de lavvandede områder. Da fytoplanktonproduktionen for modelområdet generelt af begrænset af kvælstof (og silikat i forårsperioden) har dette dog ingen betydning for de beregnede koncentrationer af muslingernes fødegrundlag.

Simulerede ilt-koncentrationer (Bilag A) viser tilfredsstillende overensstemmelse med målte koncentrationer for overfladen for begge stationer. I bundlaget beregner modellen generelt for begge stationer for høje iltkoncentrationer i sommermånederne svarende til en forskel på op til 2 mg/l. Målte iltkoncentration i bundlaget ligger ikke under 5 mg/l, og det vurderes at dette ilt-niveau ikke vil være begrænsende for muslingeproduktionen i nogen væsentlig grad.

## 2.4 Muslingemodel

Den anvendte muslingemodel beskrevet i dette afsnit er alene anvendt til at beskrive muslinge-produktionen på kulturbanken ved As Vig. Modellen er derfor kun opsat for et mindre delområde umiddelbart omkring placeringen af kulturbanken. I det følgende gives en kort beskrivelse af tilgængelige data fra forsøget med udlægning af muslinger på kulturbanken, en beskrivelse af modellen og modelopsætningen samt resultater af modelkalibreringen.

### 2.4.1.1 Data fra kulturbanke

Som grundlag for modelopsætning og kalibrering af muslingemodellen anvendes data, som er tilvejebragt i forbindelse med forsøget med udlægning af linedyrkede muslinger på kulturbanken ved As Vig i perioden 28. maj 2011 til 21. juni 2012. Der er i perioden flere gange målt gennemsnitlige skallængder, biomasser (g vådvægt/m<sup>2</sup>) og kødindhold (i %), se Tabel 1.

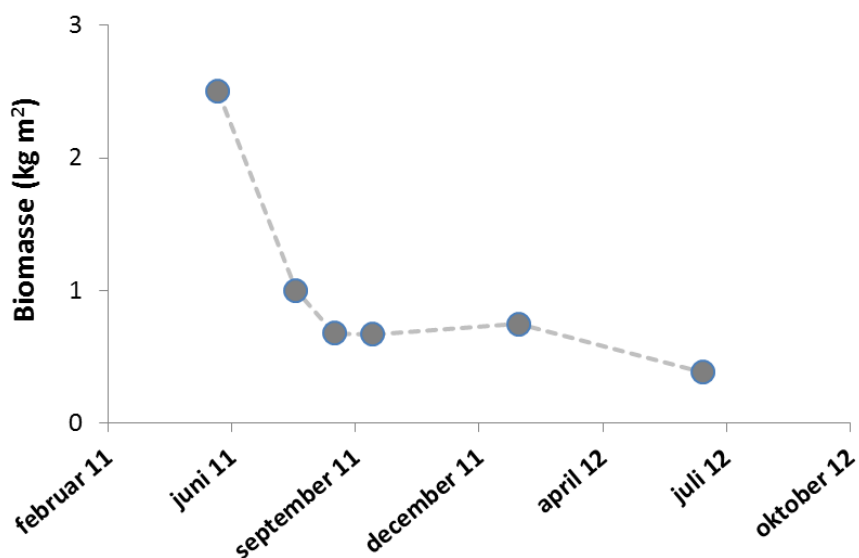


Tabel 1. Måledata tilgængelige fra forsøg med udlægning af muslinger på kulturbanke ved As Vig.

	Skallængde mm	Biomasse g/m <sup>2</sup>	Køddindhold %
26-05-2011	x	x	x
28-07-2011		x	x
28-08-2011		x	
28-09-2011	x	x	x
24-01-2012	x	x	x
16-04-2012			x
21-06-2012	x	x	x

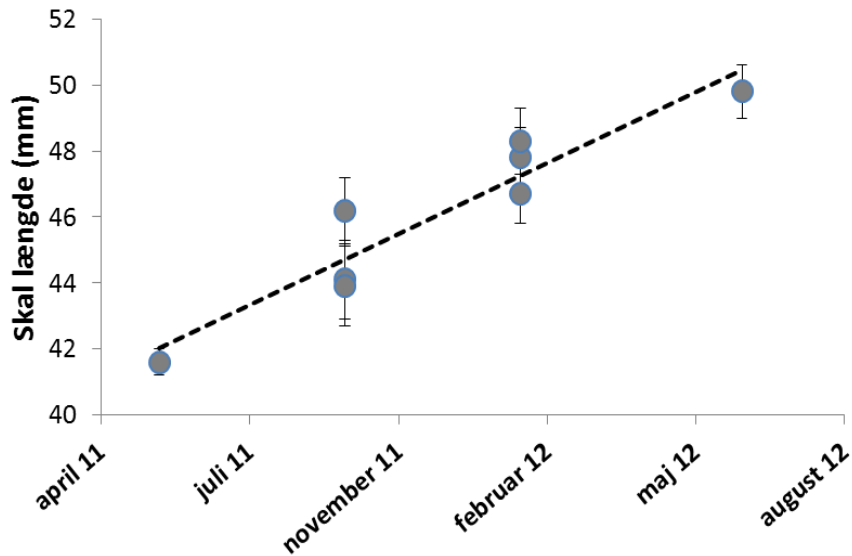
Estimerede biomasser, målte skallængder og målt køddindhold fremgår af Figur 12, Figur 13 og Figur 14.

Estimerede biomasser viser en kraftig reduktion i biomassen umiddelbart efter udlægning fra ca. 2,5 kg/m<sup>2</sup> til ca. 1 kg/m<sup>2</sup>. Dette skyldes formentlig en for klumpet og uensartet fordeling af muslingerne i forbindelse med udlægningen. Derefter ses et yderligere fald og derefter en stigning i biomassen til ca. 0,75 kg/m<sup>2</sup> frem til januar 2012. I juli 2012 er den indsamlede mængde muslinger ved afhøstning opgjort til 0,39 kg/m<sup>2</sup>. Det vurderes at der er en betydelig usikkerhed ved disse tal. Dels er værdier for biomassen svære at estimere uden en total ophøstning, og dels er der formentlig ikke ubetydelige mængder tilbageværende muslinger som ikke er ophøstet ved forsøgets afslutning. En anden faktor af betydning for den udviklingen i biomassen som ses, kan også være tilstedeværelsen af flokke af edderfugle som er set i området og som kan indtage en ikke helt uvæsentlig del af muslingerne.



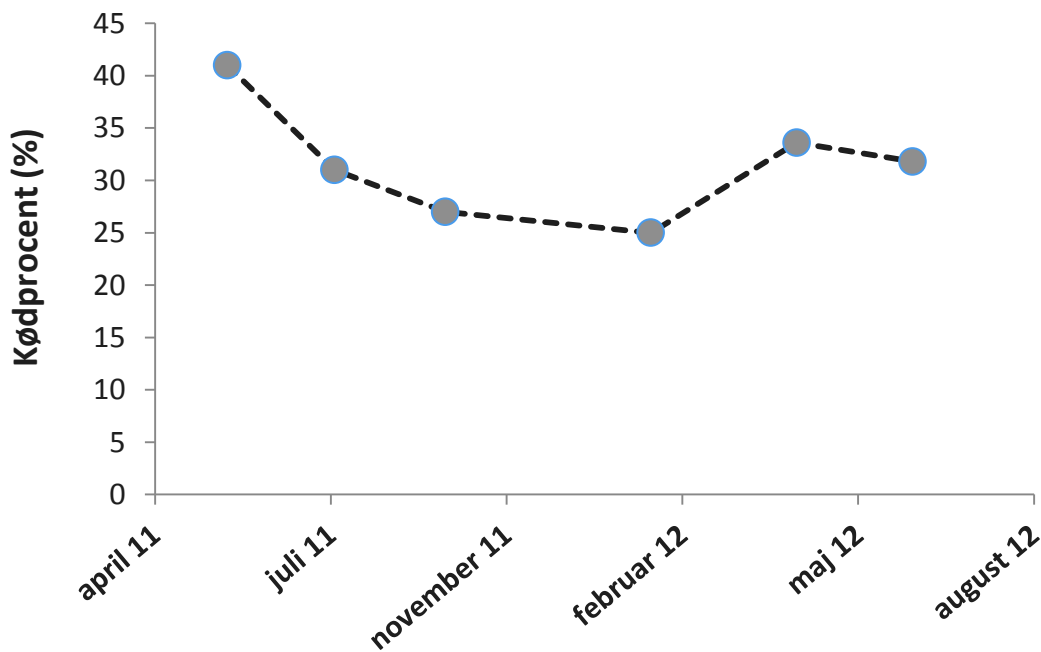
Figur 12 Estimerede biomasser af udlagte muslinger (kg vådvægt/m<sup>2</sup>) på kulturbanken ved As Vig på forskellige prøvetagningstidspunkter.

Udviklingen i muslingernes skallængder viser god tilvækst gennem hele perioden, dog med en væsentlig spredning. Den gennemsnitlige skallængde ved udlægning er 41,6 mm og ved forsøgets afslutning 49,8 mm.



Figur 13 Målte gennemsnitlige skallængder af indsamlede muslinger (mm) fra kulturbanken ved As Vig på forskellige prøvetagningstidspunkter. For hvert punkt er vist intervaller for standard fejl.

Kødprocenten er på 41 % ved udlægningstidspunktet, hvilket er relativt højt, og på trods af et forventet fald i kødprocenten efter udlægningen, så er kødprocenten stadig forholdsvis høj ved forsøgets afslutning, - ca. 32 %.



Figur 14 Målte kødprocenter af udlagte muslinger (%) på kulturbanken ved As Vig på forskellige prøvetagningstidspunkter.

## 2.4.2 Beskrivelse af muslingemodel

Til beskrivelse af muslingers biomasse og tilvækst på kulturbanker anvendes muslingemodel, der inkluderer 3 variable:

- Muslingebiomasse i  $\text{gC}/\text{m}^2$  (musB)
- Muslingeantal i  $\text{antal}/\text{m}^2$  (musN)
- Skallængde i mm (musL)

Muslingernes tilvækst i biomassen (i  $\text{gC}/\text{m}^2/\text{dag}$ ) er beskrevet som en funktion af muslingernes gælleareal ( $\sim$ proportional med muslingernes skallængde), tilgængeligt føde, temperatur og iltkoncentration i vandet.

Muslingernes vækst i skallængde beskrives som en fast relation mellem muslingernes beregnede kødindhold (som askefri tørvægt afledet af musB), deres kondition og en forventet skallængde. I det tilfælde hvor muslingerne mister kødindhold pga. sult eller hvor muslingerne begynder ses kondition er en hvis størrelse, vil tilvækst i skallængden stoppe. I perioder hvor kondition er tilstrækkelig høj, vil skaltilvæksten øges dog med en fastsat maksimal vækstrate.

Antallet af muslinger per  $\text{m}^2$  holdes konstant svarende til udlægningstætheden, så længe muslingernes kondition kan opretholde det basale stofskifte, men vil reduceres i kraft af en øget dødelighed beskrevet som en 2.ordens relation til muslingernes kondition, når konditionen falder.

Fødegrundlaget beskrives som summen af fytoplanktonkoncentrationen af alle tre fytoplanktongrupper og en fraktion af koncentrationen af dødt organisk materiale.

For at beskrive muslingernes græsningstryk på fytoplankton og dødt organisk materiale, beregnes en "clearance" rate ud fra muslingernes beregnede produktion. Clearance raten indgår direkte i de ligninger i den pelagiske model, der beskriver fytoplanktonbiomassen og koncentrationen af dødt organisk materiale. Derved kan modellen beskrive den fødebegrænsning, der induceres af muslingernes egen græsning, hvilket er en vigtig proces, når man skal beregne en optimal udlægningstæthed af muslinger på kulturbanker.

## 2.4.3 Opsætning af muslingemodel

Mens den hydrodynamiske model for sydvestlige Kattegat (Figur 1) er anvendt som grundlag for kortlægning af optimale områder for muslingeproduktion, så er der anvendt et mindre område med et mere detaljeret beregningsnet i forbindelse med analyser af muslingeproduktionen som funktion af udlægningstæthed i bundkultur ved As Vig. Dette beregningsnet fremgår af Figur 15. Der er anvendt den samme vertikale beskrivelse som i modellen for det sydvestlige Kattegat.

Placeringen og udstrækningen af kulturbanken er beskrevet som et område på  $100 \times 300$  meter. Hjørnekoordinater (i geografiske koordinater WGS84) for udlægningsområdet er angivet nedenfor:

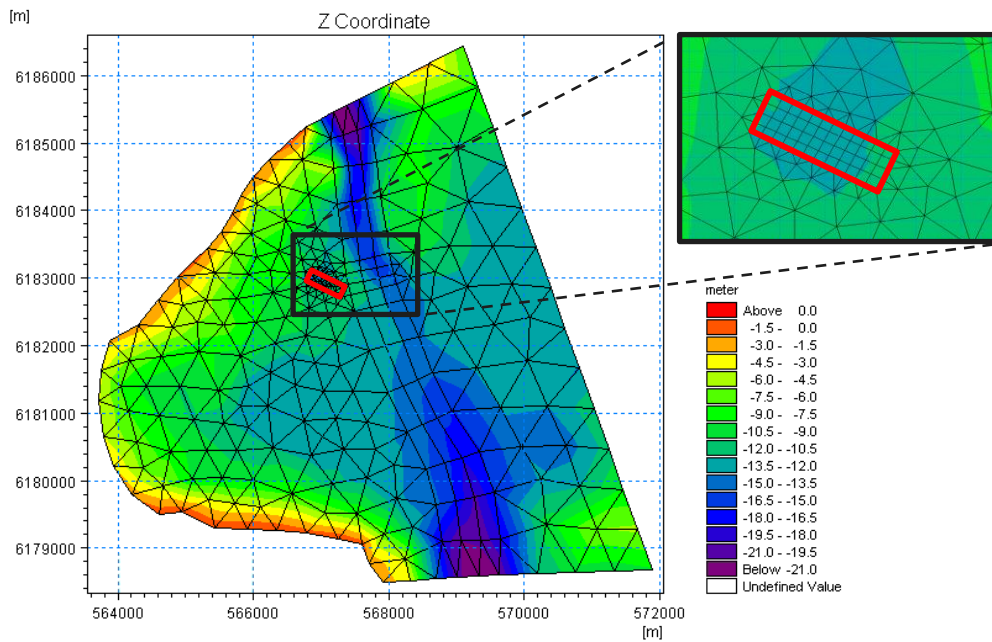
55 47,330 10 04,000

55 47,258 10 04,258

55 47,214 10 04,203

55 47,284 10 03,949

Udlægningsområdet er i beregningsnettet opdelt i kvadrater à  $25 \times 25$  meter. Denne detaljeringsgrad er anvendt for at sikre at modellen kan beskrive at muslingerne konkurrerer om fødersursen. Ved høje individtætheder vil muslingernes filtration gradvist reducere fødetilgængeligheden på tværs, eller på langs, af kulturbanken, afhængig af strømretningen.



