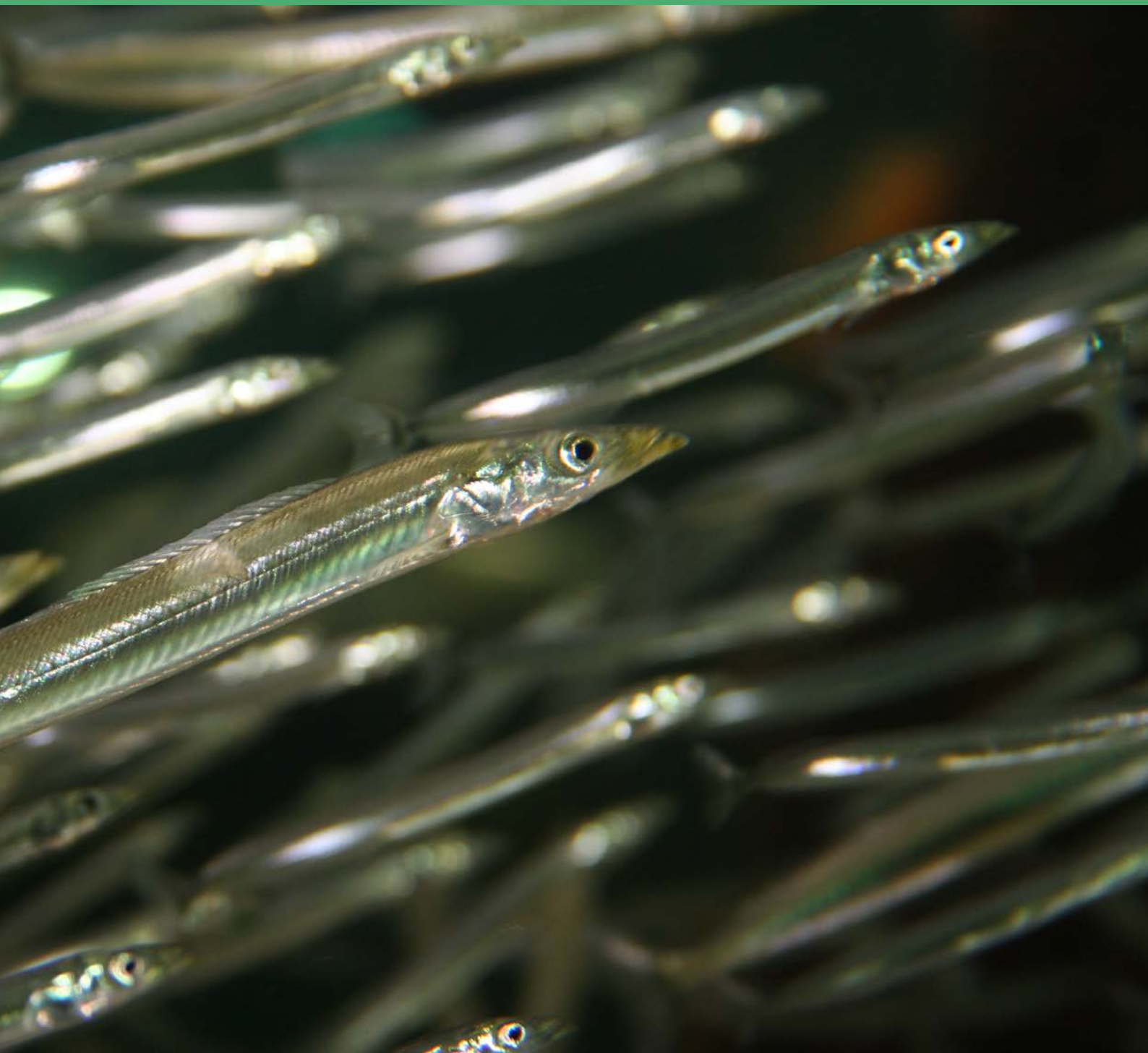


Fremadrettet forvaltning af tobis i Nordsøen

Af Henrik Mosegaard, Dorte Bekkevold, Casper Berg, Asbjørn Christensen, Julie Olivia Davies, Jakob Hemmer Hansen, Belén Jiménez Mena, Henrik S. Lund, Lars O. Mortensen, Anders Nielsen, Søren Anker Pedersen, Anna Rindorf, Claus R. Sparrevohn, Mikael van Deurs, Morten Vinther og Lotte Worsøe Clausen

DTU Aqua-rapport nr. 346-2019





Fremadrettet forvaltning af tobis i Nordsøen

Slutrapport

Af Henrik Mosegaard, Dorte Bekkevold, Casper Berg, Asbjørn Christensen, Julie Olivia Davies, Jakob Hemmer Hansen, Belén Jiménez Mena, Henrik S. Lund, Lars O. Mortensen, Anders Nielsen, Søren Anker Pedersen, Anna Rindorf, Claus R. Sparrevohn, Mikael van Deurs, Morten Vinther og Lotte Worsøe Clausen

DTU Aqua-rapport nr. 346-2019

Datablad

Titel: Fremadrettet forvaltning af tobis i Nordsøen. Slutrapport

Forfattere: Henrik Mosegaard¹, Dorte Bekkevold¹, Casper Berg¹, Asbjørn Christensen¹, Julie O. Davies¹, Jakob Hemmer Hansen¹, Belén Jiménez Mena¹, Henrik S. Lund², Lars O. Mortensen¹, Anders Nielsen¹, Søren Anker Pedersen⁴, Anna Rindorf¹, Claus Reedtz Sparrevohn³, Mikael van Deurs¹, Morten Vinther¹ og Lotte Worsøe Clausen¹

¹ DTU Aqua
² Danmarks Fiskeriforening Producent Organisation (DFPO)
³ Danmarks Pelagiske Producentorganisation (DPPO)
⁴ Marine Ingredients Denmark (MID)

DTU Aqua-rapport nr. 346-2019

År: Rapporten er færdiggjort november 2018.

Reference: Mosegaard, H. et al. (2019) Fremadrettet forvaltning af tobis i Nordsøen. Slutrapport. DTU Aqua-rapport nr. 346-2019. Institut for Akvatiske Ressourcer, Danmarks Tekniske Universitet. 43 pp.

Forside: Tobis. Foto: Thomas Warnar

Udgivet af: Institut for Akvatiske Ressourcer, Kemitorvet, 2800 Kgs. Lyngby

Download: www.aqua.dtu.dk/publikationer

ISSN: 1395-8216

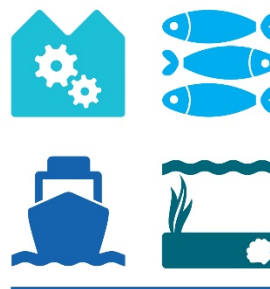
ISBN: 978-87-7481-268-5

Projektet "Fremadrettet forvaltning af tobis i Nordsøen" er finansieret af Den Europæiske Hav- og Fiskerifond og Fiskeristyrelsen (J.nr. 33113-B-15-002).



**Den Europæiske Union
Den Europæiske Hav- og Fiskerifond**

HAV & FISK



Forord

Nærværende rapport er en opsummering af resultaterne fra EHFF-projektet "Fremadrettet forvaltning af tobis i Nordsøen" som gennem nationalt såvel som internationalt samarbejde mellem en lang række forskere, repræsentanter fra fiskeri og forarbejdningsindustri samt forvaltningen har endevendt eksisterende data om tobis og tobisfiskeri, sammensat nye modeller for bestandsdynamik og forvaltningstiltag for at forbedre mulighederne for et langsigtet økosystembaseret bæredygtigt og profitabelt afkast fra en af de vigtigste arter i dansk fiskeri.

Vi takker repræsentanter fra erhverv og myndigheder for deltagelse og bidrag ved møder og workshops, specielt Jens A. Borup (FF Skagen), Jesper Juul Larsen (DFPO), og Bent Pallisgaard (Udenrigsministeriet).

Lyngby, november 2018

Henrik Mosegaard
Projektleder

Indhold

1.	Sammenfatning af projektet	6
2.	Gennemgang af projektets aktiviteter.....	8
2.1	Tobisens fordeling i Nordsøen i relation til forvaltningsområder (AP 1).....	8
2.1.1	<i>Oversigt over tilgængelige data, litteratur og viden (M.1.1)</i>	8
2.1.2	<i>Larvedrift simulering med høj rumlig opløsning (M.1.2).....</i>	11
2.1.3	<i>Model for tobislarvetransport i Nordsøen (M.1.3)</i>	12
2.1.4	<i>Review af hhv. litteratur, mærkningsdata og anden viden (M.1.4).....</i>	16
2.1.5	<i>Komparative beregninger på bestandsspecifikke parametre (M.1.5).....</i>	16
2.1.6	<i>National workshop om tobisforvaltning (M.1.6).....</i>	18
2.1.7	<i>Syntese præsenteret i Benchmark gruppen i ICES (M.1.7).....</i>	19
2.2	Biologiske data på tobis i relation til bestandsstrukturen i Nordsøen (AP2).....	21
2.2.1	<i>Udvælgelse af evt. supplerende genetiske analyser med følgegruppe (M.2.1)</i>	21
2.2.2	<i>Genetiske analyser på eksisterende materiale (M.2.2).....</i>	22
2.2.3	<i>Vækst analyser på eksisterende materiale (M.2.3).....</i>	26
2.2.4	<i>Syntese af potentielle genetiske forskelle på tobis i Nordsøen (M.2.4).....</i>	27
2.2.5	<i>Syntese af potentielle område-specifikke vækstmønstre for tobis i Nordsøen (M.2.5) 28</i>	
2.3	Fiskeriafhængige og fiskeriuaafhængige input data (AP3).....	29
2.3.1	<i>Resultater på nedgravningsadfærd til diskussion med følgegruppen (M.3.1)</i>	29
2.3.2	<i>Diskussion af et optimeret skrabetogt i følgegruppe (M.3.2).....</i>	30
2.3.3	<i>Definition af den relative fangbarhed af aldersklasser henover sæsonen (M.3.3) ...</i>	31
2.3.4	<i>Præsentation til følgegruppen: CPUE henover sæson for udvalgte banker i relation til bestandsstørrelse/sammensætning (M.3.4).....</i>	31
2.3.5	<i>Skrabetogt-revision og efterfølgende datahåndtering (M.3.5).....</i>	32
2.3.6	<i>Analyse af rekrutteringsindices (M.3.6).....</i>	32
2.4	Bestandsvurdering af tobis i Nordsøen (AP4)	34
2.4.1	<i>Præsentation af muligheden for en kategori 1 bestandsvurdering for SA4 (M.4.1) .</i>	34
2.4.2	<i>Inklusion af en revideret effort model i bestandsvurdering (M.4.2)</i>	35
2.4.3	<i>Præsentation af inklusion af nye fiskeriuaafhængige indices i bestandsvurdering (M.4.3) 38</i>	
2.4.4	<i>Sammenholde model diagnostikker for bestandsmodeller med og uden Continuous Plankton Recorder larve-data og vandloppet-data (M.4.4).....</i>	39
2.4.5	<i>Syntese af model-valg for bestandsvurdering af tobis i Nordsøen (M.4.5)</i>	39
2.4.6	<i>Syntese af effekten af koncentration af fiskeri på opfattelsen af bestandene (M.4.6) samt kvantificering af bias (M16)</i>	39
2.5	Referencepunkter (AP5).....	39
2.5.1	<i>Økosystem- samt bestandsspecifikke referencepunkter bestemt for alle bestande og præsenteret til review i ICES (M.5.1)</i>	40
2.6	Forvaltningsstrategier for tobis i Nordsøen (AP6)	41
	Referencer	43

English summary

Management options for sandeel in the North Sea

Sandeel in the North Sea is a priced commercial species and an ecological key species acting as prey for numerous predators from birds, through fish, to sea mammals. Sandeel is in particular important to the Danish fishery and fishmeal industry. However, large fluctuations in stock size and a complicated system of sub areas, where several have been deemed data poor by ICES, have been a challenge for the dependent industry.

The main aim of the present project was to provide a scientific basis for making a re-evaluation of the models and management regime used by ICES to provide advice for sandeel in the North Sea. This required (i) reviewing the literature to identify holes in our basic knowledge, (ii) investigating transport of sandeel larvae between fishing grounds and differences in population dynamics and productivity to guide decisions regarding management areas, (iii) developing a new survey index from the existing sandeel dredge survey, and (iv) make an effort to improve existing stock assessment models where possible.

Approximately half way through the project period, the ICES benchmark for sandeel took place. Here, all new results from the project was presented and used to facilitate a number of changes and improvements of the models and management regime.

After the benchmark the project carried on to further underpin some of the decision made during the benchmark meeting. These included conducting otolith analyses and population genetics, revealing novel insight, and the factual area divisions decided at the benchmark meeting was specifically evaluated using larval drift simulations.

Studies of environmental drivers of sandeel recruitment and productivity were also finalized during the second half of the project. The results revealed that the productivity of forage fish in the North Sea in general (sandeel included) has declined over time, explaining why the high fishing mortalities experienced during the 1990s cannot be maintained today. Correlative links were found between environmental variability and sandeel recruitment, suggesting that recruitment forecasting is potentially possible. This work has therefore been presented before the members of the ICES WKS2D working group. This group is now planning to test an operational forecasting model in the coming years.

Lastly, the process of evaluating a range of management strategies was initiated to support the ongoing process of developing a long-term management plan. The MSE work is still ongoing and the continuousness of this work has been ensured by a new project initiated in 2017.

1. Sammenfatning af projektet

Formålet med projektet er at forbedre bestandsvurdering og forvaltning af tobisfiskeriet i Nordsøen. Tobisfiskeriet udgør det økonomisk vigtigste industrifiskeri i Danmark. Da tobis er en vigtig fødekilde for andre arter i økosystemet skal fiskeriforvaltningen sikre en optimal udnyttelse af tobisbestanden samtidigt med at der er en bæredygtig balance i økosystemet, som tager hensyn til biodiversiteten. Projektet er ansøgt under tilskudsordningen "Tilskud til fiskeri, natur og miljø" og ledet af DTU Aqua, repræsenteret i projektet ved projektleder Lotte Worsøe Clausen og senere projektleder Henrik Mosegaard. Projektet blev gennemført i perioden 17/11-2015 - 17/8-2018.

Projektet omfatter fire hovedområder Dataindsamling, Bestandsvurderinger, Forvaltning og Dialog/Vidensdeling og blev organiseret i 6 arbejdsplaner som skulle understøtte arbejde om 1) Tobisens fordeling i Nordsøen i relation til forvaltningsområder, 2) Biologiske data på tobis i relation til bestandsstrukturen i Nordsøen, 3) Fiskeriafhængige og fiskeriuafhængige input data, 4) Bestandsvurdering af tobis i Nordsøen, 5) Referencepunkter og 6) Forvaltningsstrategier for tobis i Nordsøen.

Projektet er i høj grad bygget som støtte til benchmark for tobis (WKSAND 2016) og den senere proces med udvikling af forvaltningsstrategier for fiskeriet. Dette krævede at (i) gennemgå litteraturen for at identificere huller i vores grundlæggende viden, (ii) undersøge transport af tobislarver mellem fiskeriområder og forskelle i bestandsdynamik og produktivitet for at understøtte beslutningen vedrørende forvaltningsområder, (iii) udvikle et nyt surveyindeks fra det eksisterende skrabetogt, og (iv) forbedre eksisterende bestandsvurderingsmodeller, hvor det er muligt.

Ca. halvvejs gennem projektperioden fandt ICES-benchmark for tobis sted. Her blev alle nye resultater fra projektet præsenteret og brugt til understøtte en række ændringer og forbedringer af modeller og forvaltningsregimer. Efter benchmark fortsatte projektet med yderligere at udvikle analyser og værktøjer præsenteret på benchmarkmødet. Disse omfattede otolitanalyser og populationsgenetik som gav nye indsigter, og de på benchmarkmødet foreslåede områdeopdelinger blev specifikt evalueret ved hjælp af larvedriftssimuleringer. Undersøgelser af miljøpåvirkninger af rekruttering og produktivitet hos tobis blev også gennemført i anden halvdel af projektet. Resultaterne viste, at produktiviteten af fødefisk i Nordsøen generelt (inklusive tobis) er faldet over tid og forklarer, hvorfor de store fiskeridødeligheder man havde i 1990'erne ikke kan opretholdes i dag. Der blev fundet korrelative links mellem miljøvariabilitet og rekrutteringen af tobis, hvilket tyder på, at forudsigelser af rekruttering er potentielt mulig. Dette arbejde er derfor blevet præsenteret for medlemmerne af ICES WKS2D arbejdsgruppen. Denne gruppe planlægger nu at teste en operationel prognosemodel i de kommende år. Endelig blev processen med at evaluere en række forvaltningsstrategier indledt for at understøtte den igangværende proces med udvikling af en langsigtet forvaltningsplan. MSE-arbejdet er stadig i gang, og kontinuiteten i dette arbejde er sikret ved et nyt projekt, der blev igangsat i 2017 (Forvaltningsmodeller for fiskebestande EHFF).

Resultaterne fra projektet har bidraget til en videnskabelig evaluering og forbedring af tobis bestandsvurdering og fiskerirådgivning for tobis nationalt og i ICES. Dette er gjort dels direkte ved medvirken og præsentation ved benchmarkmøder samt i ICES arbejdsgruppen der rådgiver om tobis (HAWG), og dels ved at frembringe internationale fagfælle-granskede artikler, der kan understøtte en igangværende videnskabelig forbedring af de nuværende bestandsvurderinger. Resultaterne fra dette projekt indgår således direkte i arbejdsplanen for rådgivningen i ICES og den opfølgende proces med udvikling af forvaltningsplaner. Alt dette er gennemført i et tæt samarbejde mellem forskning og sektoraktører (stakeholders).

Projektets resultater er desuden direkte anvendelige som baggrund for diskussioner i den eksisterende ad hoc-arbejdsgruppe under Erhvervsfiskeriuvalget om industrifiskeriet. De forskellige analyser og metoder i projektet supplerer hinanden og har gjort det muligt både at forbedre den nuværende bestandsvurdering og rådgivning på kort sigt (benchmark) og fremadrettet (via ICES og EU/Norge). Samtidig bidrager projektet til en udvikling af et velfunderet grundlag for en forvaltningsstrategi, der opererer inden for rammerne af CFP'en, er baseret på økosystemhensyn og giver bedst mulig udnyttelse af tobisen som fiskeri-ressource. Projektets resultater er data, modeller og analyser som føder direkte ind i udviklingen af en overordnet forvaltningsplan for tobis, der evt. på sigt kan samles med forvaltningsplaner for hele det danske industrifiskeri. En sådan forvaltningsplan vil kunne understøtte udnyttelsen af tobisen inden for bæredygtige rammer defineret i et økosystembaseret forvaltningsperspektiv.

Projektets resultater er bl.a. en forbedret og sikrere bestandsvurdering, en bedre mulighed for forvaltning af tobisfiskeriet i Nordsøen gennem nye tobisområder og en optimal udnyttelse af tobisbestanden samtidigt med at der er en bæredygtig balance i økosystemet. Projektet er udført i et partnerskab mellem de to danske fiskeriorganisationer samt forarbejdningsindustrien og er dermed bredt forankret i et samarbejde omkring problemstillingerne i projektet. Således bidrager det til en fælles forståelse af de nødvendige forudsætninger for en bæredygtig forvaltning af en vigtig samfundsmæssig ressource.

Projektet har samlet den nyeste viden fra alle implicerede aktører til en bæredygtig økosystembaseret forvaltning. Det videnskabelige (biologisk, modelleringsteknisk) værktøj udviklet indenfor projektet er det internationalt mest avancerede produkt på "markedet", analysen af den økonomiske (rentabilitet af fiskeri, input fra erhverv omkring fiskeri, CPUE, mv.) bygger på dansk industrifiskeri og forarbejdning som er verdensledende og sidst men ikke mindst de forvaltningsmæssige diskussioner og analyser er forankret i et bredt forum af hhv. videnskab, fiskerierhverv, forarbejdningsindustri og forvaltning på et område hvor parterne er dominerende. En opdateret baggrund sammen med nye analyser af tobisens biologi, udbredelse, migration og kvantificering af fiskerirelaterede parametre danner tilsammen et solidt grundlag for formuleringen af mulige forvaltningsstrategier med fælles identificerede forvaltningsmål.

2. Gennemgang af projektets aktiviteter

I de følgende afsnit vil alle projektets arbejdsplaner (AP) blive beskrevet ved en gennemgang af milepæle (M) og deres relaterede aktiviteter. Evt. afvigelser i forhold til ansøgningen vil blive forklaret og erfaringer/konklusioner vil blive opsummeret i forbindelse med hver arbejdsplan.

2.1 Tobisens fordeling i Nordsøen i relation til forvaltningsområder (AP 1)

Formålet med arbejdsplanen har været at få afdækket eksisterende publiceret og anekdotisk viden om tobisen i Nordsøen i relation til dens fordeling over sæson og livscyklus. Al viden fra den videnskabelige litteratur, fiskeriets observationer, mærkningsdata og data på tobisfordeling i Nordsøen er blevet samlet og diskuteret på en workshop, hvor det overordnede fokus var de eksisterende tobisforvaltningsområder, deres baggrund og vurderede berettigelse. Derudover er der i denne arbejdsplan blevet foretaget sammenlignende beregninger for en samlet tobisbestand i hele Nordsøen og for de gældende opdeltede bestande i Nordsøen i relation til relevante bestandsparametre.

Resultaterne fra AP1 danner grundlag for diskussion af forvaltningsstrategier i AP6.

2.1.1 Oversigt over tilgængelige data, litteratur og viden (M.1.1)

Review af tilgængelig litteratur på tobisbiologi i relation til livscyklus, vækst, reproduktion, rekruttering, larvedrift, migration

Indsats

Et litteraturreview over tobisens biologi er blevet udarbejdet som baggrundsinformation for projektet og rådgivningsarbejdet i forbindelse med rapporteringen af benchmark for tobis (ICES 2016). Reviewets mål har været at afdække hvad vi ved og ikke ved om tobiser og derved identificere vigtige mål for fremtidige forskningsindsatser. Rapporten er skrevet på engelsk af hovedforfatterne Lars O Mortensen og Mikael van Deurs og sammenfatter tobisens biologi ud fra de 105 vigtigste videnskabelige artikler om tobiser fra forskellige arter og slægter med hovedvægt på europæiske studier. Rapporten gennemgår taksonomi, morfologi, habitatkrav, fødebiologi, vækst, dødelighed, reproduktion, larvebiologi, drift og migration samt geografisk udbredelse og indeholder bl.a. en oversigt over den globale udbredelse af 31 identificerede tobisarter samt deres kendetræk. Endelig er der et kort afsnit om fiskeri på tobis.

Konklusion

Gennemgangen af litteraturen førte til en erkendelse af at viden om tobisens mobilitet gennem livet er ganske begrænset. Der findes enkelte ældre mærkningsstudier og nyere teoretiske studier, samt et enkelt nyere studie, som baserer sig på længdefordelinger af tobis på Doggerbanke. Disse studier konkluderer at overordnet set er tobisen stedfast efter "settlement" og spredningen sker derfor hovedsageligt i larvefasen. De ældre mærkningsstudier er imidlertid vanskelige at konkludere noget generelt ud fra og hvor vidt der kan ske vandringer mellem fiskebanke henover sommeren og efteråret kan ikke endegyldigt fastslås ud fra disse studier. I forhold til de teoretiske larvespredningsstudier mangler der viden om svømmeadfærden hos de store larver (i hvilket omfang kan de "modarbejde" havstrømme). Derudover er det stadig uklart hvilke mekanismer der driver de store tobis-årgange. Der er opstillet en række hypoteser i litteraturen, men der mangler robuste tests af disse.

Samling af tilgængelig viden fra fiskeriet omkring tobisfordeling i Nordsøen

Fiskeriet

De kommercielle tobisfangster består langt overvejende af havtobis *Ammodytes marinus*, dog kan små mængder af andre tobisarter *Ammodytoidei spp.* også optræde i fangsterne. Der er en begrænset bifangst af beskyttede arter (ICES WGNSSK 2004).