Figur 15. Beregningsnet for detailmodel anvendt i forbindelse med analyser af betydningen af udlægningstætheden af muslinger på muslingeproduktionen. Placeringen af detailmodel i forhold til modelområdet anvendt i modellen for det sydvestlige Kattegat fremgår af Figur 1. Farveskalaen viser dybdeintervaller i forhold til middelloverfladeniveau. Rød firkant angiver kulturbanke med et produktionsområde på 100x300 m. Koordinater er angivet i UTM32.

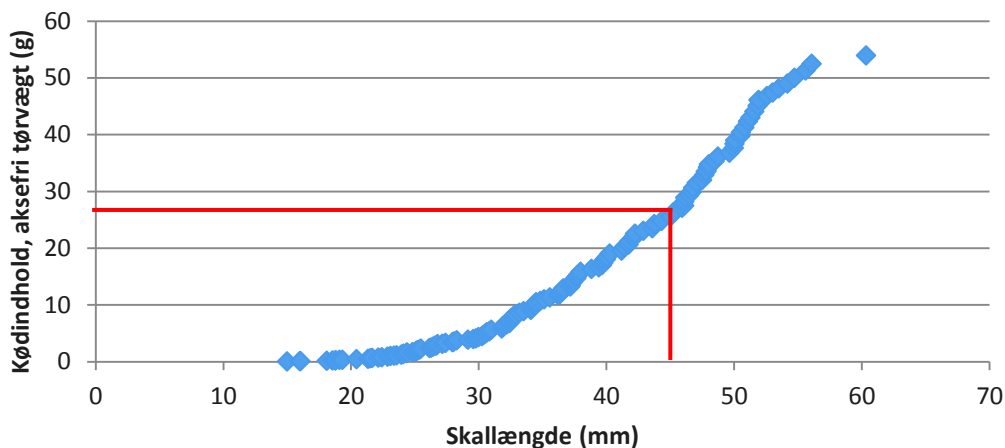
For beskrive de hydrodynamiske forhold omkring kulturbanken er anvendt randværdier udtrukket fra den hydrodynamiske model for det sydvestlige Kattegat beskrevet i afsnit 2.2.

For at beskrive fødegrundlaget i området omkring kulturbanken er der ligeledes udtrukket randbetingelse fra den økologiske model opstillet for det sydvestlige Kattegat som beskrevet i afsnit 2.3.

Der er anvendt samme økologiske modelbeskrivelse som i modellen for det sydvestlige Kattegat mht. modelparametre, initialbetingelser m.m.

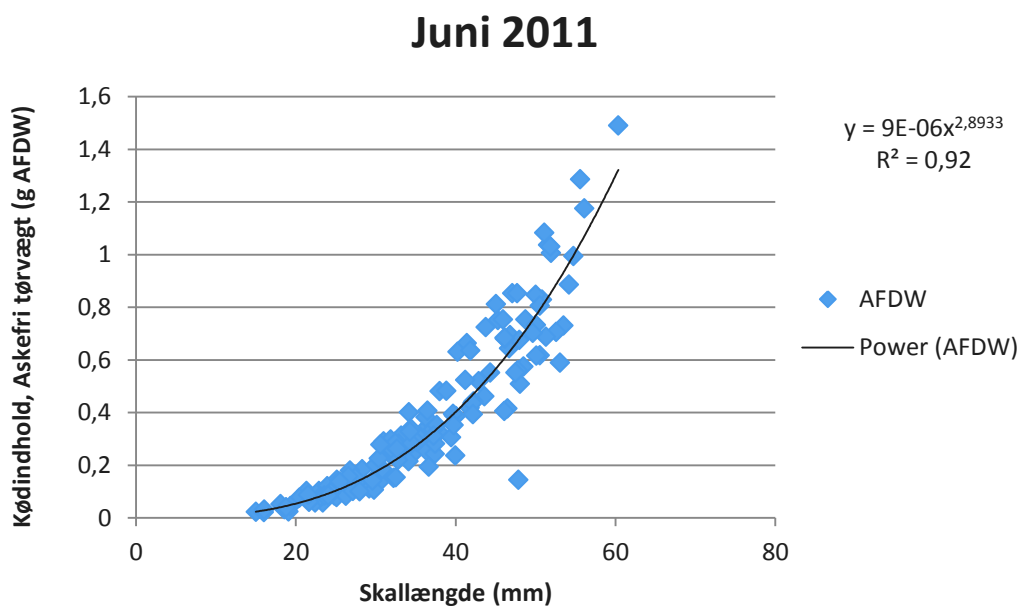
Som grundlag for initialbetingelser (=muslingernes størrelse og antal ved simuleringens start) anvendes de data, der er indsamlet fra kulturbanken ved As Vig i forbindelse med udlægning af muslingerne i juni 2011. Der er anvendt en initial skallængde på 45 mm. Den anvendte skallængde er fundet baseret på samhørende målte skallængder og kødets askefri tørvægt, ved at beregne den akkumulerede vægt af den repræsentative længde-sorteret prøve af muslinger, og finde den skallængde der svarer til præcis halvdelen af den akkumulerede vægt, se Figur 16.

## Akkumuleret askefri tørvægt, juni 2011



Figur 16. Blå symboler viser akkumuleret askefri tørvægt af muslingernes køddindhold (g) som funktion af skallængden (mm) af en repræsentativ længde-sorteret prøve af muslinger indsamlet i forbindelse med udlægning af muslinger på kulturbanken ved As Vig i juni 2011. Rød vandrette linje svarer til 50 % af den akkumulerede tørvægt. Rød lodrette linje viser den tilsvarende skallængde anvendt som initialbetingelse i muslingemodellen.

Figur 17 viser sammenhæng mellem målte skallængder og muslingernes køddindhold målt som askefri tørvægt. Der er indlagt en tendenslinje baseret på en potensfunktion, der viser en meget fin sammenhæng med en  $R^2$  værdi på 0,92. Beregnet vha. potensfunktionen svarer en skallængde på 45 mm til et køddindhold som askefri tørvægt på 0,546 g/dyr.



Figur 17. Sammenhæng mellem målte værdier af udlagte (på kulturbanke) muslingers skallængde og kødvægt målt som askefri tørvægt (AFDW) undersøgt i juni 2011 (blå symboler). Sort kurve viser potensfunktion, der beskriver bedste fit med en  $R^2$  værdi på 0,92.

Den samlede udlægningsmængde er opgjort til ca. 70 tons vådvægt (inkl. skaller) svarende til en udlægningstæthed på 2,33 kg/m<sup>2</sup>. Imidlertid blev der ved prøvetagninger i juli måned påvist, som beskrevet tidligere, at en stor del af de udlagte muslinger var døde formentlig pga. en for uensartet og klumpet udlægning i området. Der er derfor antaget en levedygtig udlægningskoncentration i slut-maj svarende til estimerede biomasser i august 2011 (se Figur 12) på 0,68 kg/m<sup>2</sup>. Udlægningsmængden er omregnet til 40,0 gC/m<sup>2</sup> ved at gange med en faktor 0,058. Faktoren er bestemt ud fra en antagelse om kødindhold (tørstof i forhold til brutto-vådvægt) på 14 % og et kulstof/tørstof forhold på 42 %. De 14 % er antaget på baggrund af de meget høje kødprocenter, som er målt i forbindelse med udlægning af muslingerne i juni 2011, se Figur 14.

Der er ikke i forbindelse med prøvetagninger foretaget bestemmelser af individtætheden. Denne er alene baseret på forholdet mellem den samlede udlægning af antaget levedygtige individer (kg), den beregnede muslingevægt (g/musling) og det samlede antagne udlægningsareal (m<sup>2</sup>). På den baggrund er det vurderet, at individtætheden (af levedygtige individer) ved forsøgets start var på 174 ind./m<sup>2</sup>. Det skal bemærkes, at der er nogen usikkerhed på dette estimat.

På baggrund af ovenstående er følgende initialbetingelser anvendt i muslingemodellen:

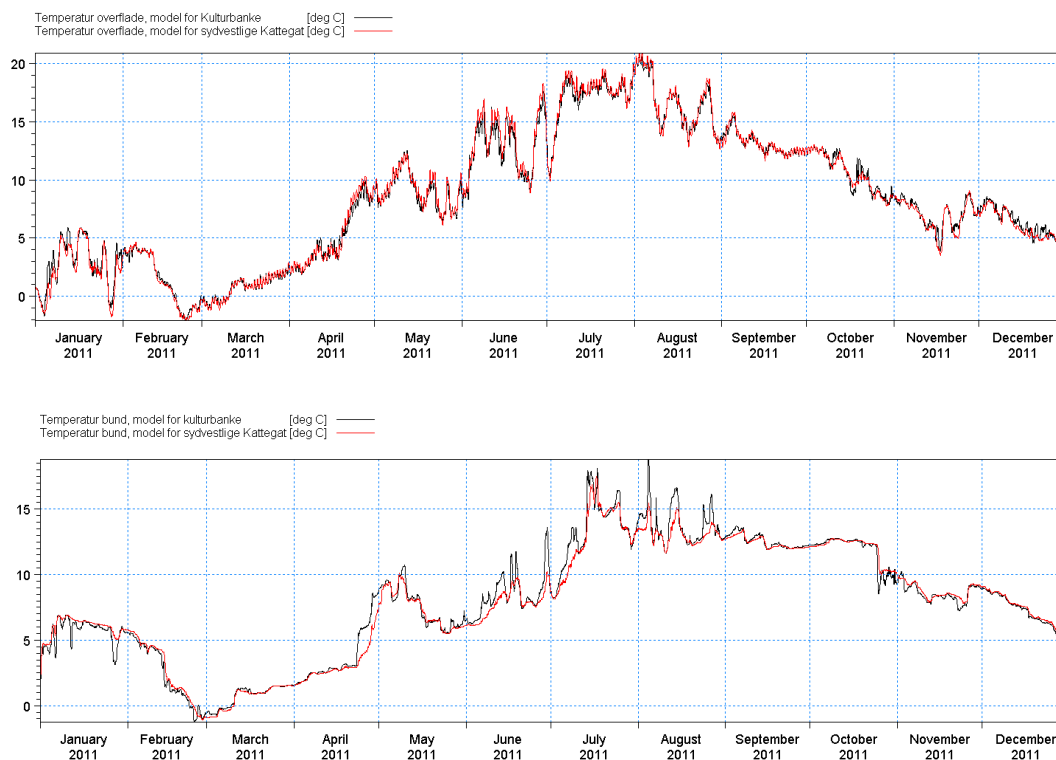
Muslingebiomasse	40,0 g/m <sup>2</sup>
Muslingers skallængde	45 mm
Individtæthed	174 ind./m <sup>2</sup>

Muslingemodellen er opstillet og kalibreret for perioden 30-5-2011 til 30-6-2012 svarende til den periode, hvor der er foretaget forsøg med udlægning af linedyrkede muslinger.

## 2.4.4 Kalibrering/-validering af muslingemodel

### 2.4.4.1 Validering af den hydrodynamiske model

Der er ikke foretaget nogen modelkalibrering af den hydrodynamiske model men alene en validering af modelresultater. Validering er foretaget ved at sammenligne resultater for den lokale model med resultater for modellen for sydvestlige Kattegat. Sammenligningen i Figur 18 er foretaget for temperatur i overflade og bund, og der ses en tilfredsstillende overensstemmelse mellem de to modeller. Resultaterne forventes ikke at være nøjagtig ens, da et mere detaljeret beregningsnet anvendt i den lokale model i et vist omfang vil simulere hydrodynamiske forhold i en højere rumlig opløsning, end hvad der er muligt i den større model, og dermed give anledning til en vis afvigelse. Men den overordnede dynamik af systemet er bevaret.

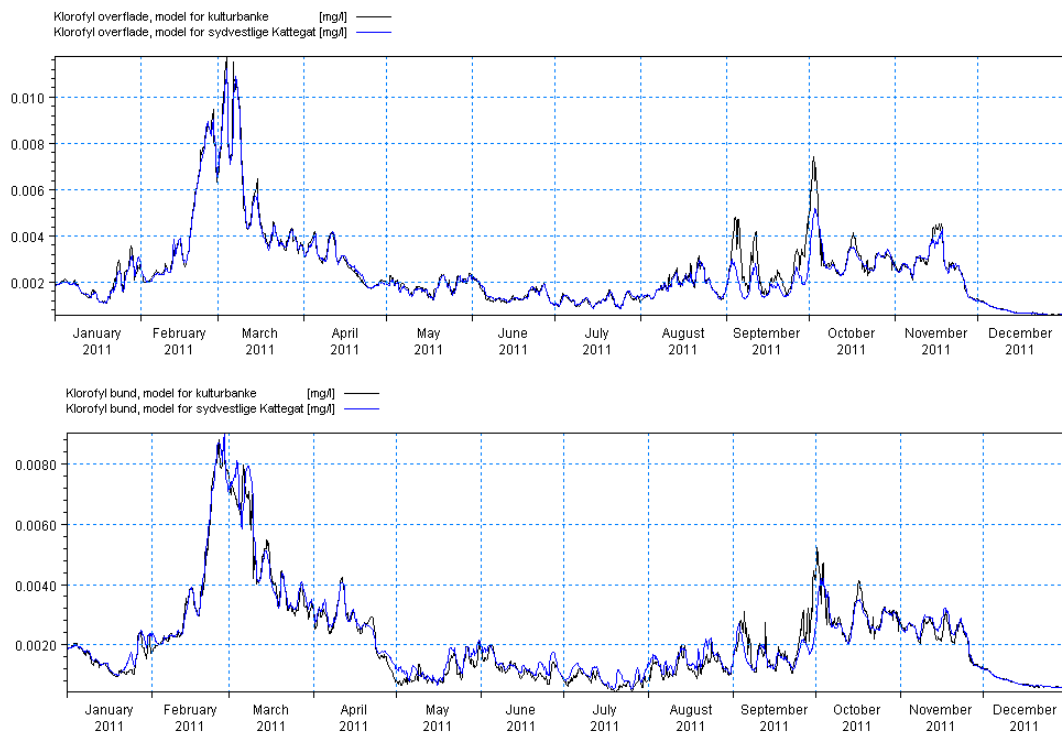


Figur 18. Sammenligning af temperatur i overfladen (øverst) og bund (nederst) beregnet vha. henholdsvis den lokale model for kulturbanken (med sort) og modellen for det sydvestlige Kattegat (med rødt).

#### 2.4.4.2 Validering af den økologiske model

Der er ikke foretaget nogen modelkalibrering af den økologiske model for kulturbanken, men alene en validering af modelresultater. Validering er foretaget ved at sammenligne resultater for klorofyl for den lokale model med resultater for modellen for det sydvestlige Kattegat. Klorofyl er valgt, da det er en parameter, der er direkte korreleret med den del af det samlede fødegrundlaget, der udgøres af fytoplankton, som i modellen er beskrevet ved fire algearter.

Resultatet af sammenligningen fremgår af Figur 19 for henholdsvis overflade og bund i et punkt midt i kulturbanken ved As Vig. Sammenligningen viser en god overensstemmelse mellem de to modeller.