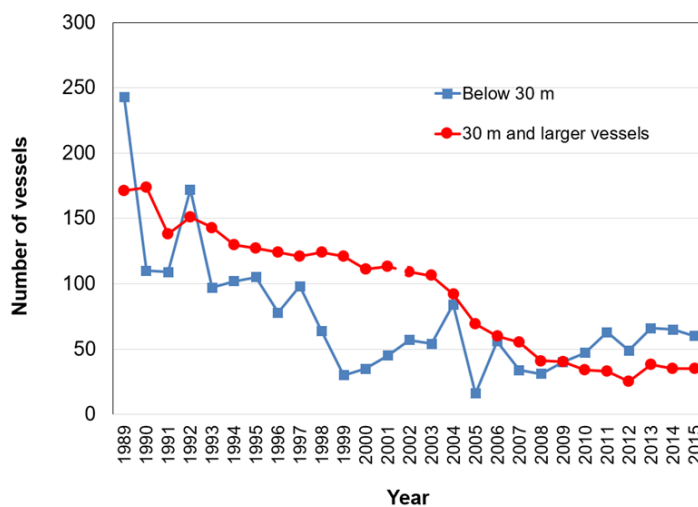
Danmark, Norge, Sverige, UK, og Tyskland deltager alle i tobisfiskeriet, dog med Danmark som den primære aktør. De danske fartøjer har historisk tegnet sig for omkring 73% af totallandingerne.

Tobisfiskeriet er et meget sæsonbetonet fiskeri, hvor også den geografiske udbredelse af fiskeriet ændres over sæsonen. Fiskeriet foregår primært om foråret og sommeren, hvor man hen over sæsonen ser et skift fra et fiskeri centreret omkring Dokker banke til de mere Østlige fiskepladser.

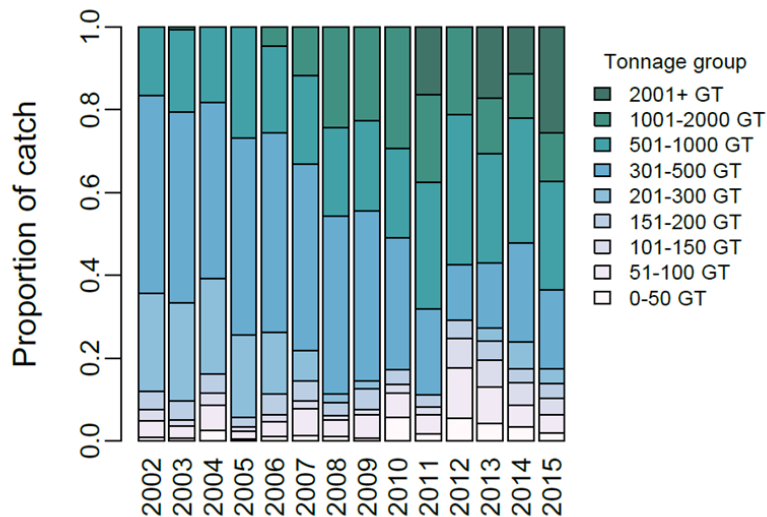
Tobisfiskeriet udviklede sig i løbet af 1970'erne med de indtil nu højeste fangster i 1999 hvor der officielt blev landet 1.2 million tons. I 2003 skete der dog et betydeligt skift i landingerne af tobis. I perioden 1994 til 2002 blev der i gennemsnit landet 880 000 tons mens der i perioden 2003 til 2016 kun i gennemsnit blev landet 300 000 tons.

Størrelsen af de fartøjer der har deltaget i fiskeriet, har også ændret sig med årene. Tendensen har været færre og større fartøjer (ICES, 2007). I perioden efter 2000 skete der et betydeligt fald i tobis fangsterne og mange danske fartøjer blev der for oplagt og kvoten solgt fra (Figur 1). In 2004 blev tobis underlagt et ITQ system som yderligere har resulteret i en koncentration af kvoter på større fartøjer.

Større fartøjer ledte også til at fartøjerne begyndte at bruge større travl og poser hvori der kunne fanges flere tobis (Figur 2). I løbet af de seneste ti år har antallet af Danske fartøjer som deltager i tobisfiskeriet været stabilt omkring 100 aktive fartøjer.



Figur 1. Antal danske fartøjer som landede tobis i årene 1989-2015. (Data: Fiskeristyrelsen 2016.)



Figur 2. Bar plot af fangstandel pr. brutto tonnage gruppe pr. år (Ohlberger and Hilborn, 2016).

Den samme tendens har gjort sig gældende i Norge frem til 2005. I 2006 var der kun seks Norske fartøjer der deltog i et eksperimentelt fiskeri i Norsk EEZ, sammenlignet med at der i 2002 var 53 fartøjer involveret. I 2008, deltog 42 fartøjer i tobisfiskeriet og i 2015 var det tal 29. I perioden fra 2002 til 2014 steg gennemsnits GRT per fangstrejse i den Norske flåde fra 269 til 1150 t.

Den strukturelle ændring i flåden kan potentielt have ledt til øget usikkerhed i bestandsvurderingen da ændringer i fiskerimønstret og fartøjernes effektivitet er svære at tage hensyn til.

Fiskerireguleringer

Teknisk regulering af tobisfiskeriet indeholder blandt andet en målartsprocent på 95% for trawl med maskestørrelse under 16 mm, mens målartsprocenten er 90% (dog maksimalt 5% torsk, kuller og sej) for redskaber med maskestørrelse mellem 16 og 31 mm. De overordnede fangster er reguleret via en områdespecifik TAC (siden 2011) Siden 2005 har Danske fartøjer tidligst haft lov til at starte med at fiske 1. april.

Viden om tobisens fordeling

Gennem projektmøder, præsentationer og rapporter fra fiskeriet er der indsamlet konkret og anekdotisk viden om tobisens fordeling i Nordsøen.

En lang række tobisfiskere har bidraget med deres specifikke viden til møder og workshops omkring førstehåndsobservationer, gjort under deres målrettede tobisfiskeri. Der er blevet fortalt omkring mulige flytninger/vandringer af større stimer af tobis mellem banker og ikke mindst månefaser og strøm-mens betydning er der ofte blevet gjort opmærksom på. Episoder hvor tobisbanker er tomme hvorefter de ugen efter er fyldte med tobis vidner om et meget omskifteligt fiskeri hvor mange faktorer spiller ind på fangbarheden af fisken.

Opsummering af bestandsstrukturen for tobis i Nordsøen inklusive data fra mærkningsforsøg

Bestandsstrukturen

En række forskellige metoder kan bruges til at undersøge bestandsstruktur for marine fiskearter som tobis hvor larvestadiet antages at udgøre det vigtigste tidspunkt for populationens spredning og voksenstadiet er karakteriseret af lokal tilknytning til egnet habitat med ukendt migration mellem furage-rings område og gyde område.

Biologisk - fysisk koblet modellering af larvedrift kan afdække spredningsmønstre fra æg-stadiet til senere bundfældning af de metamorfoserede juvenile individer.

Analyse af karakteristiske størrelsesfordelinger på afgrænsede tobisbanker kan indikere om der foregår signifikant opblanding gennem migration.

Analyse af naturlige mærker så som mikrostruktur og kemiske signaler i øresten kan fortælle om bundfældede individer i forskellige områder adskiller sig fra hinanden og dermed indikere fysisk isolation mellem delområder for tobisudbredelse.

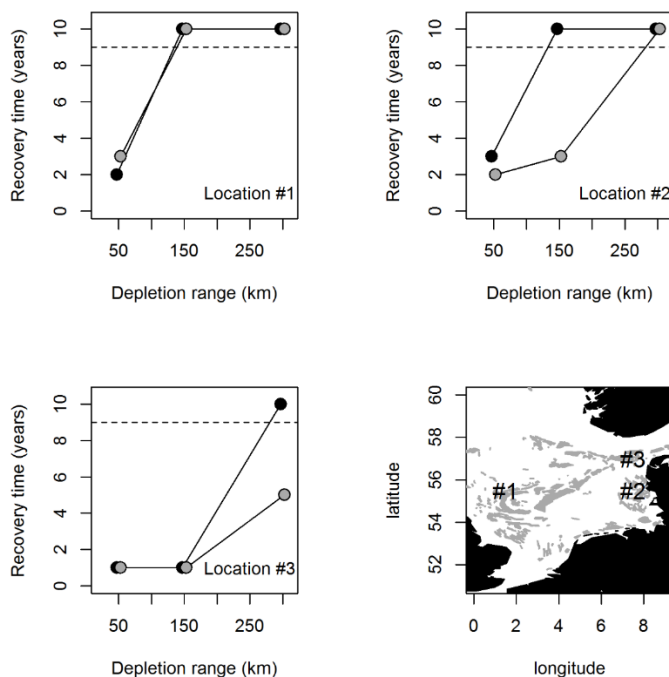
2.1.2 Larvedrift simulering med høj rumlig opløsning (M.1.2)

Sammenlignende beregninger af tidsmæssig udvikling i vækst, dødelighed, modenhed og rekruttering i relation til geografiske og miljømæssige parametre

Modellering af larvedrift

I en række studier inden og i forbindelse med nærværende projekt er en hydrografisk-biologisk koblet model SPAM blevet udviklet og brugt til at følge tobislarvernes drift fra klækning på gydebankerne til bundfældning på nye egnede tobisbanker. Egnede tobishabitater er tidligere blevet identificeret som sand/grusbanker med et lavt indhold af silt og med historisk forekomst af tobisfiskeri på eller i nærheden af bankerne (Jensen og Rolev 2004). En bio-fysisk koblet livsstadie-model for tobis er udviklet ved DTU Aqua (Christensen et al. 2007, 2008 og 2009).

Lokale forekomster af fisk kan variere betydeligt i antal og størrelse hos stedfaste arter; eftersom en løbende opblanding af individerne i populationen efter bundfældning (settlement) er meget begrænset og al spredning sker i larvefasen. I nogle tilfælde vil afstandsmæssige og hydrografiske barrierer for spredningen resultere i en adskillelse i uafhængige populations-enheder, men i andre tilfælde vil spredningen i larvefasen bidrage til en homogeniseret genpulje og dermed bibeholde den genetisk ensartede population over tid, mens geografisk adskilte forekomster af fisk inden for denne population udviser betydelige forskelle i populations-dynamik og produktivitet. I artiklen Wright et al 2018 undersøgte forfatterne hvilken geografisk skala der er mest hensigtsmæssigt til forvaltning af tobis i Nordsøen. Bør tobisen forvaltes som en stor enhed eller vil det være hensigtsmæssigt ud fra et biologisk perspektiv at underindele bestanden og i så fald hvordan. Der benyttes en række forskellige metoder lige fra otolit-baserede metoder, over mærknings-studier, til vækst og rekrutterings-analyser. Også teoretiske larvedrifts-simuleringer benyttes. Konklusionen er at forekomster adskilt med > 200-400 km bør forvaltes som adskilte enheder. Dette betyder at tobis forekomster langs UK's østkyst med rette kan forvaltes adskilt fra resten af Nordsøen. Men hvad med resten? Hvordan inddeler man et kontinuum af tobis-forekomster, der strækker sig mere end 600 km på tværs af Nordsøen, i en eller flere forvaltningsenheder. Det er dette og en række andre spørgsmål, som berøres i artiklens diskussion. Herunder gennemførte vi et simuleringsstudie, som skulle belyse hvor lang tid det vil tage at genopbygge en del-population efter lokal nedfiskning. Simulerings-studiet blev udført med larvedrifts-modellen beskrevet i (Christensen et al. (2009) samt antagelserne om begrænset bevægelighed hos voksne individer rapporteret i (Jensen et al. (2011). Der blev kigget på tre forskellige centrale lokaliteter inden for de daværende forvaltningsområder 1-3. Konklusionen blev at effekten af en lokal nedfiskning i et mindre område (50 km i diameter) vil være forsvundet efter få år på alle tre lokaliteter undersøgt. Nedfiskes et større område på 150 km vil en genopbygning af populationen tage mindst 10 år på Dogger Banke-lokaliteten, mens den på de østlige lokaliteter vil tage 2-3 år. Nedfiskes et område på 250 km vil en genopbygning af populationen tage mindst 5 år og på 2 ud af 3 lokaliteter undersøgt, er tidshorisonten 10 år eller mere.



Figur 3. Simuleret lokal genetableringstid (til 50% af oprindelig tæthed) efter nedfiskning til en lokal populations-tæthed på nul inden for en diameter på 50, 150 og 250 km. Grå cirkler indikerer at individerne kan fordele sig tilfældigt inden for lokale bankeområder, sorte cirkler at de ikke omfordeler sig til egnet nedgravningshabitat. Den stiplede linje angiver at værdier over denne linje har en minimum genetableringstid på 10 år.

Dette studie udgjorde en delmængde af det data materiale, som blev behandlet på tobis-benchmark mødet i Bergen i 2016, og som lå til grund for beslutningen om de nuværende tobis-områder. Resultatet indgår også i en videnskabelig artikel, som på nuværende tidspunkt befinder sig i anden fase af peer-review processen i ICES Journal of Marine Science (Submission id: ICES Journal of Marine Science ICESJMS-2018-382). Projektet er krediteret i artiklens acknowledgement-afsnit.

2.1.3 Model for tobislarvetransport i Nordsøen (M.1.3)

Rumlig eksplicit modellering af larvetransport indenfor og mellem tobisområder for at identificere den forvaltningsmæssigt mest relevante sammenhæng mellem gyde- og fiskepladser (en opdatering fra EFF projektet Korttidsprognoser 'Korttidsprognoser for kortlivede industrifisk under MSY: Forvaltning af tobis i Nordsøen' 2013-2015)

Modellering af tobisudbredelsen

Den biologiske baggrund for, at den rumlige samhörighed i tobisernes bestandsdynamik primært er bestemt af hydrografiske forhold er, at tobiser er bofaste på sandbanker og kun skønnes at sprede sig ubetydeligt i deres voksne livsfase; bestandsopblandingen sker dermed kun i larvefasen, hvor spredningen følger de variable hydrografiske forhold, da larvernes svømmekapacitet er meget begrænset. Da spredningsperioden er nogenlunde velkendt, kan spredningsmønstrene mellem Nordsøens sandbanker forudses ud fra forårsperiodens strømforhold, og dermed kan det skønnes, hvordan sandbankernes rekruttering påvirker hinanden. Forårsperiodens strømforhold leveres til DTU af DMI's operationelle hydrografiske model, der også anvendes til at lave de daglige vejrudsigter.

Det biologiske udgangspunkt er, at sandbanker, der er samhørende så vidt muligt skal forvaltes som én enhed, da bestandsdynamikken inden for samhørende områder følges ad. Sandbankernes samhörighed analyseres vha. klyngeanalyse, der udpeger, hvilke sandbanker, der i særlig grad hører sammen. Der findes en del tekniske varianter af klyngeanalyse, men heldigvis giver de samme overordnede billede af sandbankernes samhörighed. Her fokuserer vi på de to varianter SREC og SIL. Den første (SREC) arrangerer sandbankerne i områder, hvor selvrekutteringsgraden inden for områderne er maksimal. Denne algoritme kan desuden vurdere, hvor meget ringere en alternativ områdeopdeling (der ikke er optimal) er. Den anden algoritme er SIL, der er den såkaldte statistiske silhuet ved en områdeopdeling. Silhuetten måler i hvor høj grad en sandbanke bedre hører til et område, i stedet for andre områder; ved at optimere den gennemsnitlige silhuet for alle sandbanke opnår således en optimal områdeopdeling. Ligesom SREC algoritmen kan SIL algoritmen også vurdere, hvor meget ringere en alternativ områdeopdeling (der ikke er optimal) er.

I projektet blev der fulgt op på analyser fra et tidligere EFF-projekt (Korttidsprognoser), som ligeledes behandlede larvetransporten i Nordsøen. I nærværende projekt blev tidligere resultater suppleret med analyser til belysning af den biologisk optimale bestands-inddeling baseret på hhv. larvedrifts-analyser foretaget med metoden beskrevet i Christensen et al. (2009), samt en "SWAP" analyse som identificerede de bestands-inddelinger der giver den bedste alders-længde nøgle baseret på skrabetogts-data (ud fra sammenligninger af AIC). Begge analyser er forudindtagede i forhold til antallet af underbestande man ønsker. Analyserne og resultater fra "korttidsprognoser" indgik i det datamateriale, som blev behandlet på tobis-benchmarkmødet i Bergen i 2016 og lå til grund for beslutningen om de nuværende tobis-områder (SA'er, lig med bestandsunderinddeling).

Der blev desuden udført eksplicite klyngeanalyser af den geografiske kobling af rekrutteringen mellem tobisområderne i den foreslåede opdeling.

En rumlig modellering af de fra 2017 implementerede tobisområder new-ICES i forhold til de indtil 2016 anvendte områder old-ICES. To forskellige klyngedannelses-metrikker bruges i teksttabellen i nedenstående sammenligning, rækkevis angiver det klynge-performance, når man måler med silhuet (sil) eller selvrekutteringsgrad (srec).

sac-cluster er de klynger, der kommer med med hierarkisk klyngeopdeling med 4 klynger, ud fra den symmetriserede konnektivitetsmatrix (eller "transportmatrix anvendt som similaritiesmatrix"). sil-cluster er de klynger, der kommer ud, hvis man optimerer silhuet for 4 klynger; srec-cluster er de klynger, der kommer ud, hvis man optimerer selvrekutteringsgrad.

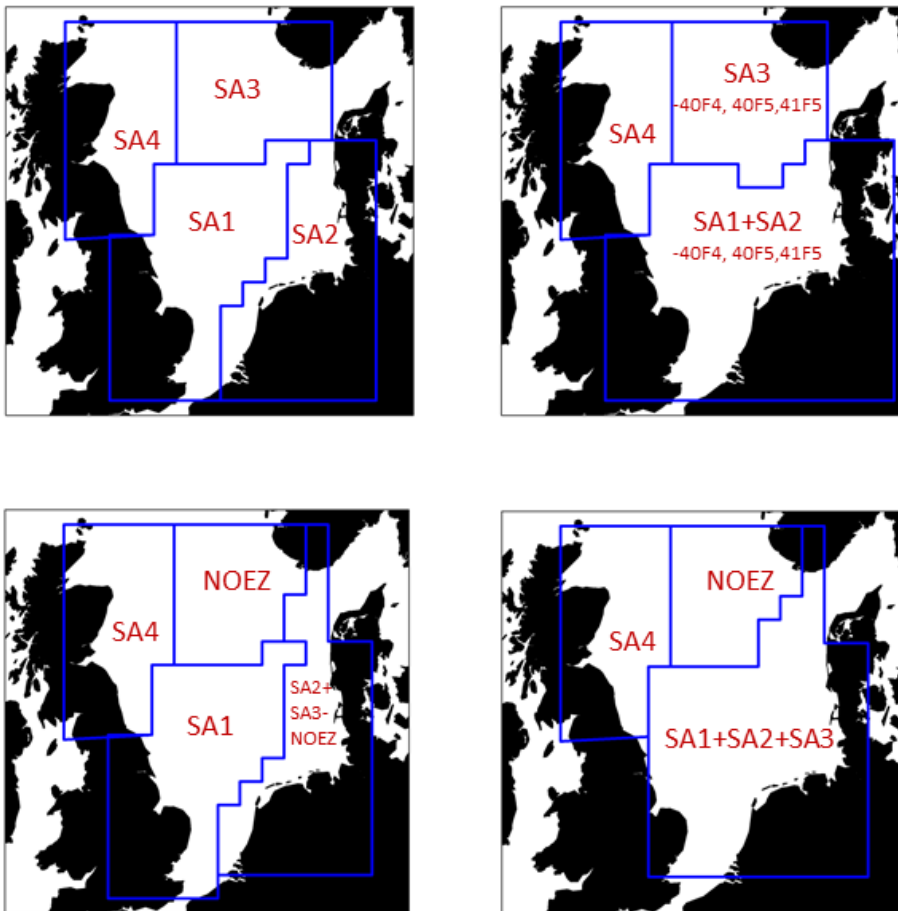
oldICES er klynger, svarende til gamle kort; newICES er klynger, varende til nyt kort.

Den hydrografiske konnektivitetsmatrix dækker kun de 4 sydligste områder. Kattegathabitaterne er ikke med i de gamle tobiskort, der kun dækker Nordsøen, og derfor var de ikke med i kørslen.

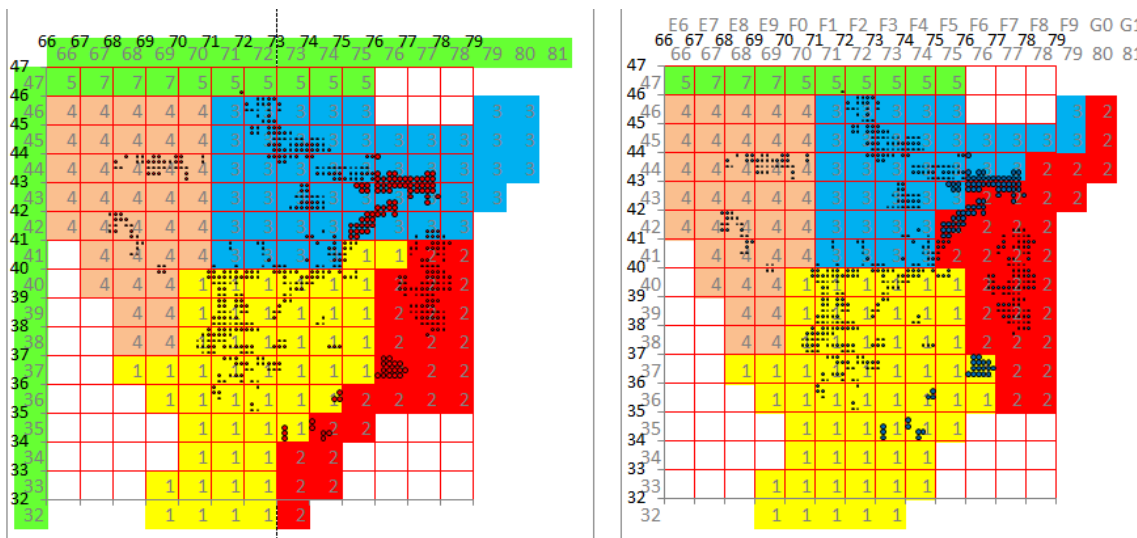
sac algoritmen definerer ikke en metric der er en klynge-funktion, dvs. giver en performance svarende til en vilkårlig klyngeopdeling - det gør derimod sil og srec, der er variationelle algoritmer.

Overordnet performer newICES nogenlunde som oldICES hydrografisk set (ikke dårligere), men overordnet set performer både oldICES og newICES noget dårligere på begge skalaer end områder udelukkende defineret ud fra hydrografiske kriterier.

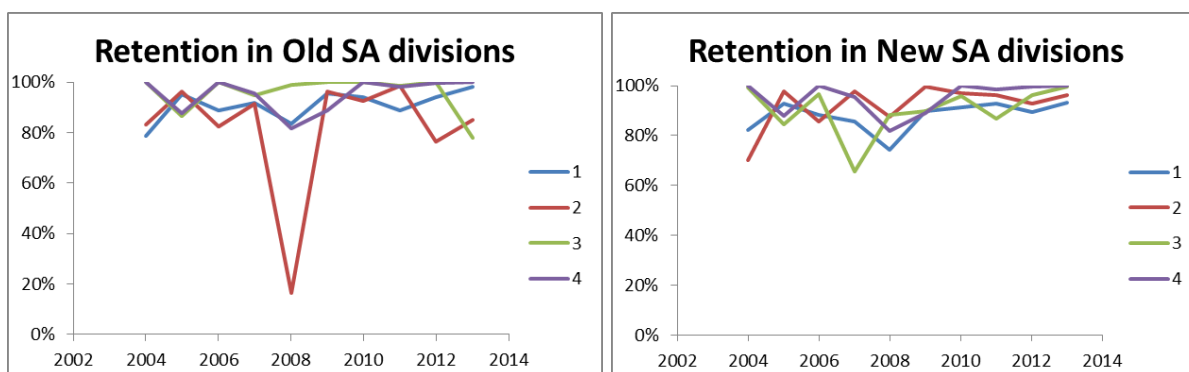
metric	sac-cluster	sil-cluster	srec-cluster	oldICES	newICES
sil	0.8745	0.90916	0.90532	0.79822	0.80612
srec	0.95333	0.95948	0.95961	0.92298	0.9231



Figur 4. Alternative forslag til forvaltningsområder som blev behandlet under data workshop (DEWK) juni 2016.



Figur 5. Transport matrix analyse mellem tobis områder med gammel (venstre) og ny (højre) opdeling af tobisområder (SA). Små cirkler er udgangspunkter for transport.



Figur 6. Årlige selvrekutteringer i de 4 gamle (venstre) og 4 nye SA'er (højre).