Figur 19. Sammenligning af klorofyl i overfladen (øverst) og bund (nederst) beregnet vha. henholdsvis den lokale model for kulturbanken (med sort) og modellen for det sydvestlige Kattegat (med blå).

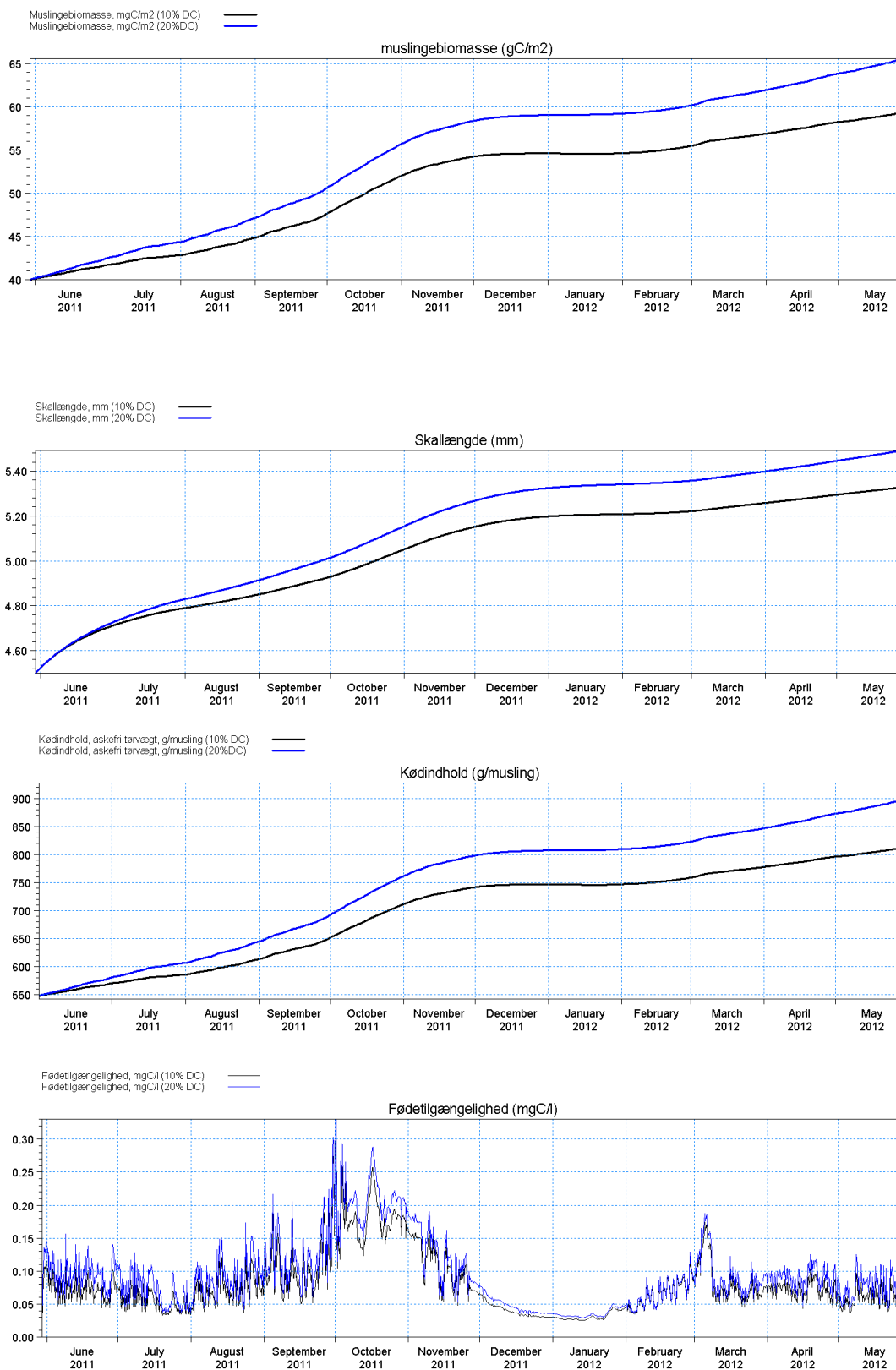
#### 2.4.4.3 Kalibrering af muslingemodel

Muslingemodellen er kalibreret for perioden 28-06-2011 til 30-06-2012. Modellen er primært kalibreret mhp. at simulere den observerede tilvækst i muslingenes kødindhold og skallængde. En af de vigtigste parametre for muslingernes tilvækst er naturligvis fødegrundlaget. Fødegrundlaget alene, bestående af fytoplankton, kan imidlertid ikke forklare hele den observerede tilvækst i muslingers størrelse. Muslinger kan udnytte dele af den pulje i vandet, der kan beskrives som såkaldt dødt organisk materiale. Puljen består bl.a. af døde alger, bakterier og andet let omsætteligt organisk materiale. Præcist hvor stor en fraktion, muslingerne kan udnytte, er usikkert, og afhænger af sammensætningen af denne pulje. For at sikre en beregnet udvikling i muslingernes størrelser er der, udover fødegrundlaget bestående af de 3 simulerede fytoplanktonarter, anvendt en fraktion svarende til 20 % af den pulje i modellen, der beskriver dødt organisk materiale.

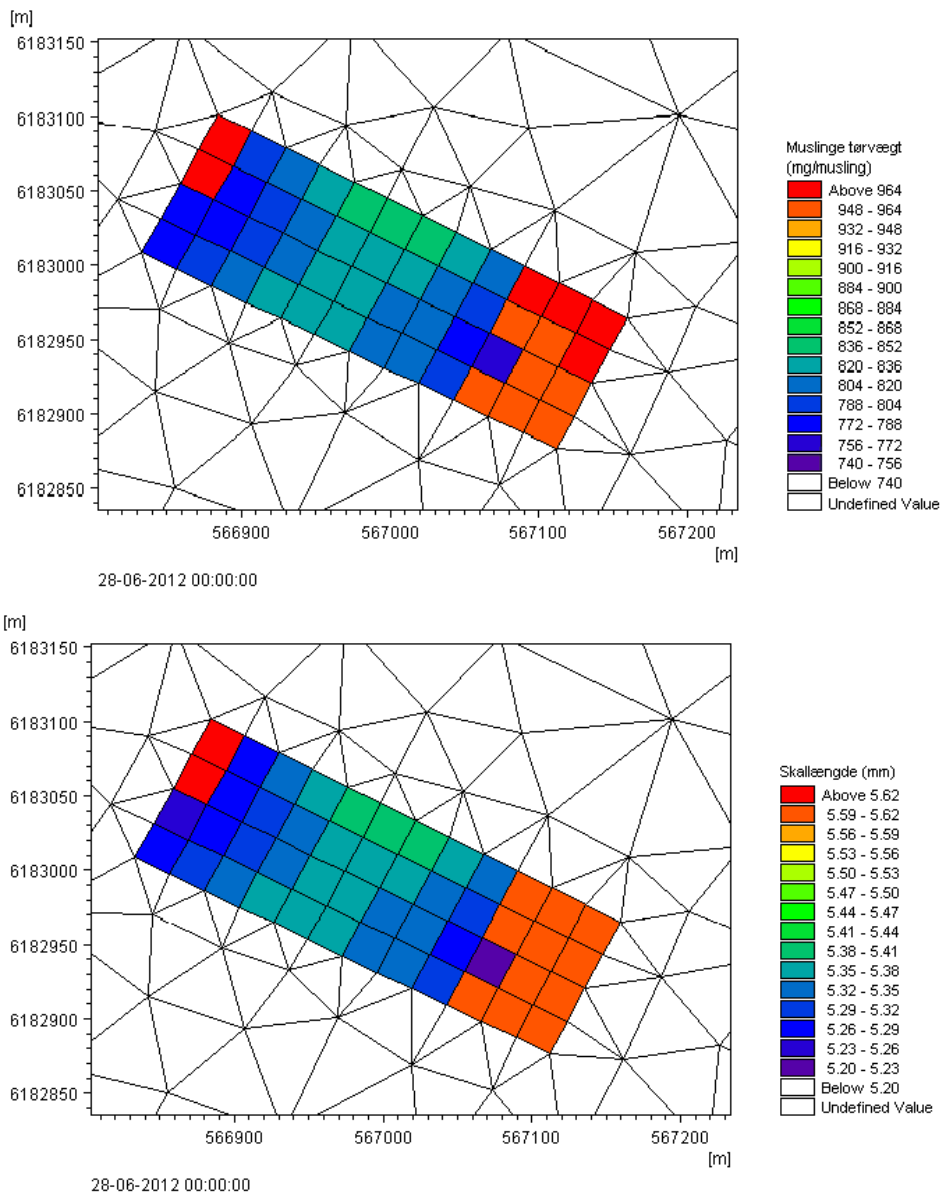
Resultatet af kalibreringssimuleringerne fremgår af Figur 20 og Figur 21. I Figur 20 ses udviklingen af muslingebiomassen ( $\text{gC}/\text{m}^2$ ), skallængden (mm), muslingernes kødindhold som askefri tørvægt ( $\text{g}/\text{musling}$ ) og simuleret tilgængelig fødekonzentration over bunden ( $\text{gC}/\text{m}^3$ ). I Figur 20 er der medtaget resultater fra en simulering, hvor der er anvendt en fraktion svarende til 20 % dødt organisk materiale, for at vise betydningen af dødt organisk materiale som fødegrundlag.

Figur 21 viser den simulerede arealmæssige variation af muslingers kødindhold (som askefri tørvægt) og skallængden indenfor kulturbanken ved forsøgets afslutning.





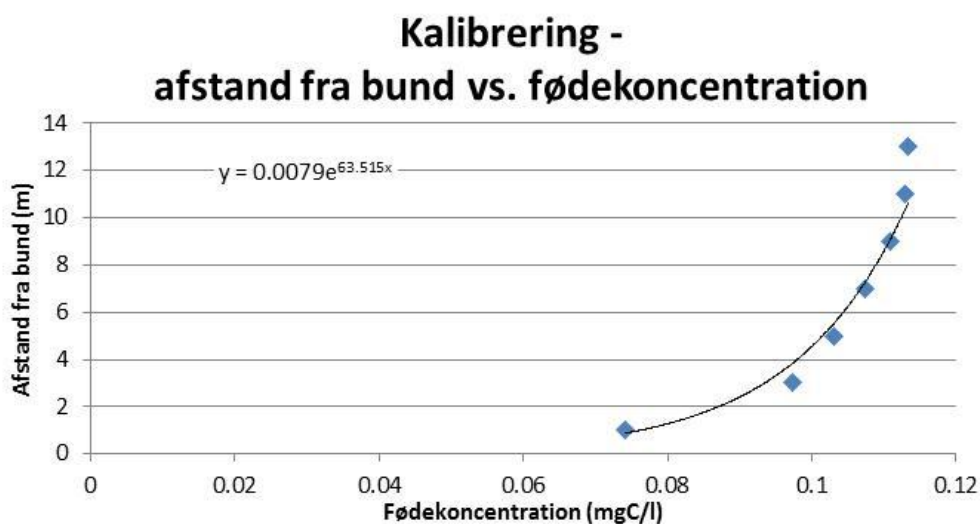
Figur 20. Resultater fra kalibreringssimuleringer af muslinge-model for perioden 30. maj 2011 – 30. juni 2012. Øverst udviklingen i muslinge-biomassen (gC/m<sup>2</sup>), næst-øverst udviklingen i muslingernes gennemsnitlige skallængde (mm), næst-nederst udviklingen i muslingers kødvægt (g askefri tørstof/musling) og nederst udviklingen i muslingernes fødegrundlag (g C/m<sup>3</sup>). Sorte og blå kurver viser beregninger hvor henholdsvis 10 % og 20 % af simuleret detritus kulstof, DC, (~dødt organisk kulstof) er medtaget som fødegrundlag udover kulstof stammende fra den simulerede fytoplanktonkoncentration.



Figur 21. Figureerne viser kulturbanken ved As Vig som beskrevet i modellen med 4x12 kvadratiske arealer. Farveskalaen viser simulerede værdier for kødvægt som g tørvægt/musling (øverst) og skallelængder i mm (nederst) ved simuleringens afslutning i juni 2012.

Før en direkte sammenligning mellem simulerede og målte muslingestørrelser (skallelængde og kødindhold) kan foretages er der foretaget en korrektion den simulerede tilvækst. Korrektion er nødvendig, da modellen ikke i tilstrækkelig grad opløser den gradient i fødekonsentrationen, som opstår over en muslingebanke som et resultat muslingernes egen filtration. Flere forfattere

har dokumenteret denne gradient over muslingebanker under forskellige forhold i danske farvande [8][9], og andre har vist, at tætte bestande af muslinger med deres udstrømningsjet er i stand til at homogenisere koncentrationen af klorofyl i et lag på mellem 5 og 20 cm afhængigt af muslingetætheden og størrelsen af den horisontale advektion [8][9]. I overensstemmelse med reducerede vækstforhold ved bunden viste feltundersøgelser af muslingers vækst udhængt i forskellig afstand til bunden i Roskilde Fjord en aftagende vækst og kondition i den nedre del af vandsøjlen (0,15 m, 0,5 m og 1,0 m fra fjordbunden) [9]. Baseret på disse undersøgelser er det antaget, at koncentrationen af fødeemner 20 cm over bunden på en muslingbanke ved moderat strøm (ca. 3-4 cm/s) er repræsentativ for muslingernes fødegrundlag. Da modellens bundlag er 2 meter, kræver det derfor en korrektion af de beregnede muslingestørrelser ved tidspunktet for afhøstning. Korrektionen er bestemt ved at estimere den gennemsnitlige fødekonzentration i et 40 cm bundlag (antaget værende ca. 20 cm over bunden) ud fra en vertikal profil af modellens beregnede gennemsnitlige fødekonzentrationer for hele kulturbanken over hele simuleringsperioden, Figur 22. Koncentration i et 40 cm bundlag er antaget værende repræsentativt for den fødekonzentration muslingerne i gennemsnit er eksponeret til. Antagelsen er dels vurderet på baggrund af [8][9] og dels vurderet på baggrund af sammenligning mellem korrigerede og den målte tilvækst.



Figur 22. Vertikal profil af gennemsnitlige fødekonzentrationer (mgC/l) for kulturbanken ved As Vig for hele perioden 30. maj 2011 – 30. juni. 2012. Afstand fra bund svarede til midten af de respektive vertikale lag i modellen.

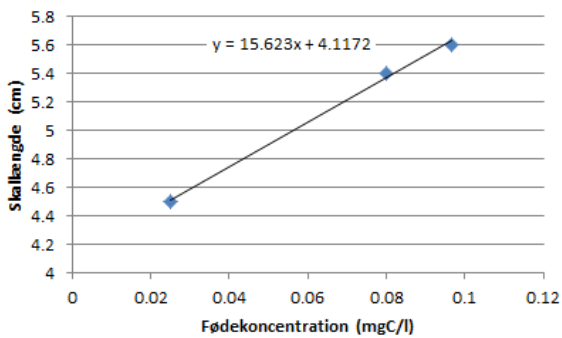
Ud fra en antaget eksponentiel sammenhæng vist i Figur 22 er den årlig gennemsnitlige koncentration i de nederste 40 cm beregnet til **0,066 mgC/l**, hvilket svarer til ca. **69 %** af den beregnede gennemsnitlige fødekonzentration i bundlaget (midten af bundlaget svarer til 1 m dybde).

Sammenhæng mellem muslingernes gennemsnitlige størrelse for hele banken ved tidspunkt for afhøstning (skallængde og kødindhold) og den gennemsnitlige årlige fødekonzentration for hele kulturbanken er vist i Figur 23. Muslingerne er antaget at have en nulvækst ved en årlig gennemsnitlig fødekonzentration på 25 µgC/l, og derudover er der medtaget 2 punkter for fødekonzentrationer med henholdsvis 10 og 20 % dødt organisk kulstof inkluderet udover den simulerede koncentration af fytoplankton kulstof. Ud fra de tilnærmelsesvis lineære sammenhænge og den beregnede 69 % reduktion i det simulerede fødekonzentration (inkl. 20 % detritus kulstof) er der beregnet en gennemsnitlig korrigeret skallængde ved tidspunkt for afhøstning (juni 2012) på **52 mm**. Der er her tale om den skallængde, der svarer til 50 % fraktilen af den akkumulerede biomasse af længdesorterede muslinger for hele kulturbanken ved forsøgets afslutning. Den tilsvarende skallængde, bestemt baseret på muslinger indsamlet i forbindelse med afhøstning i juni 2012, er ligeledes bestemt til **54 mm**, se Figur 24.

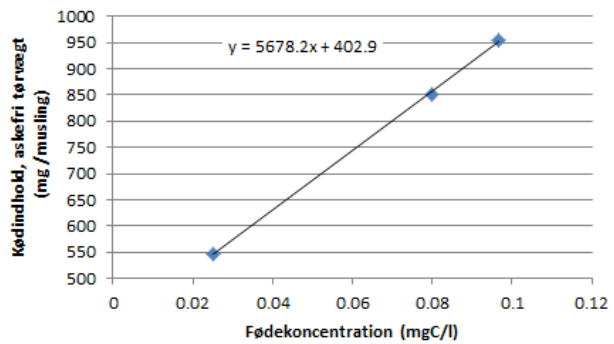
Det gennemsnitligt korrigerede kødindhold som askefri tørvægt er på samme måde ud fra Figur 23 bestemt til **780 mg/musling**. Det tilsvarende kødindhold bestemt ud fra relation mellem skallængde og kødindhold, foretaget på muslinger indsamlet ved afhøstning in juni 2012 (Figur 26), er bestemt til **680 mg/musling**. Den gennemsnitlige korrigerede biomasse pr. arealenhed er beregnet til **57 gC/m<sup>2</sup>**, mens den høstede biomasse udgør **22,7 gC/m<sup>2</sup>**.

Det skal nævnes, at den anvendte eksponentielle funktion (Figur 22) er "fittet" til data baseret på filtrationsrater af ikke-korrigerede muslingestørrelser. De beregnede korrigerede muslingestørrelse ovenfor vil have en lavere filtration pga. af et mindre gældeareal. Dette betyder, at de korrigerede muslingestørrelser, alt andet lige, vil være en smule underestimerede. Dette er dog vurderet ikke at have nogen større betydning.

**Kalibrering -  
skallængde vs. fødekonzentration**

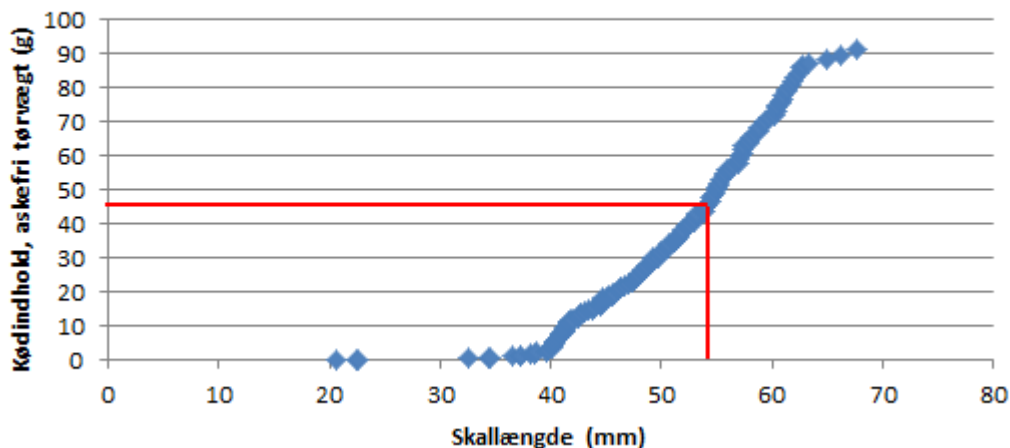


**Kalibrering -  
kødindhold vs. fødekonzentration**



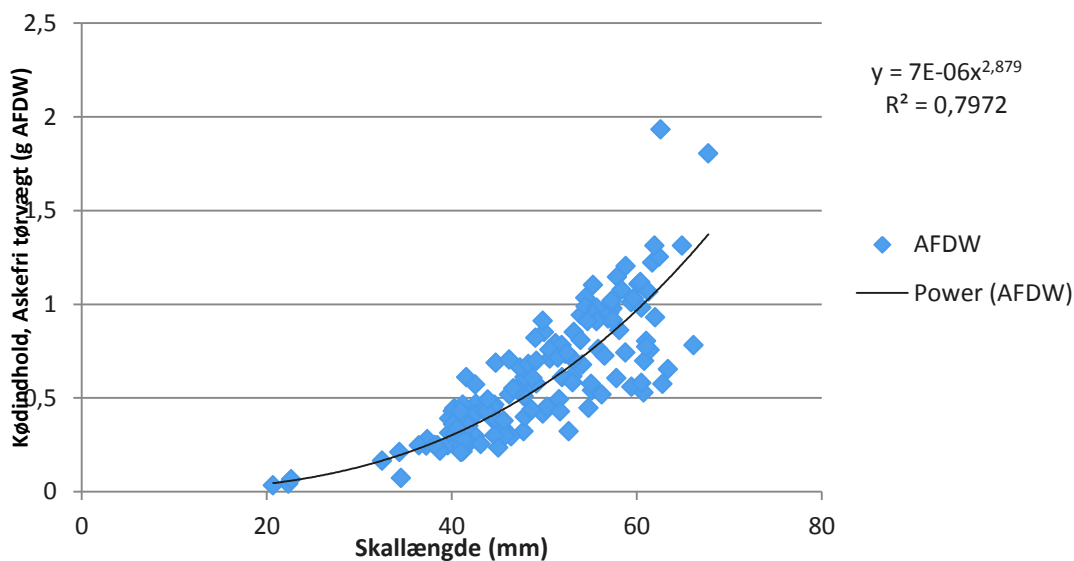
Figur 23 Sammenhæng mellem muslingernes simulerede gennemsnitlige størrelse for hele banken ved tidspunkt for afhøstning (skallængde og kødindhold) og den gennemsnitlige årlige fødekonzentration for hele kulturbanken. Muslingerne er antaget at have en nulvækst ved en årlig gennemsnitlig fødekonzentration på 25µgC/l.

## Akkumuleret askefri tørvægt, juni 2012



Figur 24. Akkumuleret askefri tørvægt af muslingernes køddindhold (g) som funktion af skallængden (mm) af en repræsentativ prøve af muslinger ved afhøstning af muslingerne fra kulturbanken ved As Vig i juni 2012. Rød vandrette linje svarer til 50 % af den akkumulerede askefri tørvægt. Rød lodrette linje viser den tilsvarende skallængde til sammenligning med den beregnede skallængde vha. muslingemodellen ved slutningen af simuleringen/afhøstning.

## Juni 2012



Figur 25. Sammenhæng mellem målte værdier af udlagte (på kulturbanke) muslingers skallængde og kødvægt målt som askefri tørvægt (AFDW), undersøgt i juni 2012 (blå symboler). Sort kurve viser potensfunktion, der beskriver bedste fit med en  $R^2$  værdi på 0,80.

### 2.4.5

#### Simuleringer af forskellige udlægningstætheder

Baseret på den opstillede model for kulturbanken ved As Vig, som beskriver strømforhold, fødegrundlag og muslingers vækst, er der kørt et antal simuleringer med forskellige indvidtætheder. Muslingerne vil i typisk i forbindelse med produktion på kulturbanker blive udlagt omkring 1. januar, og initialværdien for skallængden er derfor antaget at være 40 mm. Muslingebiomas-

sen (i gC/m<sup>2</sup>) for hver udlægningstæthed er beregnet ud fra antagelse om samme skallængde-tørvægt-relation som i juni 2011 (se Figur 17) og en omregningsfaktor for kulstof-tørvægt-forhold på 0,42.

Tabel 2. Oversigt over kørte beregninger med forskellige udlægningstætheder.

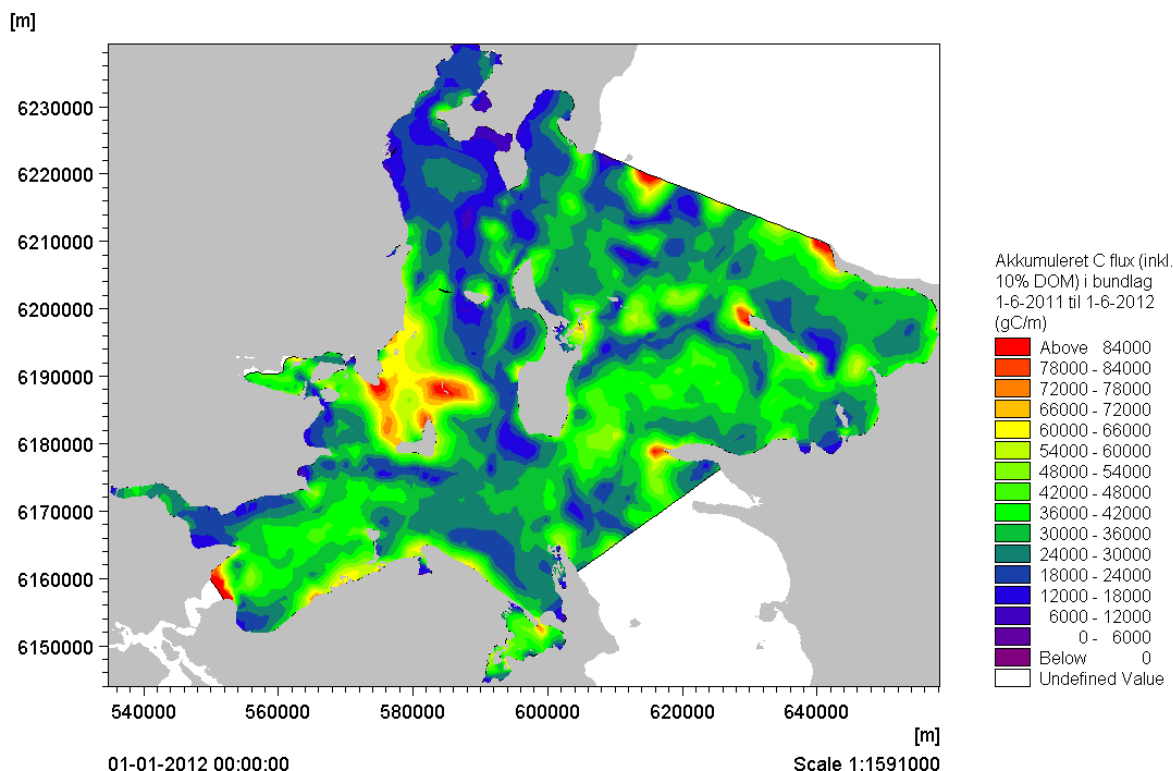
	Antal muslinger (m <sup>-2</sup> )	Muslingebio-masse (gC/ m <sup>2</sup> )	Skallængde (mm)
Sc_musN100	100	11.088	40
Sc_musN200	200	22.176	40
Sc_musN400	400	44.352	40
Sc_musN600	600	66.528	40
Sc_musN800	800	88.704	40
Sc_musN1200	1200	133.056	40
Sc_musN2500	2400	266.11	40

## 3 Resultater

### 3.1 Kortlægning af dyrkningspotentiale af blåmuslinger

For at beskrive dyrkningspotentialet af blåmuslinger for det sydvestlige Kattegat er den akkumulerede transport af muslingernes fødegrundlag ved bunden udtrykt af den opstillede økologiske model for det sydvestlige Kattegat. Fødegrundlaget er defineret som den samlede simulerede fytoplanktonbiomasse plus en fraktion af det simulerede døde organiske materiale (her sat til 10 %). Den akkumulerede transport er beregnet ved at gange det samlede fødegrundlag (som g C/m<sup>3</sup>) i bundlaget af modellen (her antaget de nederste 20 cm af bundlaget) med tilsvarende simulerede horisontale strømhastigheder (som m/s). Resulterende enhed er gC/m, hvor "m" refererer til transporten over et tværsnit på en meter i de nederste 20 cm af vandsøjlen. Resultatet ses af Figur 26.

Største årlige transport (i 2011) af muslingers fødeemner ved bunden findes i områder med lavt vand, hvor strømhastigheden er moderat til høj, hvilket ses i et større område nord for Endelave, i Lillebælt og omkring næs som f.eks. spidsen af Røsnæs, Sejro og Sjællands Odde. Her er de beregnede årlige transporter på over 60 kgC/m, nogle steder over 80 kgC/m. I centrale dele af den ydre del af Lillebælt og i farvandet mellem Samsø og Sjælland ses større områder med årlige transporter af fødeemner i størrelsesordenen 36-54 kgC/m. Eksempel på et større område med relativ lille transport af fødeemner er farvandet i og omkring Århus bugt. Her er typiske årlige transporter beregnet til mellem 12 og 30 kgC/m.