Tabel 1. Gennemsnitslige årlige transporter i % mellem SA'er. Venstre panel: import af larver fra et andet SA-område, højre eksport af larver fra et SA til et andet SA. Øvre panel: gammel SA opdeling. Nedre panel: ny SA opdeling.

Import						
Sum of Total	to_Area				Grand Total	
from_Area	1	2	3	4		
1	98%	1%	13%	0%		48%
2	1%	94%	6%	0%		20%
3	1%	5%	80%	0%		27%
4	0%	0%	1%	100%		5%
Grand Total	100%	100%	100%	100%		100%
Sum of Total	to_New				Grand Total	
from_New	1	2	3	4		
1	100%	16%	6%	0%		49%
2	0%	77%	5%	0%		23%
3	0%	8%	88%	0%		24%
4	0%	0%	1%	100%		5%
Grand Total	100%	100%	100%	100%		100%
% of what is transported into Area X comes from Area 1, 2, 3, or 4						

Export						
Sum of Total	to_Area				Grand Total	
from_Area	1	2	3	4		
1	91%	0%	9%	0%		100%
2	2%	88%	10%	0%		100%
3	1%	3%	96%	0%		100%
4	0%	0%	5%	95%		100%
Grand Total	45%	19%	32%	4%		100%
Sum of Total	to_New				Grand Total	
from_New	1	2	3	4		
1	88%	9%	3%	0%		100%
2	0%	94%	6%	0%		100%
3	0%	9%	91%	0%		100%
4	0%	0%	5%	95%		100%
Grand Total	43%	28%	25%	4%		100%
% of what comes from Area X transports into Area 1, 2, 3, or 4						

Der er en tilsyneladende mindre men ikke signifikant ændring af gennemsnitlig transport mellem SA'er ved den nye opdeling. Under antagelse af passiv partikel drift for tobislarver giver den nye opdeling en geografisk mere stabil retention af larver i de opdelte SA områder.

Beregninger af larvetransport og dermed rekruttering fra et forvaltningsområde til et andet blev gennemført med SPAM modellen. Den teoretiske baggrund og praktiske tillempling er beskrevet i et manuskript som indsendes til et internationalt tidsskrift med peer review.

2.1.4 Review af hhv. litteratur, mærkningsdata og anden viden (M.1.4)

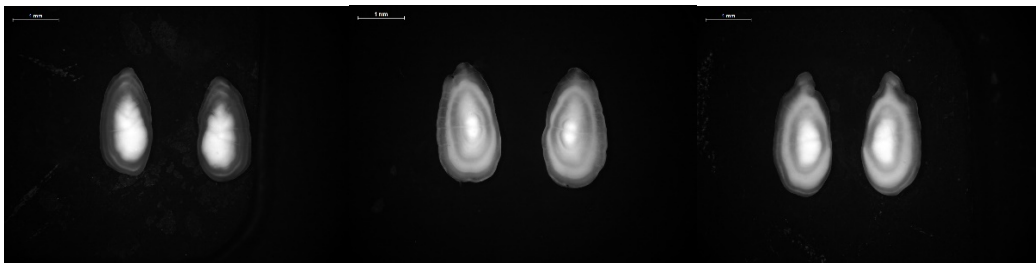
Litteratur-review blev færdiggjort som arbejdsrapport til præsentation ved benchmark workshoppen. Materiale fra denne arbejdsrapport blev senere brugt til afsnit i bestandsbilagene (stock annexes).

2.1.5 Komparative beregninger på bestandsspecifikke parametre (M.1.5)

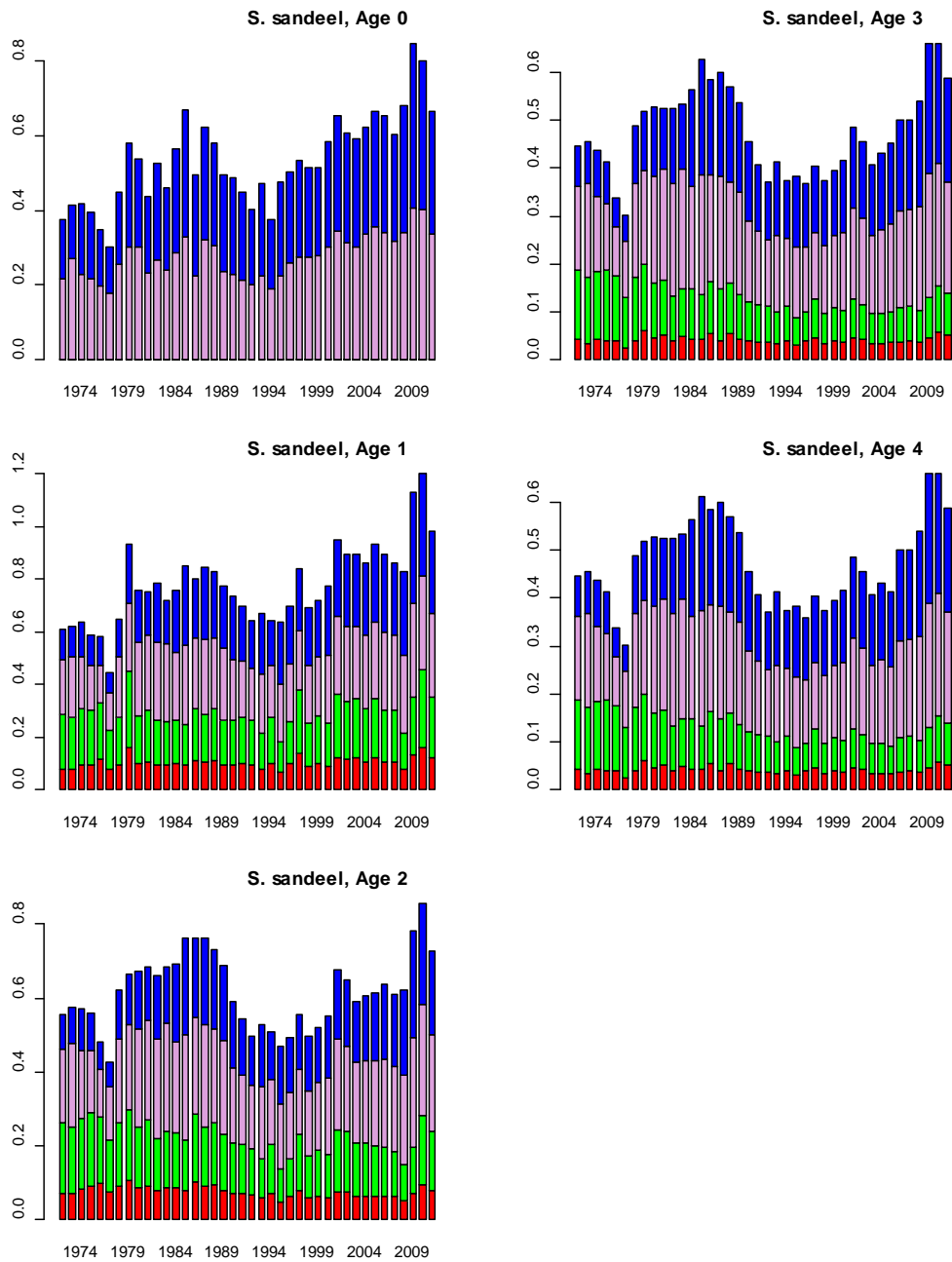
Sammenlignende beregninger af tidsmæssig udvikling i vækst, dødelighed, modenhed og rekruttering i relation til geografiske og miljømæssige parametre

En række working documents gennemgår data og metoder for alder og vækst, naturlig dødelighed for tobis i den nordlige og den sydlige del af Nordsøen estimeret med SMS modellen (figur 8 og 9), rekruttering i forskellige dele af Nordsøen.

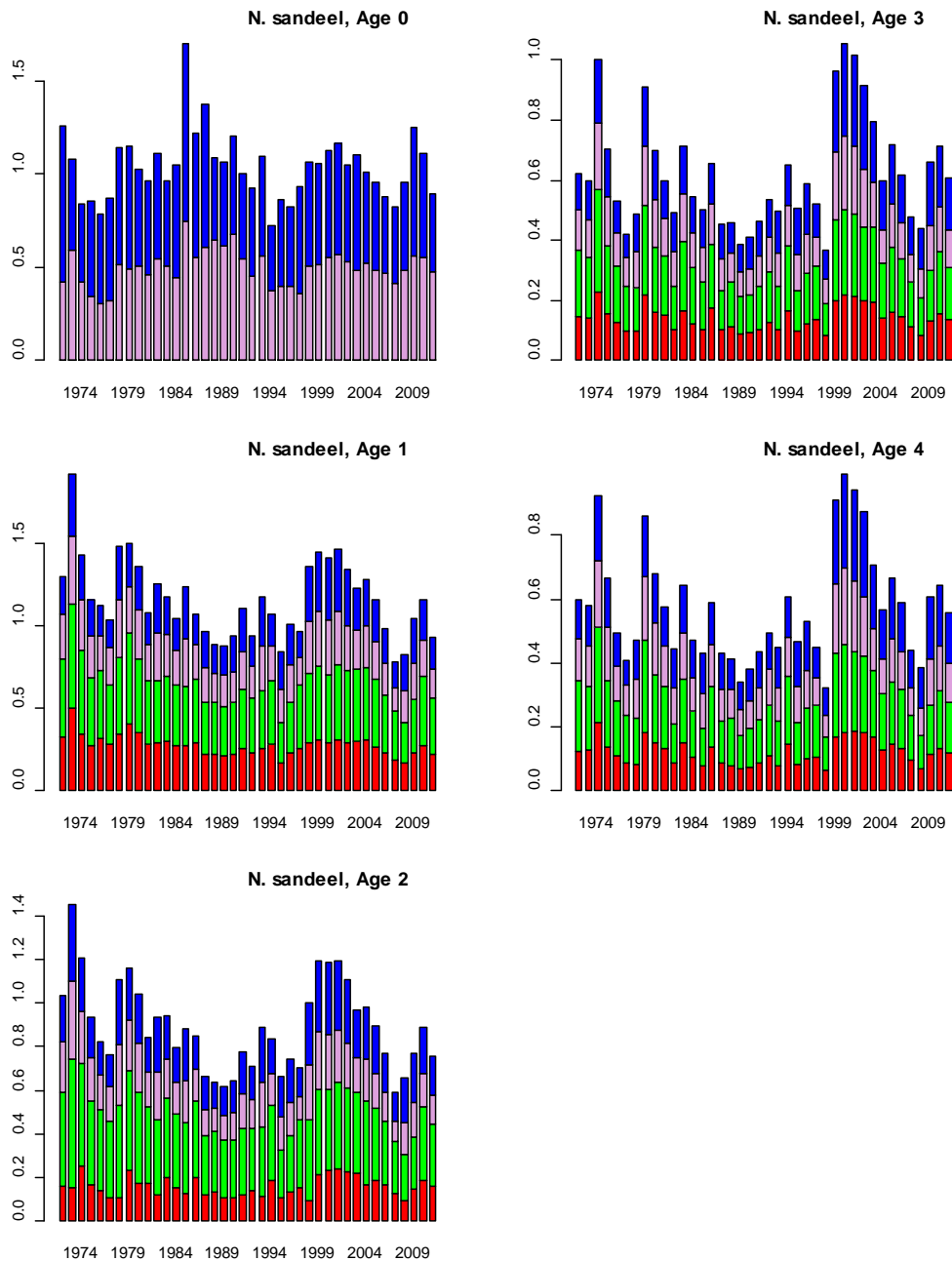
Der blev arrangeret en international kalibrering af alderslæsning af tobis øresten. Overordnet var der en høj overensstemmelse med lavt CV mellem de forskellige eksperter som leverer data til bestandsanalyserne. For område SA1 var overensstemmelsen 91.2%, CV 12.7% og gennemsnitlig % fejl (APE) 9.4%. Problemer som bør have et fremtidigt fokus var i) øresten som har en svag opak zone mellem det stærkt opake center og ørestenskanthen (venstre), ii) øresten med en svag transparent (hyalin) zone inde i det opake center (midt), iii) korrekt identifikation af kanttype (transparent eller opak, højre).



Figur 7. Tobisøresten på mørk baggrund i påfaldende lys.



Figur 8. Predationsdødelighed (M2) for sydlig tobis pr. kvartal (Q1=rød, Q2=grøn, Q3=violet og Q4=blå). Bemærk forskellig skala for de enkelte aldre.



Figur 9. Predationsdødelighed (M2) for nordlig tobis pr. kvartal (Q1=rød, Q2=grøn, Q3=violet og Q4=blå). Bemærk forskellig skala for de enkelte aldre.

2.1.6 National workshop om tobisforvaltning (M.1.6)

Koordinering og afholdelse af workshop

En startup workshop for projektet "Fremadrettet forvaltning af tobis i Nordsøen", blev planlagt og arrangeret af DPPO, DFPO og MID i samarbejde med DTU Aqua d. 7-8 januar 2016 på Skagen Skiperskole (se mere om indsatsen i afsnit 2.6.1).

2.1.7 Syntese præsenteret i Benchmark gruppen i ICES (M.1.7)

En syntese af tobisens biologi blev præsenteret ved benchmark for tobis, WKSAND 31. oktober – 4. november 2016 i Bergen, Norge. Præsentationen dækkede bl.a. adfærd i forbindelse med larvedrift, bundfældning, nedgravning, overvintring, gydning og eventuel migration, en publikation forventes.

Benchmarket for tobis blev gennemført med flere ændringer ønsket af erhvervet. De nye vurderinger fastholder områdeopdelingen med mindre ændringer men der vil fremover laves en samlet bestandsvurdering for område 2 og område 3 EU zone. I område 1 er der mulighed for real tidsmonitoring og i område 4 er der mulighed for en reel kvote frem for den nuværende monitoringskvote.

Fra d. 31/10 til 4/11 deltog DTU Aqua i tobis-benchmark mødet i Bergen. Der var 6 danske deltagere fra DTU Aqua samt 5 fra erhvervet (2 DFPO, 1 DPPO og 2 MID). Desuden deltog 4 norske forskere, 2 skotske forskere, 1 repræsentant fra DGMARE, 1 ICES sekretær, 2 norske erhvervsrepræsentanter, en ekstern formand, der er fugle ekspert, samt en ekstern reviewer med modelerfaring.

På mødets første dag argumenterede erhvervet for ophævelse af de nuværende tobisområder. Forskere fra alle lande viste undersøgelser af hvorvidt der var forskelle i tilgangen af ny fisk, larvedrift, migration, vækst, modenhed og dødelighed mellem områder. Formandens konklusion var at der ikke var belæg for at ophæve områderne da der var klare forskelle i alle parametre mellem områderne. Den følgende dag blev diskussionen genåbnet da erhvervet ønskede at flytte enkelte rektangler mellem områder. De rektangler, hvor der ikke eksisterer data eller viden der støtter den hidtidige opdeling, blev flyttet som foreslået. Det drejer sig primært om rektangler i den sydøstlige del af Nordsøen. Desuden blev det besluttet at opdele det hidtidige område 3 i to underområder der så vidt muligt følger EEZ. Forslagene til nye områder kan ses i figur 10.

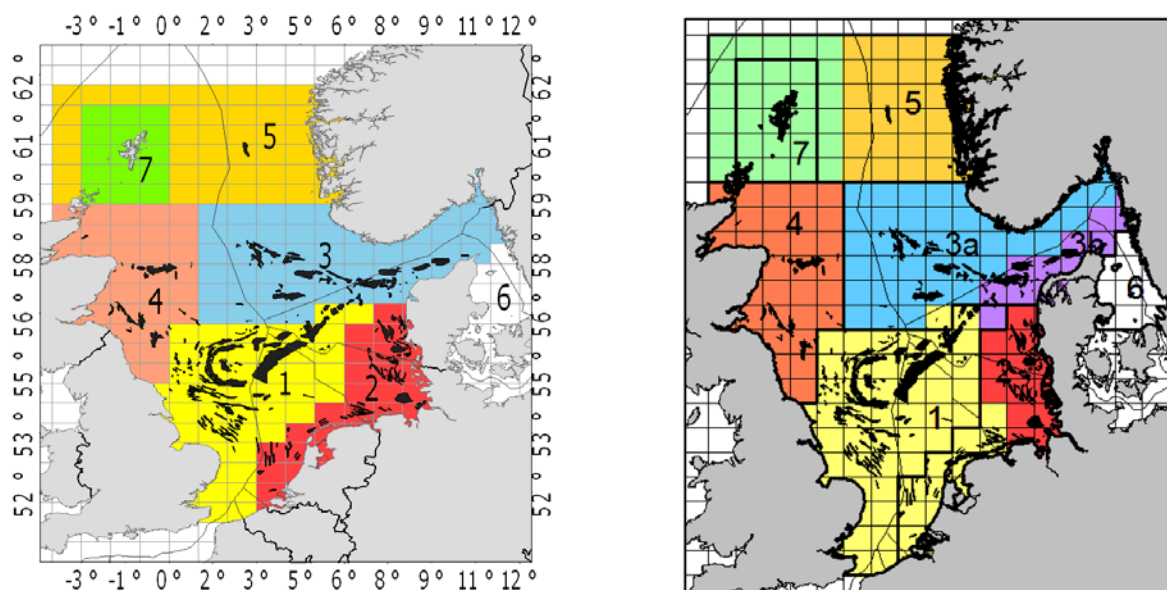
I den efterfølgende modellering af bestandene i de områder blev det klart at der ikke kan laves en pålidelig vurdering i område 2 og 3b hver for sig, og disse områder blev derfor lagt sammen til en enkelt bestand. Det lykkedes at lave et fuldt assessment for område 4, hvilket efterfølgende har givet mulighed for en rigtig kvote i stedet for den tidligere monitoringskvote i 2017. Dermed vil der i bestandsvurdering give fangstmuligheder for 5 områder: Område 1, 2+3b, 3a, 4 og 6. Alle områder undtagen Kattegat har et analytisk assessment. Kattegat forvaltes med TAC roll over.

Erhvervet havde desuden et ønske om at beholde muligheden for realtidsmonitoring i år med lave skrabeangster. Dette blev også imødekommet, men de eksterne eksperter vil opstille en række retningslinjer for brugen af RTM. Det blev f.eks. nævnt at RTM skulle anvendes både ved meget høj og meget lav forventet TAC. Størrelsen af en RTM kvote blev ikke diskuteret da eksperterne mente at dette bør være del af en samlet forvaltningsplan og dermed ikke er et emne for benchmark.

I område 1 blev der anvendt nye beregninger af skrabeindeks, faste modenheder ved alder, variabel naturlig dødelighed samt variabel fangbarhed i det kommercielle fiskeri. Disse ændringer har samlet sænket bestanden i slutningen af 00'erne, og dermed også det fastsatte referencepunkt. Det er uklart hvordan dette vil påvirke den fremtidige TAC, men et forsigtig gæt er at fangstmulighederne nu kan blive lidt større i området. Dette er også erhvervets fortolkning.

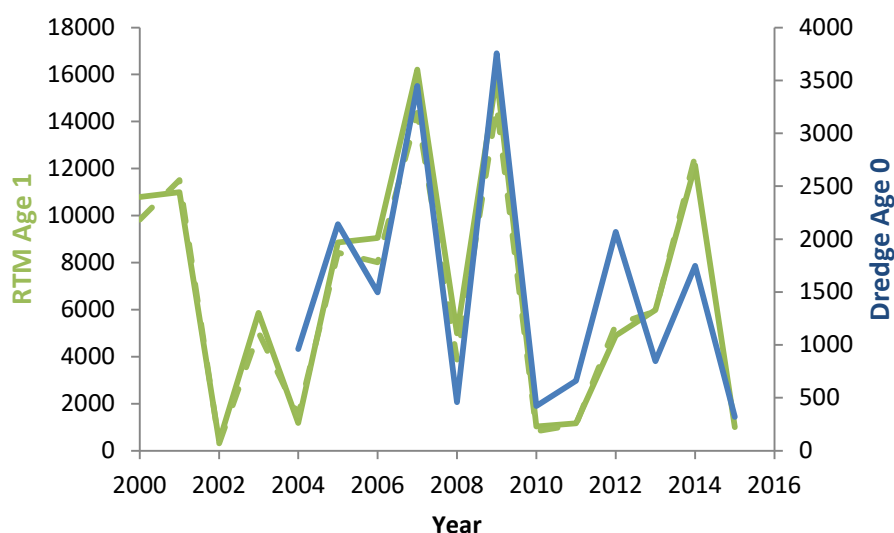
I område 2+3b er bestandsvurderingen mere usikker end i område 1, og det fastsatte referencepunkt er noget højere. Dette kan føre til lavere fangstmuligheder i området.

I område 4 er der fastsat et reference punkt der i ca. halvdelen af årene ville have muliggjort i hvert fald et mindre fiskeri. Der ser ikke ud til at have været skadelige effekter af den fastsatte monitoringskvote.



Figur 10. Venstre panel: gamle tobis forvaltningsområder. Højre panel: Forslag til nye tobis forvaltningsområder, hvor område 2 og 3b senere er slået sammen til område 2r.

I forhold til en RTM (realtidsmonitoring)-model lykkedes det, i projektet, at inkorporere dette direkte i bestandsmodellen for område 1. Hvilket muliggør realtidsmonitoring i et givent år (hvis dette besluttet politisk) uden at det påvirker selve bestandsvurderingens output (f.eks. tidsserien af gydebiomasse m.m.). Det er imidlertid vores klare og bestemte anbefaling at der nedfælles retningslinjer for hvornår man kan "kalde på" en realtidsvurdering. Hvis man f.eks. kun implementerer en realtidsmonitoring i år med en lille tobis-rekruttering til fiskeriet, så kan det resultere i et systematisk bias. For flere detaljer se WKSand2016 benchmarkrapporten: (<http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Forms/DispForm.aspx?ID=32781>).



Figur 11. Variation i skrabetogt-index for alder 0 (blå linje) og RTM CPUE for samme årgang som 1-årige; dels 15. april – 6. maj grøn heltrukken linje og 1. maj – 6. maj stiptet grøn linje. Data inden år 2000 havde for mangelfuld biologisk sampledækning til at kunne bruges.

2.2 Biologiske data på tobis i relation til bestandsstrukturen i Nordsøen (AP2)

Formålet med arbejds pakken er at belyse tobisens bestandsstruktur i Nordsøen i relation til de nuværende forvaltnings-områder. Arbejds pakken omfatter genetiske analyser på havtobis fra Nordsøen og tilstødende områder for at bestemme, om der er tegn på genetisk opdeltede bestande inden for området. Analyserne vil inkludere nyudvikling af genetiske markører specifikt for havtobis fra Nordsøen. Analyserne foretages på væv fra allerede indsamlede fisk, samt eventuelt i enkelte tilfælde fra nye prøver indsamlet i projektet. De genetiske analyser suppleres med analyser af område-specifik vækst for tobiser fra forskellige områder i Nordsøen. Analyser af de indre strukturer i øresten fra tobis forventes at give informationer om vækstmønstre på individniveau fra klækning til fangst. Hvis vækstmønstreet i de allerede dannede dele af ørestenen med tiden ændres i en lokal bestand er det indikation for indvandring af tobiser fra andre lokaliteter med afvigende vækstmønstre. Gennem kortlægning af udviklingen af ørestensvækstmønstre kan man identificere eller afkræfte mulige vandringmønstre.

Resultaterne fra AP2 danner grundlag for diskussioner om forvaltningsstrategier i AP6.

2.2.1 Udvalgelse af evt. supplerende genetiske analyser med følgegruppe (M.2.1)

Diskussion af udvælgelse af prøver for analyser af hhv. genetik og vækst i samråd med følgegruppen, for at sikre at analyserne er repræsentative for fiskeriet

Indsats

I samarbejde med følgegruppen blev 11 områder udpeget som repræsentative for havtobisens gydebanks i Nordsøen. Fra tre af disse områder fandtes allerede vævs-materiale, indsamlet under skrabetogt i 2015, og fra en bank (Horns Rev) fandtes en prøve indsamlet i 2014. For at sikre god geografisk dækning af Nordsøens banker blev yderligere indsamlinger under det danske og det skotske skrabetogt 2016 planlagt. Indsamlinger blev også gentaget for to områder allerede prøvetaget i 2015 for at kunne etablere en vurdering af de tidsmæssige mønstre ("er gydefiskenes genetiske profiler på et bestemt område ens mellem to år?"). Dertil inkluderedes en prøve fra Norskehavet (nord for Nordsøens område SA5), som blev medtaget for at kunne sammenligne graden af genetiske forskelle indenfor Nordsøen med forskelle på større geografisk skala. Det planlagte prøvedesign inkluderede 2-3 prøver fra hvert af underområderne SA 1-4 (Se Tabel 2).