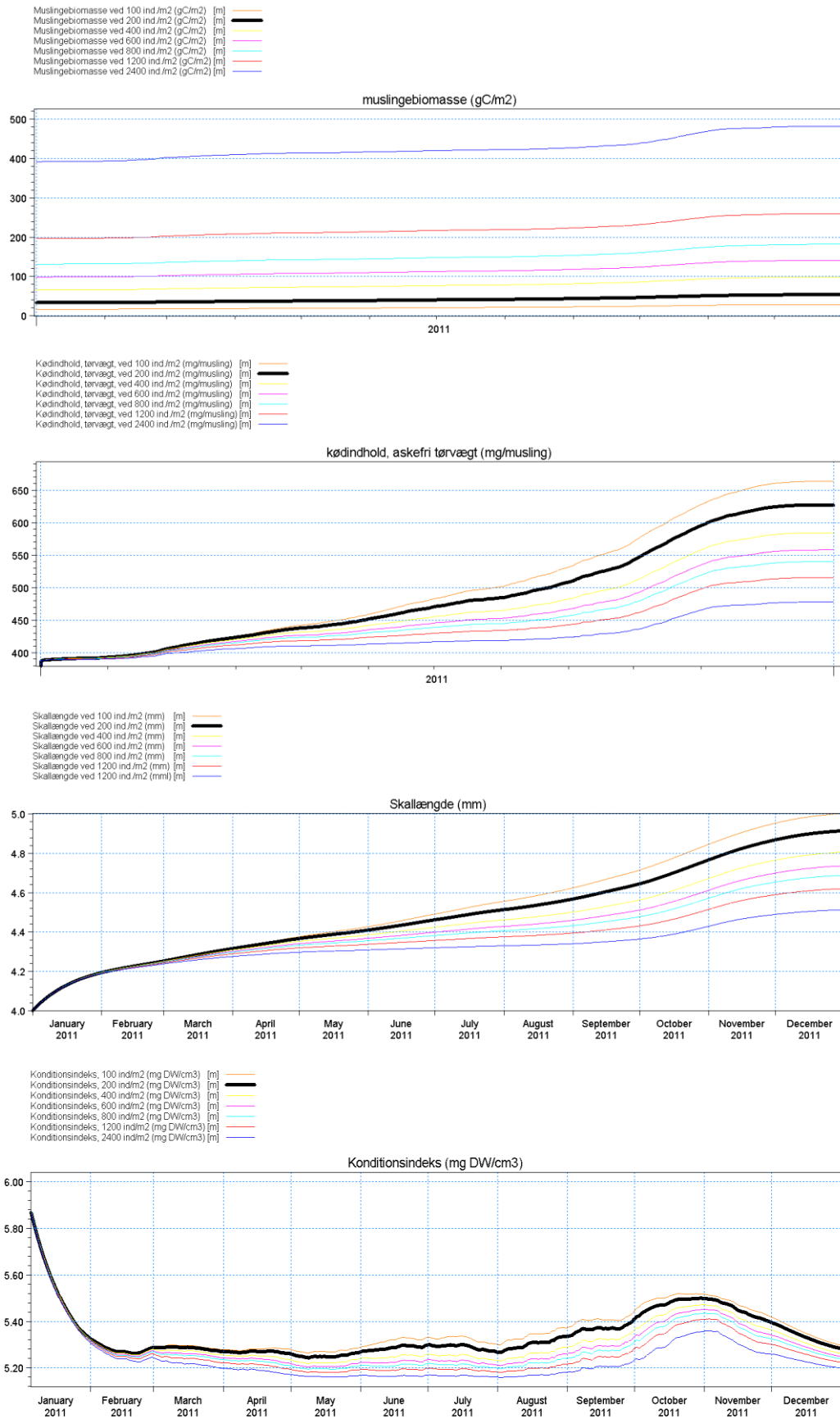
Figur 26. Figuren viser den akkumulerede simulerede transport ved bunden i det sydvestlige Kattegat i 2011 af muslingers fødegrundlag i form af kulstof, som stammer fra dels den simulerede fytoplankton biomasse, og dels fra en fraktion svarende til 10 % af det simulerede døde organiske materiale (DOM). Enheden er gC/m hvor "m" refererer til transporten af C pr. meter tværsnit i et bundlag svarende til 20 cm.

### 3.2 Betydning af udlægningstæthed på kulturbanke

Betydningen af udlægningstætheden af muslinger på kulturbanken ved As Vig er analyseret vha. muslingemodellen beskrevet ovenfor. Ikke-korrigerede resultater<sup>1</sup> af modelberegningerne ses af figurerne 27 - 30 nedenfor. Figur 27 viser tidsserier for henholdsvis muslingebiomassen (gC/m<sup>2</sup>), skallængden (mm), kødindholdet (mg askefri tørvægt) og muslingernes konditionsindeks (mg/cm<sup>2</sup>), for 7 forskellige udlægningstætheder. Tidsserierne er udtrykt for et punkt i ca. midten af kulturbanken. Skallængden repræsenterer her ligesom tidligere beskrevet ikke en gennemsnitsskallængde, men den skallængde der svarer til 50 % fraktile af den akkumulerede biomasse af længdesorterede muslinger. Figur 28 viser tilsvarende effekten af forskellige udlægningstætheder på fødetilgængeligheden over bunden. Det reducerede fødegrundlag, som resultat af øget græsningstryk på fytoplankton og dødt organisk kulstof, har ikke resulteret i en induceret dødelighed i modellen. Antallet af muslinger er således modelleret som konstant for alle udlægningstætheder gennem hele året, da der ikke er inkluderet yderligere dødelighed i modellen som følge af f.eks. prædation. Af figurerne ses det tydeligt, at muslingernes tilvækst falder med øget udlægningstæthed af muslingerne.

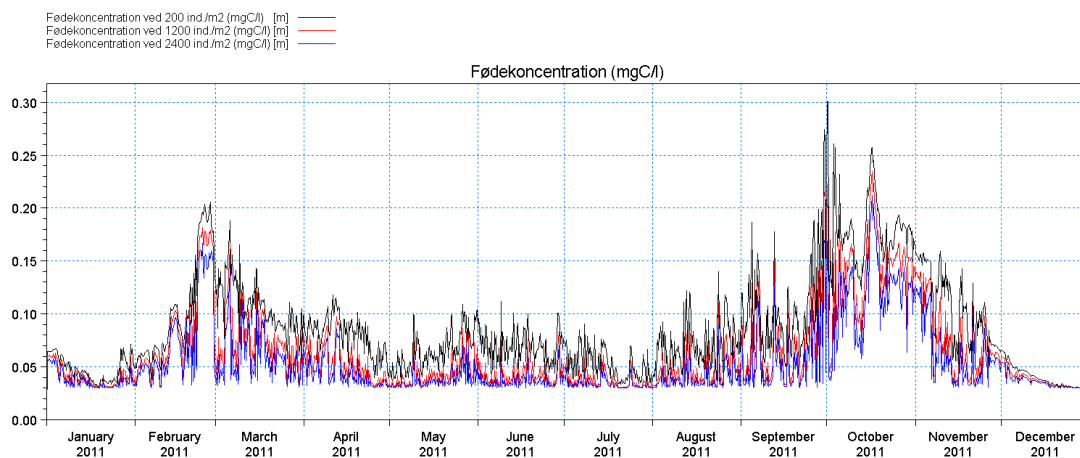
Figur 29 og Figur 30 viser den simulerede rumlige variation af skallængde og kødindhold af muslingerne ved afhøstningen i december 2012 indenfor kulturbanken. Variationerne skyldes muslingernes indbyrdes konkurrenceforhold, hvor muslingerne inderst og bagest, i forhold til de dominerende strømningsretninger, er relativt mere fødebegrænset som følge af de andre muslingers filtration. De rumlige variationer er størst ved de højeste muslingetætheder og biomasser.

<sup>1</sup> Metode anvendt til korrektion af muslingernes vækst i et 40 cm bundlag er beskrevet i afsnit 2.4.4.3

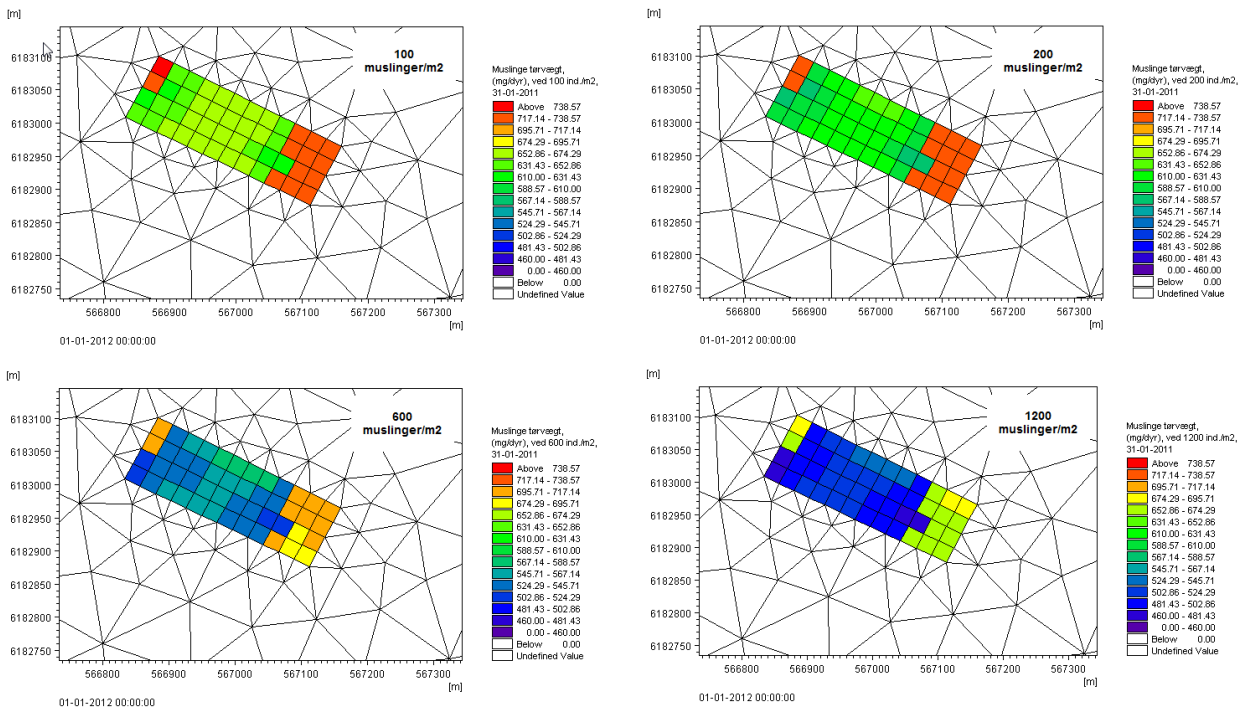


Figur 27. Resultater af modelberegninger af betydningen af forskellige udlægningstætheder af muslinger på kulturbanken ved As Vig: muslingebiomassen (øverst), kødindholdet (næst-øverst), skallængden (næstnederst) og konditionsindeks (nederst). Tidsserier repræsenterer et punkt i midten af kulturbanken.

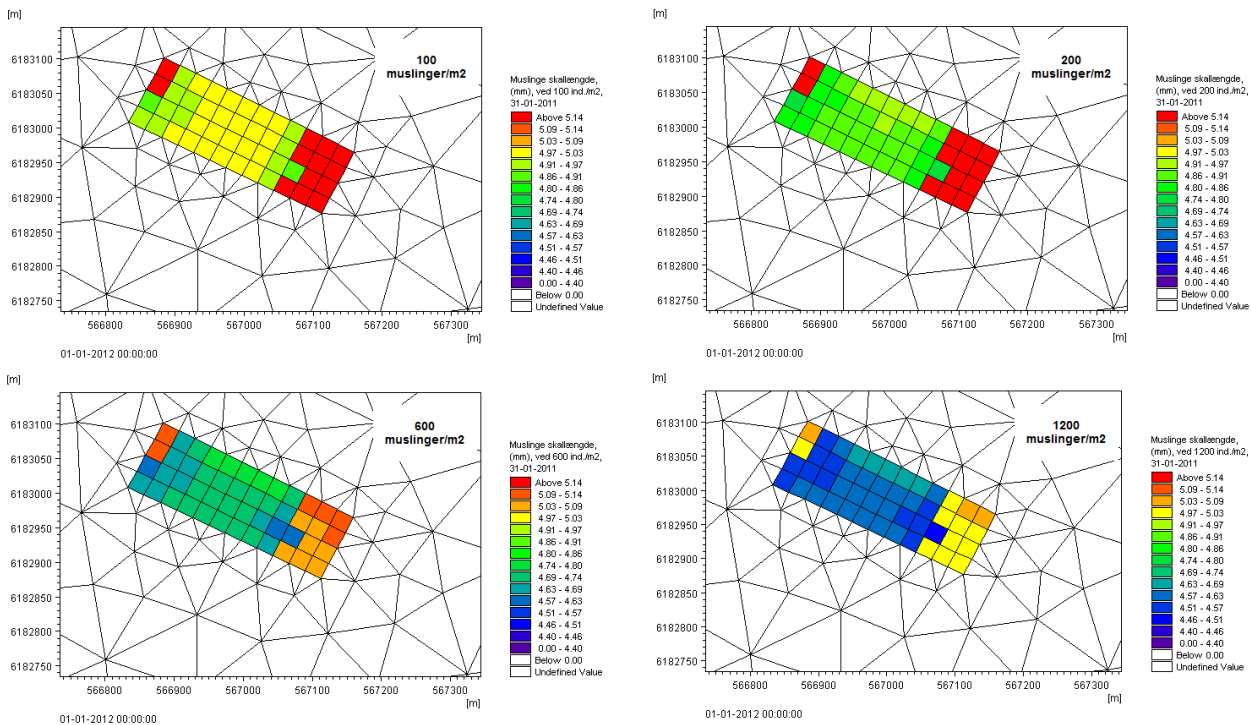




Figur 28. Resultater af modelberegninger af betydningen af forskellige udlægningstætheder af muslinger på det tilgængelige fødegrundlag for muslingerne på kulturbanken ved As Vig. Tidsserier repræsenterer et punkt i midten af kulturbanken.



Figur 29. Modelberegnete musingers kødindhold som mg tørvægt (askefri) pr. individ ved afhøstning i december 2011 på kulturbanke ved As Vig ved 4 forskellige udlægnings-tætheder: 100, 200, 600 og 1200 individer/m<sup>2</sup>. Muslinger er udlagt 1-1-2011 med en begyndelses kødindhold på 389 mg/dyr.



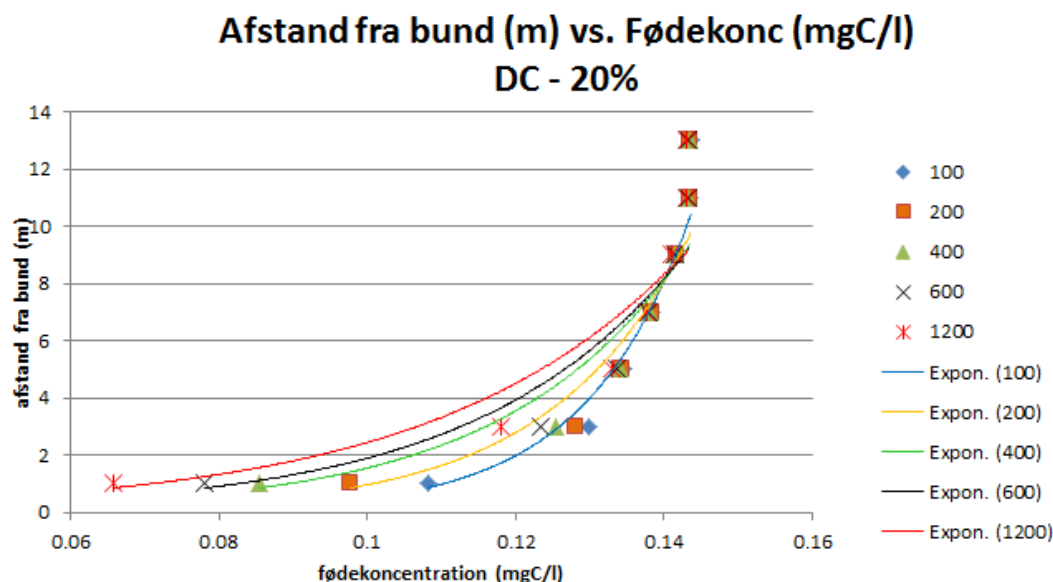
Figur 30 Modelberegnete musingers gennemsnitlige skællængde (cm) pr. individ ved afhøstning i december 2011 på kulturbanke ved As Vig ved 4 forskellige udlægnings-tætheder: 100, 200, 600 og 1200 individer/m<sup>2</sup>. Muslinger er udlagt 1-1-2011 med en begyndelses skællængde på 40 mm.