Tabel 2. Oversigt over prøver af havtobis *Ammodytes marinus* i genetiske analyser.

Område (forvaltningsområde)	Lokalitet	Dato indsamlet	Antal fisk indsamlet	Antal fisk anvendt til genetiske analyser	Latitude (decimal)	Longitudo (decimal)
Nordsø (SA1)	Dogger Vest (Rough)	28.11.2015	50	44	54.59151 N	001.57029 Ø
		27.11.2016	96	44	54.51150 N	001.26007 Ø
	Dogger Syd (Well Bank)	24.11.2015	50	44	54.08785 N	002.03437 Ø
	Dogger Syd (Fallitten)	25.11.2016	117	44	54.11541 N	001.34472 Ø
	Dogger Øst (Elbov Spit)	23.11.2016	61	44	55.24983N	004.19302Ø
Nordsø (SA2)	Vestbanke	04.12.2016	115	44	57.02510N	006.00514Ø
	Det Jævne	06.12.2016	69	44	57.24511N	008.38348Ø
	Horns Rev	30.07.2013	14	14	55.54527 N	008.009182 Ø
Nordsø (SA3)	Outer Shoal	03.12.2015	50	42	57.16595 N	005.06129 Ø
		29.11.2016	50	42	57.44876N	003.40215Ø
Nordsø (SA4)	Turbot Bank	16.12.2016	70	44	57.42726 N	001.11908 V
		12.12.2016	70	44	56.22783N	002.06100 V
Norskehavet	Runde	01.07.2016	100	40	62.74100 N	005.62100 Ø

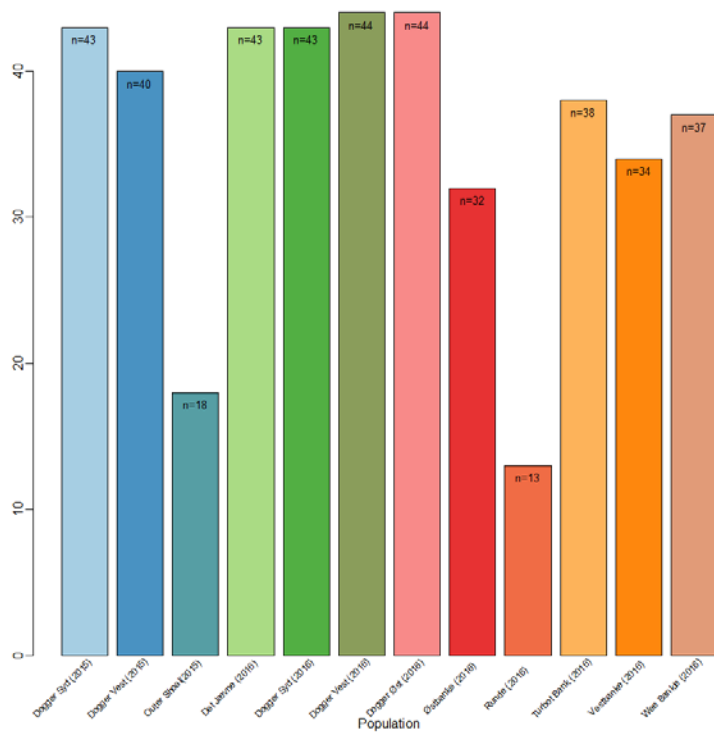
2.2.2 Genetiske analyser på eksisterende materiale (M.2.2)

Analyse af genetiske forskelle på eksisterende vævsprøver

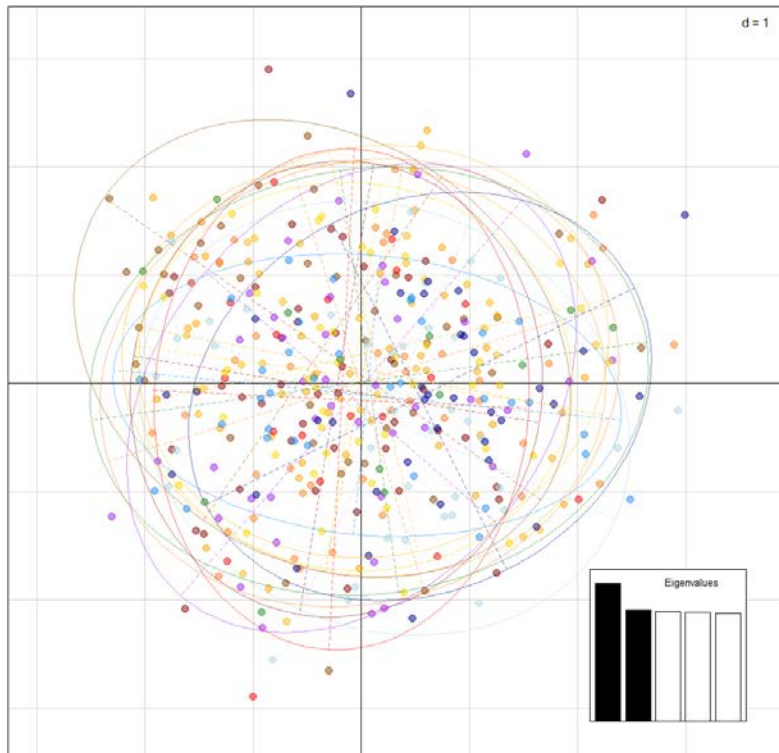
Indsats

De indsamlede vævsprøver blev undersøgt for brugbarhed til genetiske analyser. Indsamlinger, der blev vurderet at have en DNA-kvalitet der gjorde dem anvendelige til videre analyser, og herunder udvikling af nye genetiske markører, er angivet i Tabel 2. Til nyudvikling af genetiske markører af havtobis anvendtes en metode kaldet ddRAD sekventering (se teknisk beskrivelse af metoden i Peterson *et al.* 2012). Denne metode inkluderer, kort fortalt, en ekstraktion og enzymatisk skæring af DNA efterfulgt af konstruktion af såkaldte DNA-biblioteker indeholdende DNA fra alle de individer, der analyseres. Herefter sekventeres DNA-bibliotekerne og ved hjælp af bioinformatiske beregninger for disse sekvensdata findes et antal steder ('loci') i genomet, der udviser enkelt-base genetiske forskelle (Single Nucleotide Polymorphisms, SNP) mellem individerne. På grundlag af statistiske beregninger på disse data vurderes grader af genetiske forskelle indenfor og mellem de 13 analyserede prøver.

Der blev genereret DNA-sekvensdata for samlet 534 fisk fordelt på 14-44 individer per prøve (Tabel 2). På grundlag af et omfattende bioinformatisk analysearbejde specifikt udviklet i forbindelse med dette projekt blev de 534 fisk analyseret for 2635 SNP loci. Horns Rev prøven udviste meget lav sekventerings-succes per individ og blev ekskluderet fra analysen. To andre prøver udviste relativt lav succes (Figur 12) men blev medtaget i analyserne. Overordnet udviste alle de analyserede prøver svage genetiske forskelle både over tid og områder. Dette ses af Figur 13, som illustrerer genetiske afstande mellem individerne. Her ses det, at alle punkter (hvert punkt er et udtryk for en individuel fisks genetiske profil) falder i stort set samme område uden tydelige forskelle mellem fisk fra de forskellige prøver (hver prøve er angivet ved en farve). Dette gælder også for prøven fra Norskehavet, der altså ikke udviser tydelige genetiske forskelle i forhold til Nordsøen. En typisk anvendt estimator af graden af genetisk differentiering, F_{st} , indikerede ligeledes lav differentiering (overordnet $F_{st} = 0.001$; statistisk ikke signifikant forskellig fra nul). Dette tyder altså umiddelbart på, at der er lav genetisk struktur og dermed forholdsvis høj udveksling mellem de undersøgte områder i Nordsøen og ind i (sydlige dele af) Norskehavet.

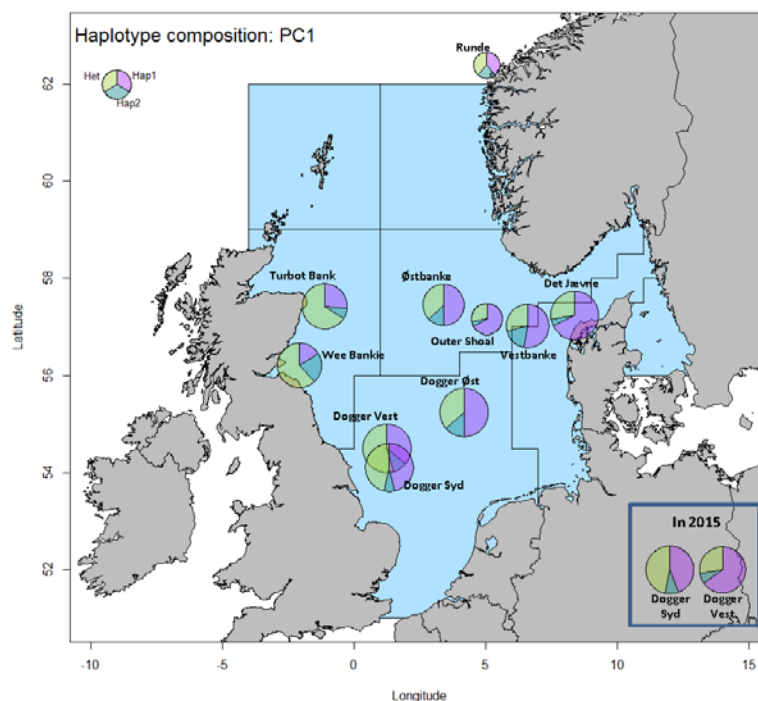


Figur 12. Antal fisk med sekvens data per prøve i analysen.

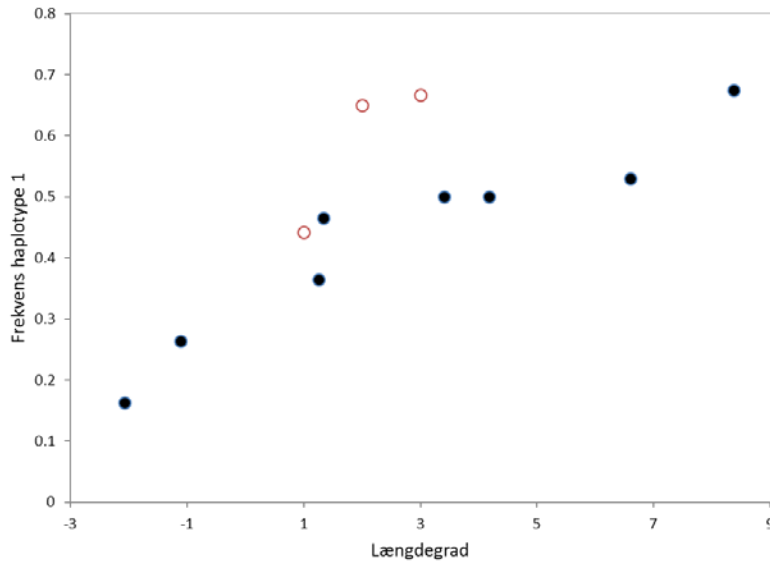


Figur 13. Principle Component Analysis for 2635 SNP loci i 12 prøver af havtobis. Hvert punkt indikerer en individuel genetisk profil og de enkelte farver indikerer prøve 1-12. Akse 1 og 2 viser de to første PC. Den indsatte figur viser eigenværdierne for de fem første PC i analysen.

I en analyse af de specifikke mønstre for 7 SNP-markører, der udviser korrelerede signaler sås imidlertid et mønster, der kunne tyde på genetisk struktur i materialet. Dette er illustreret i Figur 14. Her ses kombinerede frekvenser for varianter af de 7 SNP-markører (her defineret som 'haplotype 1', 'haplotype 2' og 'heterozygot haplotype'), der udviser relativt store forskelle mellem de enkelte prøver. For disse markører estimeredes F_{st} således til 0.03; dvs. mindst en faktor 10 højere end for alle markører samlet. Figuren viser, at for prøver fra SA4 (skotske Wee Bankie og Turbot Bank) forekommer andelen af den 'heterozygote haplotype' (i grønt) at være forskellig fra andelen i de andre prøver. Analysen tyder også på tidlig variation for prøver indsamlet på Dogger Vest i 2015 og 2016. Samlet tyder disse under-analyser således på en vis sammenhæng mellem genetisk struktur og geografi for disse specifikke genetiske markører, som vist i Figur 15. Resultaterne fra disse gen-regioner kunne således antyde, at der forekommer svage genetiske forskelle på rumlig og muligvis tidlig skala, som ikke detekteres når alle markører analyseres på én gang. Fremtidige undersøgelser fokuseret på anvendelsen af mere fintfølede genetiske analyser, kunne belyse struktur på fin geografisk og genomisk skala.