Modelresultaterne beskrevet ovenfor beskriver en tilvækst baseret på en simuleret gennemsnitlig fødekonzentration i modellens bundlag på 2 meters tykkelse. Som beskrevet under kalibreringen af muslingemodellen i afsnit 2.4.4.3 er der, i forbindelse med beregninger af muslingers vækst som funktion af udlægningstætheder, på samme måde foretaget en efterfølgende korrektion af muslingernes tilvækst, så tilvæksten svarer til et forventet fødegrundlag i et bundlag på 40 cm over bunden.

Vertikale fødegradienter ved forskellige udlægningstætheder af muslinger på kulturbanken ved As Vig fremgår af Figur 31. Til hver udlægningstæthed er der beregnet en tendenslinje baseret på en eksponentialfunktion:

$$\text{afstand fra bund} = a \cdot e^{(b \cdot \text{fødekonzentration})}$$

-, hvor a og b er konstanter. Tabel 3 viser konstanter (a og b) og R<sup>2</sup>-værdier for de enkelte kurver vist i Figur 31, samt beregnede gennemsnitlige andele (i %) af fødekonzentrationen i modellens bundlag på 2 meter, som udgør den forventede fødekonzentration i bundlaget svarende til 40 cm over bunden.



Figur 31. Vertikale gradienter af den årlige gennemsnitlige simulerede fødekonzentration (symboler) over kulturbanken ved As Vig beskrevet som sammenhænge mellem fødekonzentration (mgC/l) og afstand fra bunden (m) for 5 simulerede udlægningstætheder: 100, 200, 400, 600 og 1200 muslinger/m<sup>2</sup>. kurver viser trend-linjer af eksponentialfunktionen ( $y=a \cdot \exp(x \cdot b)$ ). DC-20 % angiver en føde koncentration bestående af fytoplankton kulstof og kulstof fra 20 % dødt organisk materiale.

Tabel 3. Tabellen viser koefficienter (A og B) og R<sup>2</sup> for eksponentiel sammenhæng mellem afstand fra bund (m) og den simulerede fødekonzentration (mgC/l) i vandsøjlen over muslingebanken ved As Vig. Der er vist sammenhænge for simuleret muslingetilvækst baseret på fødegrundlag inkl. henholdsvis 10 % (DC10) og 20 % (DC20) af dødt organisk materiale. Kolonnen med "%" angiver den beregnede procentvise andel af gennemsnitskoncentrationen i modellens bundlag på 2 meter, som svarer til den forventede gennemsnitskoncentration i de nederste 40 cm. Se tekst for yderligere beskrivelse.

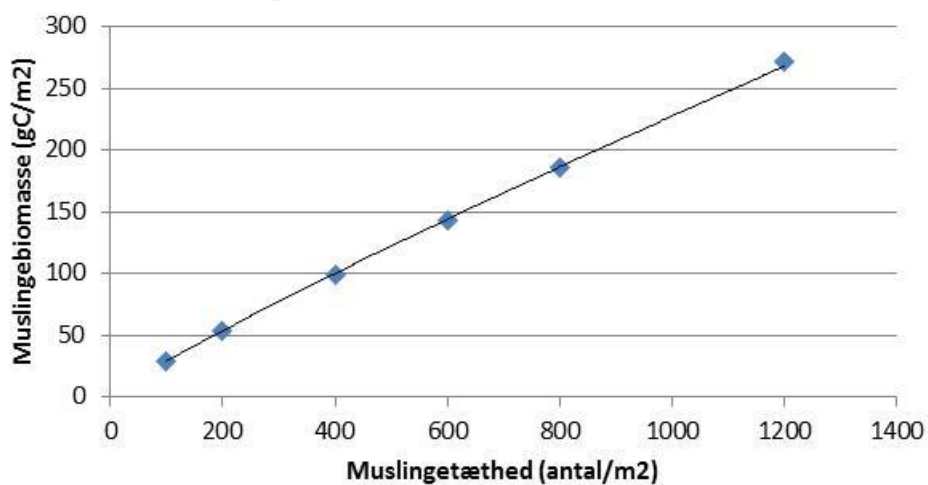
Tæthed per m <sup>2</sup>	DC10				DC20			
	A	B	R <sup>2</sup>	%	A	B	R <sup>2</sup>	%
100	0.0007	79.412	99.2	79	0.0004	70.232	96.7	82
200	0.0046	63.497	97.7	72	0.0047	53.137	94.0	72
400	0.02	51.065	96.0	61	0.0247	41.392	92.1	59
600	0.0375	45.79	95.4	54	0.049	36.543	91.5	49
800	0.0557	42.494	95.0	46	0.0726	33.773	91.4	41
1200	0.0902	38.483	94.8	35	0.1141	30.632	91.6	28

De korrigerede simulerede muslingestørrelser i slut-december 2012 er beregnet på samme måde som beskrevet i afsnit 2.4.4.3, Figur 23, ved at antage en lineær sammenhæng mellem muslingernes størrelse ved afhøstning (henholdsvis kødindhold og skallængde) og en gennemsnitlige fødekonzentrationen for hele simuleringsperioden for hele kulturbanken. Baseret på en antaget lineær sammenhæng for hver simuleret udlægningstæthed, og ud fra de procentvise korrektioner vist i Tabel 3, er de korrigerede muslingestørrelser beregnet. Resultaterne er vist i Figur 32, Figur 33 og Figur 34, der viser korrigerede resultater for den samlede kulturbanke som gennemsnit for alle 48 beregningspunkter i modellen, som repræsenterer kulturbankens areal. Figureerne viser henholdsvis muslingebiomassen (gC/m<sup>2</sup>), skallængden (mm) og kødindholdet (g askefri tørvægt/musling) som funktion af udlægningstætheden.

En skallængde på 45 mm er minimumsstørrelsen på muslinger, der høstes til konsum. Figur 34 viser en tydelig eksponentielt aftagende skallængde med øget tæthed af muslinger med en skallængde på ca. 51 mm ved en tæthed på 100 muslinger/m<sup>2</sup> til ca. 45 mm ved en tæthed på 800 muslinger/m<sup>2</sup>. En skallængde på 45 mm svarer til et beregnet kødindhold som askefri tørvægt på ca. 550 mg/musling og en samlet biomasse af muslinger (ved 800 muslinger/m<sup>2</sup>) på ca. 180 gC/m<sup>2</sup>. Til sammenligning svarer en udlægningstæthed på 400 muslinger/m<sup>2</sup> til et kødindhold på ca. 600 mg/musling og en biomasse på ca. 100 gC/m<sup>2</sup>. Disse estimater på kødindhold og biomasser i forhold til skallængder er formentlig lidt for høje jf. kalibreringsresultaterne i afsnit 2.4.4.3.

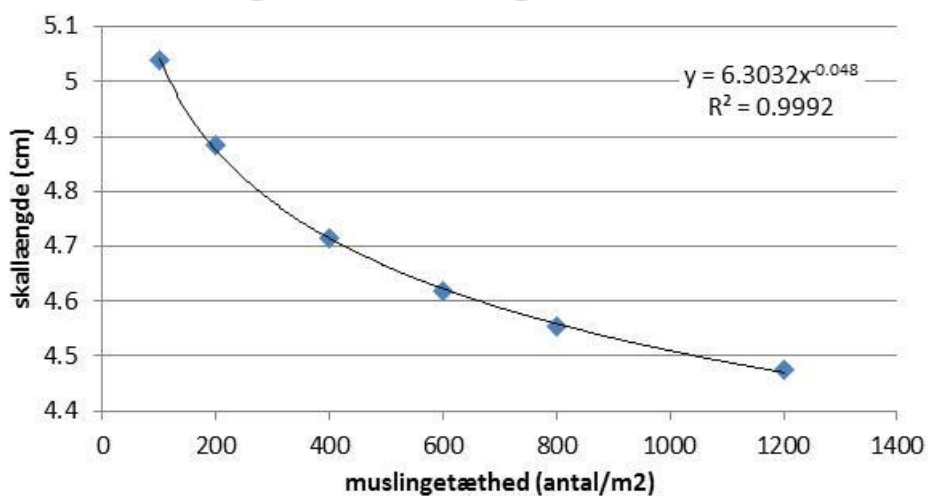
Med faldende skallængde af et standard-individ (længden svarende til 50 % percentil af den samlede biomasse) øges andelen af muslinger under mindstemålet. Med en skallængde på 4,5 cm ved tæthed på 1200 ind/m<sup>2</sup> vil halvdelen af biomassen udgøres af muslinger under mindstemålet, til sammenligning med ca. 20 % under mindstemålet med en tæthed på 400-500 ind/m<sup>2</sup> (se Fig. 22).

### Korrigeret biomasse vs. tæthed

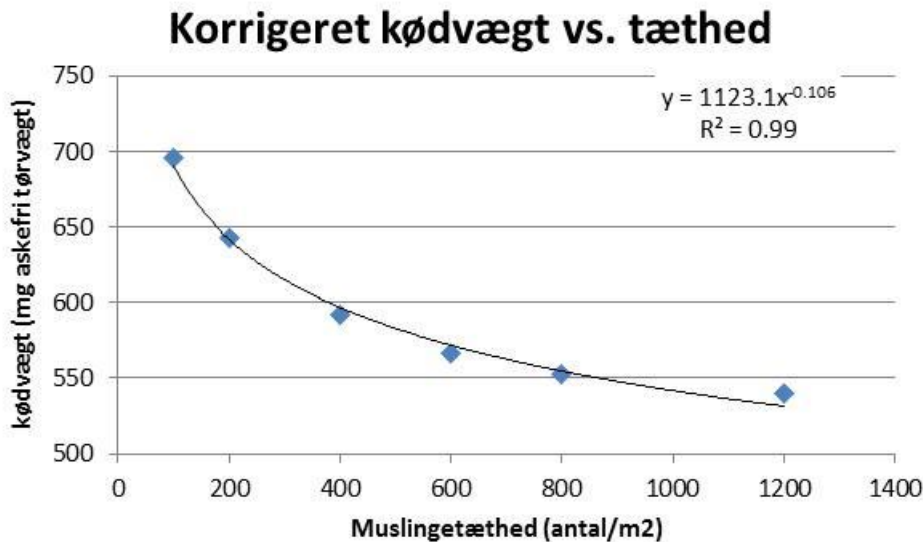


Figur 32. Beregnede korrigerede muslingebiomasser som funktion af udlægningstætheder af muslinger på kulturbanke ved As Vig på tidspunkt for afhøstning december 2011.

### Korrigeret skallængde vs. tæthed



Figur 33. Beregnede korrigerede skallængder som funktion af udlægningstætheder af muslinger på kulturbanke ved As Vig på tidspunkt for afhøstning december 2011.



Figur 34. Beregnet korrigeret kødindhold, bestemt som askefri tørvægt af et "standard" individ, som funktion af udlægningstætheder af muslinger på kulturbanke ved As Vig på tidspunkt for afhøstning december 2011.

## 4 Diskussion

### *Modelberegningernes forudsætninger*

Resultaterne beskrevet i forrige afsnit er baseret på en række forudsætninger, som i forskelligt omfang kan bidrage til usikkerheder i relation til de præsenterede resultater. Disse forudsætninger diskuteres her.

Den grundlæggende forudsætning for beregninger af muslingernes tilvækst på kulturbanken ved As Vig og den generelle kortlægning af muslingeproduktionspotentialet i sydvestlige Kattegat er den hydrodynamiske model og den økologiske model, der tilsammen beskriver fødegrundlaget for muslingerne. Både den hydrodynamiske model og den økologiske model, der er anvendt, vurderes at beskrive fødegrundlaget tilfredsstillende, og usikkerheder relateret til beregning af fytoplanktonkulstof og kulstof fra dødt organisk materiale vurderes at være mindre væsentlige.

Den anvendte horisontale opløsning af modellen (~deltaljeringsgraden af beregningsnettet) vurderes også at være tilstrækkelig til beskrivelse af de horisontale gradienter hvad angår fødetilgængeligheden i modellerne for både og det sydvestlige Kattegat og kulturbanken ved As Vig, og også hvad angår horisontale gradienter i muslingernes tilvækst beskrevet i sidstnævnte model.

Den vertikale beskrivelse i modellen for kulturbanken ved As Vig har imidlertid en væsentlig begrænsning, da den ikke opløser strøm- og fødegradienter helt tæt på bunden (< 1 meter). Det er muligt at opstille en model med en mere detaljeret vertikal opløsning. For at udnytte en sådan større detaljeringsgrad vil det dog kræve et datagrundlag til kalibrering af specielt de turbulente strømninger og/eller den vertikale dispersion af føden over muslingebanken. Et sådant datagrundlag er ikke indsamlet i dette studie. I stedet er der anvendt en metode til korrektion af den simulerede tilvækst af muslinger beregnet vha. muslingemodellen. Denne korrektion er dels ba-

seret på tidligere studier af gradienter af fødekonzentrationer over bunden, og dels baseret på kalibrering ved sammenligning af korrigerede tilvækster med data for målte tilvækster. Det vurderes, at denne korrektion, specielt i forbindelse med beregning af optimale udlægningstætheder, udgør den største usikkerhed i de præsenterede resultater.

Den anvendte muslingemodel er baseret på empiriske sammenhænge mellem muslingers skallængder og kødvægt fra en række danske undersøgelser gennem tiden. Muslingerne anvendt i dette studie i forbindelse med udlægning på kulturbanken ved As Vig er i modsætning til "naturlige" muslinger opdrættet på liner udhængt i vandsøjlen. Disse muslinger har generelt en tyndere skal og et højere kødindhold end muslinger indsamlet på naturlige muslingebanker. Kødindholdet blev undersøgt i løbet af forsøget med kulturbanken ved As Vig, og kødindholdet forblev generelt højere end naturlige muslinger i hele perioden frem til afhøstning. Dette er formentlig grunden til, at muslingmodellen ikke beregner det samme forhold mellem skallængde og vægt, som er målt på muslinger indsamlet fra kulturbanken ved As Vig. De beregnede kødvægte er derfor lidt for høje i forhold til de beregnede skallængder.

Der er i muslingmodellen ikke inkluderet dødelighed som skyldes prædation fra f.eks. søstjerner eller edderfugle. Denne dødelighed er antaget ikke at overstige 10-20 % i løbet af et år, men vil variere væsentligt fra år til år og fra lokalitet til lokalitet. Det vurderes, at usikkerheden i relation til manglende dødelighed i modellen er mindre væsentlig end usikkerheden i relation til beregningen af fødegradienten over bunden.

### *Anbefalinger*

På baggrund af resultater beskrevet i denne rapport og vurdering af de anvendte forudsætninger beskrevet ovenfor anbefales det, at der i forbindelse med udlægning af muslinger på kulturbanken ved As Vig i starten af januar tilstræbes, at der maksimalt udlægges en muslingetæthed svarende til ca. 400 muslinger/m<sup>2</sup>, under antagelse af at muslingerne kan udlægges og fordeles jævnt over kulturbanken. En mere klumpet fordeling vil betyde, at den del af muslingerne, som ligger nederst i en bunke, vil dø i tiden umiddelbart efter udlægning. Fødebegrænsningen forårsaget af muslingernes egen-filtration vil ligeledes kunne være mere varierende indenfor muslingebanken, og dermed bidrage til en større variation i muslingernes tilvækst og dermed deres størrelse ved afhøstning. En klumpet fordeling af muslinger vil derfor betyde en ringere tæthed af muslinger ved slutningen af året og med en mulig større variation i muslingernes størrelse.

Kortlægning af muslingeproduktionspotentialer i sydvestlige Kattegat viser, at området ved As Vig ikke er optimalt hvad angår muslingernes fødegrundlag. Fødegrundlaget kan øges med ca. 50 % ved at placere kulturbanken på bedre lokaliteter f.eks. nord for Endelave, i det nordlige Lillebælt og på andre mindre lokaliteter i det sydvestlige Kattegat.

Ved storskala produktion af muslinger på kulturbanker betydeligt større end kulturbanken ved As Vig vil man forvente, at muslingernes egenrespiration vil kunne resultere i kritiske iltkonzentrationer ved bunden, som ved høje biomasser vil kunne betyde en øget dødelighed. Dette bør inddrages i modelberegningerne forud for anlæggelse af store kulturbanker.

### *Forslag til forbedring af beregningsmetoden*

Den vertikale gradient i muslingernes fødekonzentration er her vurderet som den væsentligste usikkerhed for beregning af den optimale udlægningstæthed. Det anbefales derfor, at der i eventuelt fremtidige modelstudier bør overvejes forbedringer i forhold til den anvendte metode beskrevet i denne rapport:

- Finere vertikalt opdelt model

Det anbefales, at man forsøger at anvende en model med en vertikal lagdeling på ca. 20 – 40 cm i lagene omkring bunden, under forudsætning af nedenstående anbefalinger følges.

- Målinger af fødegradient + strømhastigheder over kulturbanke

Det anbefales, at der i forbindelse med undersøgelser af kulturbanke med det formål at opstille muslingemodeller foretages målinger af fødekoncentrationen og strømhastigheder tæt på bunden i forskellige afstande minimum 2-3 gange i løbet af et år.

- Kalibrering af modellens forskydningsspænding (eller bundruhed)

Det anbefales, at den højdetaljerede hydrauliske model kalibreres til beskrivelse af turbulente strømninger ved bunden, således at den deraf afledte vertikale fødegradient beskrives bedst muligt.



## 5 Referencer

- [1] DHI, "MIKE 21 and MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation", MIKE by DHI 2012.
- [2] Flemming Møhlenberg, Erik Koch Rasmussen, Thomas Uhrenholdt, Mads Birkeland og Peter Rand, "Hundshage og As Vig havbrug – Vurdering af virkninger på miljøet", VVM redegørelse, Udarbejdt af DHI for Snaptun Fisk Export A/S og Hjarnø Havbrug A/S, 2010
- [3] Patrick Dich Grode, Thomas Uhrenholdt, Morten Rugbjerg, 2011, "Water Forecast for the Inner Danish - Waters and the Baltic Sea", Technical Note, DHI
- [4] DHI, "DHI EUTROPHICATION MODEL 2, ECO Lab Template, Scientific Description", MIKE by DHI 2012
- [5] Rasmussen E.K., Sehested Hansen I., Erichsen, A.C., Mühlestein D. and Dørge, J: 3D Model System for Hydrodynamics, Eutrophication and Nutrient Transport. Environmental Coastal Regions III, G.E. Rodrigues, C.A. Brebbia & E. Perez-Martell (ed.), WITpress, Southamton, Boston, Sep. 2000.
- [6] DHI, "ECO LAB - Short Scientific Description", MIKE by DHI, 2012
- [7] FEHY (2012). Fehmarnbelt Fixed Link EIA. Hydrography of the Fehmarnbelt area – Impact Assessment. Report No. E1TR0058 Volume II. 131 pp
- [8] Jens Kjerulf Petersen, Marie Maar, Tom Ysebaert, and Peter M.J. Herman , "Near-bed gradients in particles and nutrients above a mussel bed in the Limfjorden: influence of physical mixing and mussel activity", 2012 , in prep.
- [9] P. Dolmer, "Algal concentration profiles above mussel beds", Journal of Sea Research 43 (2000) 113–119
- [10] Larsen, P.S., Riisgård, H.U. (1997). Biomixing generated by benthic filter-feeders: a diffusion model for near-bottom phytoplankton depletion. J. Sea Res. 37: 81-90.
- [11] Lassen, J, Kortegård, M., Riisgård, H.U., Friedrichs, M., Graff, G., Larsen, P.S. (2006) Down-mixing of phytoplankton above filter-feeding mussels - interplay between water flow and biomixing. Mar. Ecol. Prog. Ser. 314: 77-88.
- [12] Sand-Jensen, K. (red.), Borum, J., Geertz-Hansen, O., Jensen, J.N., Josefson, A.B., Møhlenberg, F. & Riemann, B. Resuspension og stofomsætning i Roskilde Fjord. Miljøstyrelsen 69 sider. – Havforskning fra Miljøstyrelsen nr. 51. 1994.









**B I L A G**





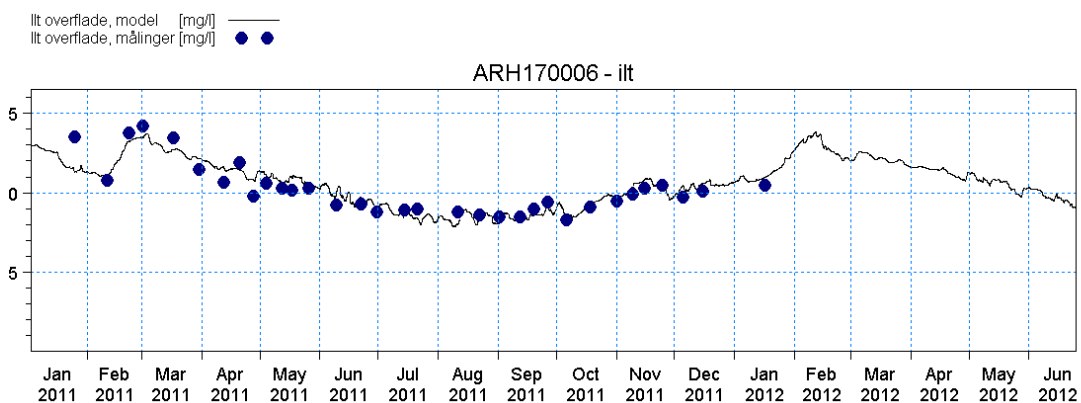
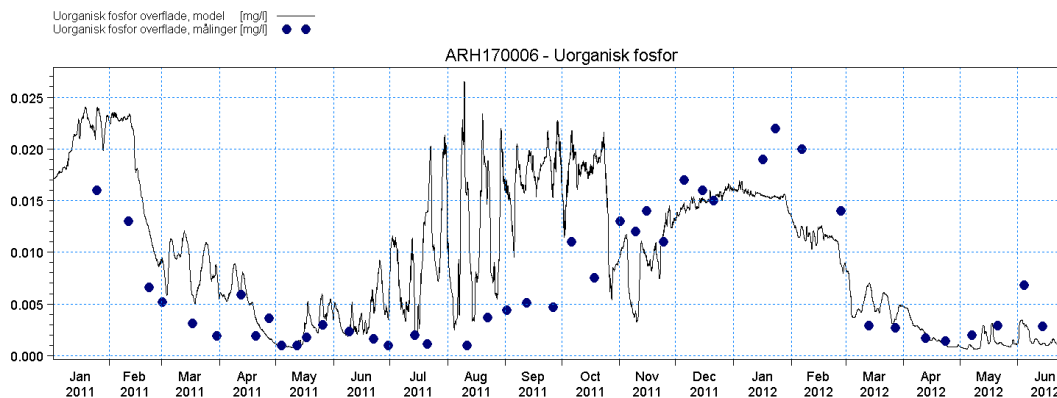
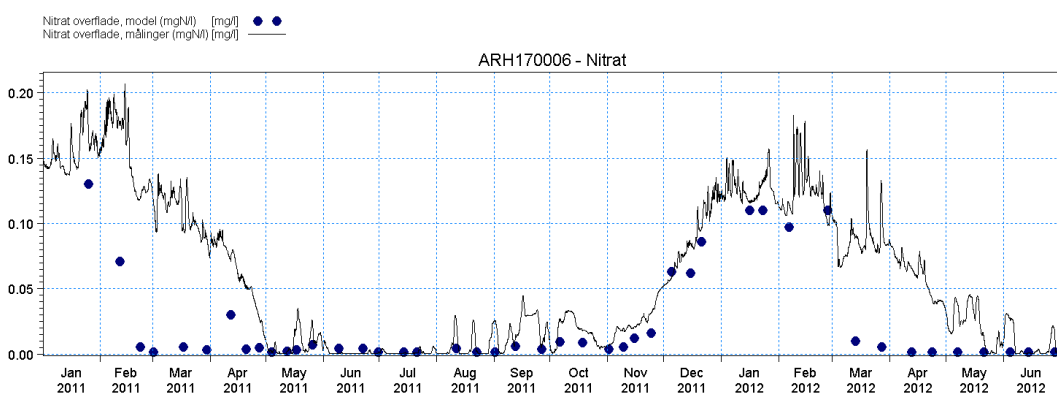
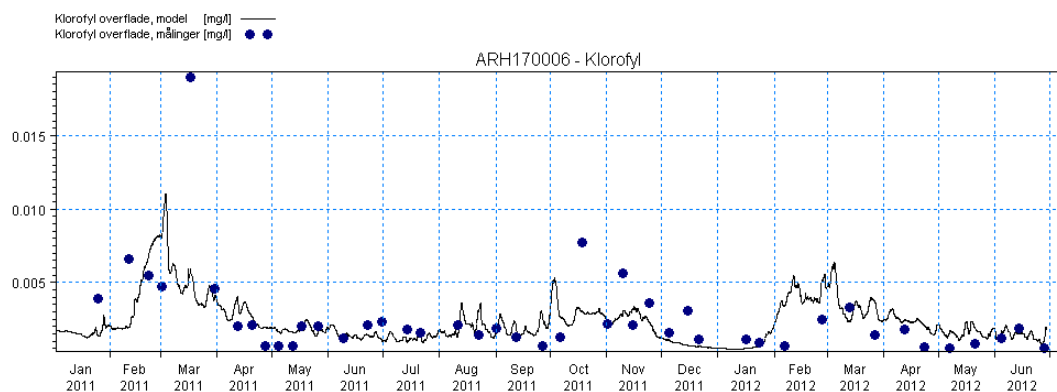
## **B I L A G A**

Resultater af modelvalidering af den økologiske model

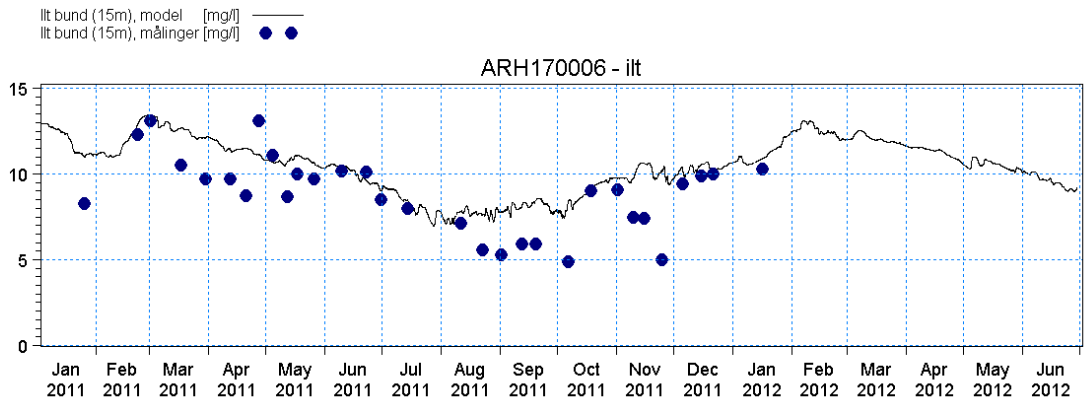
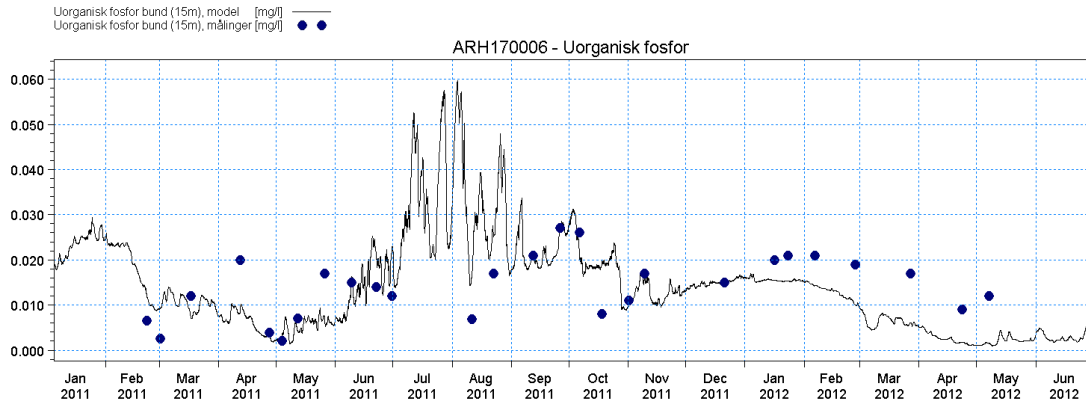
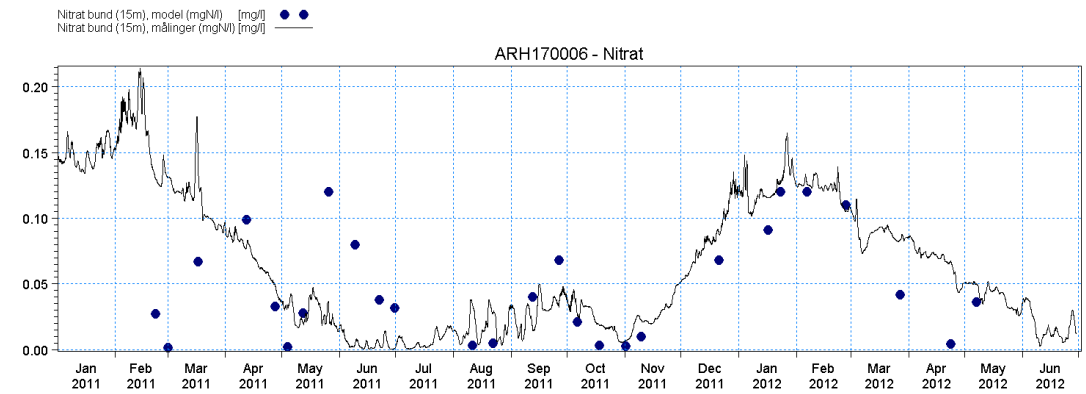
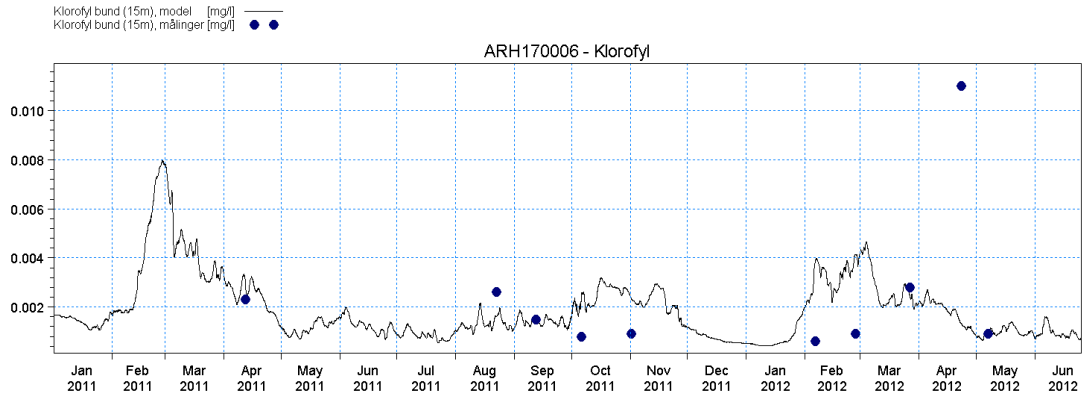




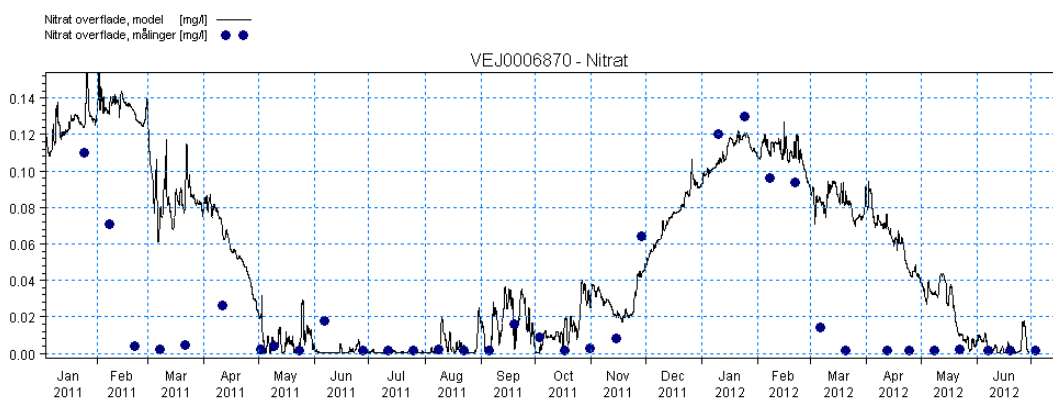
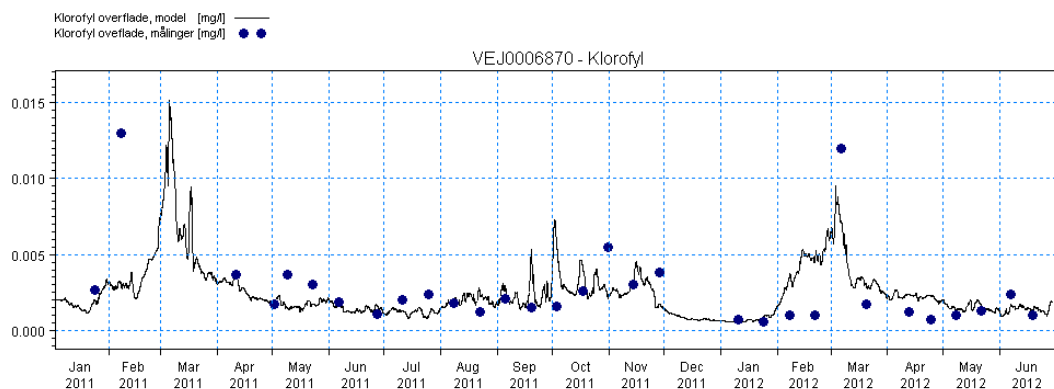
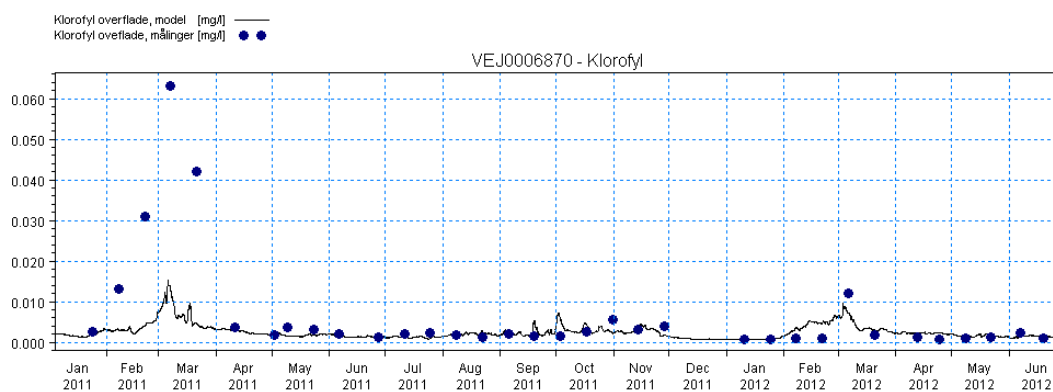
## Station ARH170006 - overflade



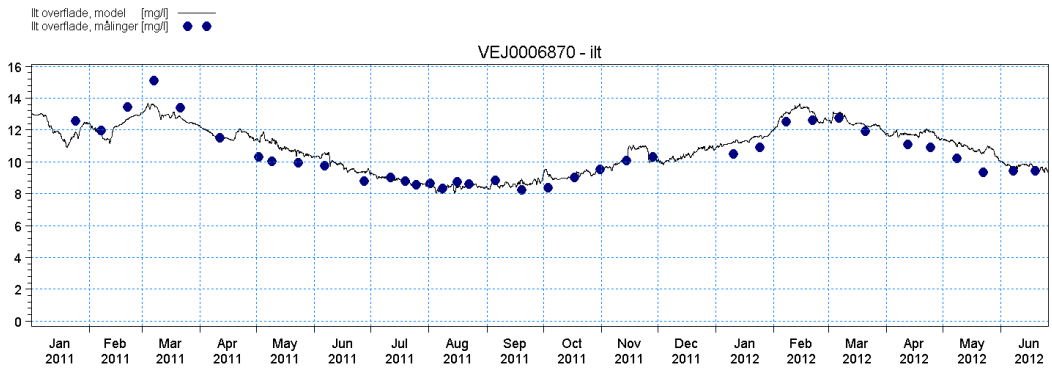
Station ARH170006 – bund



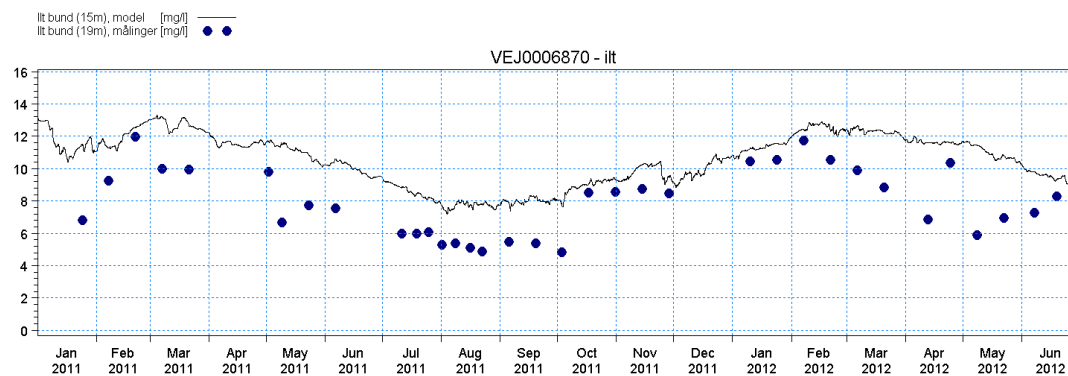
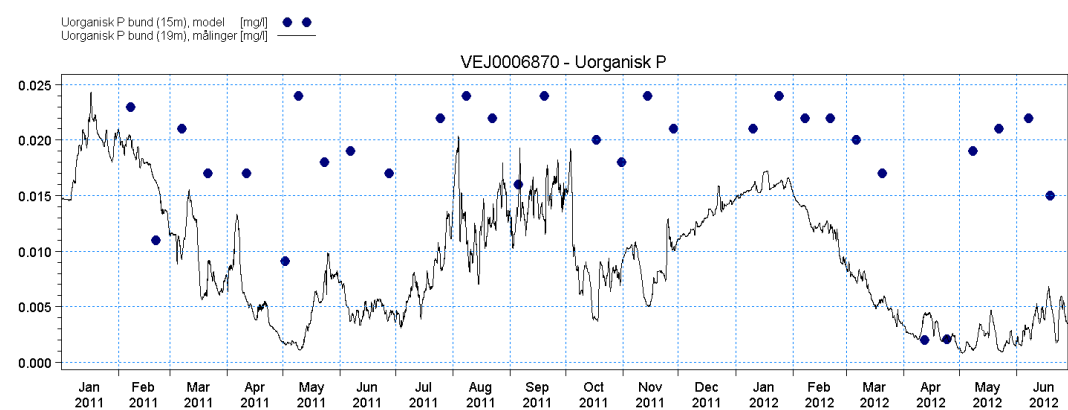
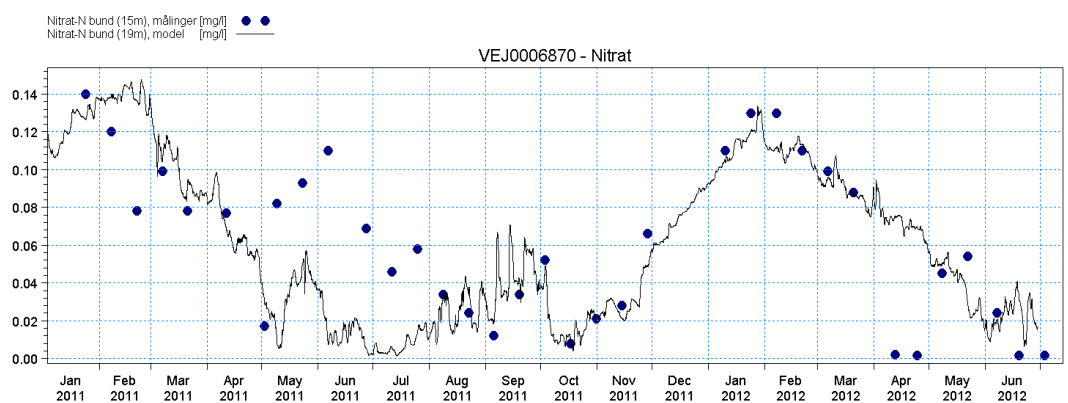
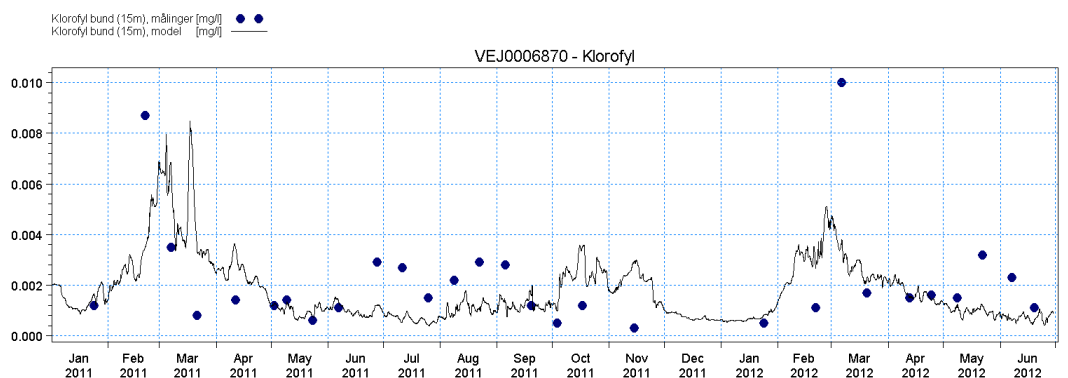
## Station VEJ0006870 - overflade



Station VEJ0006870 – overflade (fortsat)



## Station VEJ0006870 - bund



## Kolofon

### **Kulturbankeprojekt med udlægning af blåmuslinger produceret på langline**

Per Dolmer, Helle Torp Christensen, Mads Christoffersen, Flemming Thorbjørn Hansen, Flemming Møhlenberg, Dennis Lisbjerg, Bjarne Stage, Anja Landes, Pernille Nielsen og Ditte Tørring

April 2013

DTU Aqua, Institut for Akvatiske Ressourcer

DTU Aqua-rapport nr. 273-2013

ISBN 978-87-7481-179-4

ISSN 1395-8216

Omslag: Peter Waldorff/Schultz Grafisk

Reference: Dolmer, P., Christensen, H. T., Christoffersen, M., Hansen, F. T., Møhlenberg, F., Lisbjerg, D., Stage, B., Landes, A., Nielsen, P. & Tørring, D. Kulturbankeprojekt med udlægning af blåmuslinger produceret på langline. DTU Aqua-rapport nr. 273-2013. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 29 pp + bilag.

**DTU Aqua-rapporter** udgives af DTU Aqua, Institut for Akvatiske Ressourcer og indeholder resultater fra nogle af instituttets forskningsprojekter, studenterspecialer, udredninger m.v.

Rapporterne kan hentes på DTU Aquas websted [www.aqua.dtu.dk](http://www.aqua.dtu.dk).

**DTU Aqua reports** are published by the National Institute of Aquatic Resources and contain results from research projects etc.

The reports can be downloaded from [www.aqua.dtu.dk](http://www.aqua.dtu.dk).

DTU Aqua  
Institut for Akvatiske Ressourcer  
Danmarks Tekniske Universitet

Jægersborg Allé 1  
2920 Charlottenlund  
Tlf: 35 88 33 00

[aqua@aqua.dtu.dk](mailto:aqua@aqua.dtu.dk)  
[www.aqua.dtu.dk](http://www.aqua.dtu.dk)