Figur 14. Kort med haplotype-frekvenser for 7 SNP loci i de 12 prøver af havtobis. Lagkagediagrammer viser fordelingen af de specifikke haplotype-frekvenser i de enkelte prøver. For Dogger S og Dogger V vises lagkagediagrammer for indsamlinger fra 2016 på kortet og for indsamlinger fra 2015 som indsat boks.



Figur 15. Frekvenser for haplotype 1 i relation til geografisk vest-øst position for Nordsø-prøver (decimal længdegrad øst). Prøver fra 2015 og 2016 er vist ved hhv. åbne og udfyldte cirkler.

Generelt for populationsgenetiske analyser vurderes prøver der udviser statistisk signifikante forskelle i frekvenser af de enkelte baser på tværs af loci derhen at udvise populationsforskelle og demografisk uafhængighed på en evolutionær skala. Prøver der ikke udviser forskellige frekvenser er muligvis demografisk fuldt koblet på en 10-1000 års skala eller længere. Dette betyder at man forventer, at migration mellem områder vil være så betydelig, at lokale processer ikke vil være en risiko for produktivitet på den enkelte bank over en kortere (~10 år) tidsskala. Selvom man i visse tilfælde ikke kan påvise frekvensforskelle i materialet, er det dog muligt at funktionelle forskelle er faktisk forekommende, men at de genetiske analyser ikke er fintfølede nok til at kunne identificere dem tydeligt. Et eksempel på dette ses f.eks. hos Atlantisk sild, hvor genetisk identifikation af bestandsforskelle krævede analyser af specifikke, funktionelle gen-varianter for at identificere variation der ikke var tydelig i analyser med et mindre antal markører (e.g. Barrio et al. 2016; Bekkevold et al. 2016). Sådanne, potentielt små, men biologisk betydelige genetiske forskelle, kan give ophav til signifikante forskelle i områdespecifikke rekrutteringsmønstre, som det vil kræve mere detaljerede analyser at karakterisere genetisk. Resultaterne for de korrelerede gen-regioner fundet i dette studie kunne indikere, at lignende dynamikker forekommer for tobis i Nordsøen.

Simuleringer viser, at de anvendte prøvestørrelser og antal genetiske markører har statistisk styrke til at identificere signifikante genetiske forskelle inden for Nordsøen. Hvorvidt Nordsøbestandene reelt udviser arvelige funktionelle forskelle mellem delområder eller årsklasser vil dog ultimativt kræve genetiske studier med højere opløsning i forhold til dækning af genomet.

Et separat genetisk studie af to andre tobisarter (*A. tobianus* og *Hyperoplus lanceolatus*), der anvendte et lignende antal SNP-markører, fandt ingen overordnet bestandsstruktur for prøver indsamlet fra Nordsøen (Fietz et al. 2018). For begge arter fandtes dog tydelige genetiske forskelle mellem prøver fra Nordsøen og fra Kattegat og/eller Østersøen. Disse bestandsforskelle var for flere genetiske markører associeret med saltholdigheden på gydestedet. Dette antyder at demografien hos tobis kan være relateret til genetiske tilpasninger til ekstreme miljøforhold, som indikeret hos en lang række andre marine arter i samme område (Johannessen & Andre 2006).

En videnskabelig artikel, der dokumenterer de genetiske analyser er under forberedelse (Jimenez-Mena B, Le Moan A, Hemmer-Hansen J, Bekkevold D (.)) Low genetic structure despite strong genomic signal; consequences of genomic rearrangements in North Sea sandeel, manuscript under udarbejdelse, forventet submission til *Evolutionary Applications* ultimo 2018.

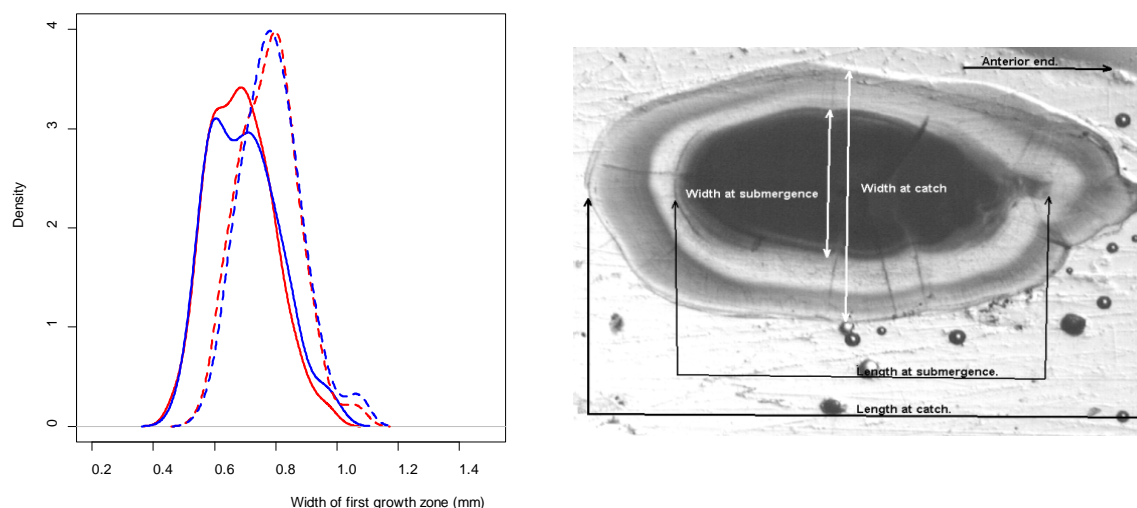
Resultaterne blev kommunikeret som poster ved European Society for Evolutionary Biology's konference i Montpellier august 2018. "Second Joint Congress on Evolutionary Biology 2018, Montpellier (France) August 19-22 2018; poster name "Using genomic data to advice fisheries: understanding the genetics of the sandeel in the North Sea"

Resultaterne blev kommunikeret til VIND workshop Thyborøn 2018.

2.2.3 Vækst analyser på eksisterende materiale (M.2.3)

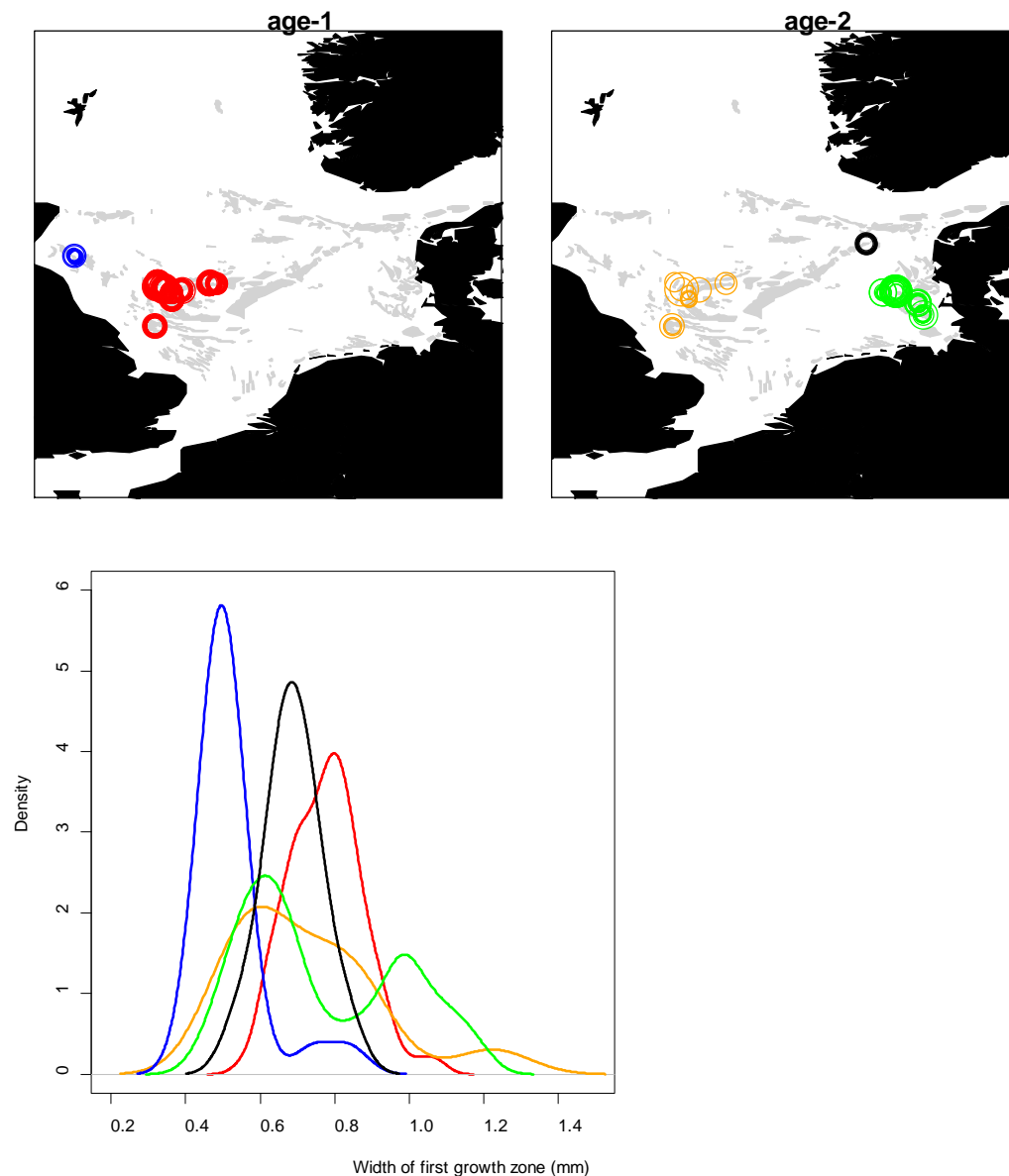
Analyse af ørestens mikrostruktur for vækstmønstre i larvefase, efter første nedgravning og efterfølgende hver sommerperiode

I projektet gennemførte vi en række analyser af tobis-øresten. Analyserne baserede sig på øresten fra skrabe-togtet og fra fisk fanget af tobisfiskere som deltager i GUDP-VIND projektet. Analysen havde fokus på at sammenligne dimensionerne af den del af de største øresten (sagittae otolitterne), som dannes i løbet af tobisens første vækstsæson. Denne del af otolitten kan identificeres både i fisk fra december (skrabetogtet), hvor en transparent vinterzone er begyndt at danne sig uden på, og fra tobis-sæsonen (april-juni), hvor en ny vækstzone er begyndt at danne sig uden på den transparente vinterzone. Dimensionerne af den første vækstsæson giver således et mål for fiskens vækst i løbet af den første vækstsæson, som kan sammenlignes mellem individer fra forskellige lokaliteter og forskellige tidspunkter. I alt 800 otolitter blev analyseret. Analysen viste at skrabe-togtet fangede både fisk, som havde oplevet en god vækst og fisk som havde oplevet dårlig vækst, mens fiskene fra fiskeriet efter vinteren kun omfattede fisk som havde oplevet en relativ god vækst som små. Dette indikerer at små fisk (som har oplevet dårlig vækst) udsættes for en relativt højere overvintrings-dødelighed end større hurtigt voksende fisk (kun fisk fra Dogger banke indgik i analysen).



Figur 16. Bredden af den første vækstzone (i figur til højre inderste lodrette dobbelpil, "width at submergence"). Stiplet blå (ICES stat-rect. 39F1 GUDP- indsamlet alder 1); Stiplet rød (Generelt fra Dogger GUDP- indsamlet alder 1); hel blå (39F1 skrabetogt alder 0); hel rød (overall SA 1 skrabetogt alder 0).

Derudover kunne analysen påvise markante geografiske forskelle i fiskenes vækstforhold under den første vækstsæson (Figur 17), hvilket indikerer at bestands-mixing efter endt larvefase er yderst begrænset på Nordsø-niveau. Det er imidlertid nødvendigt med flere års data for at kunne etablere solide konklusioner.



Figur 17. Øverste panel viser indsamlingsområder i Nordsøen samt nederste panel, med tilsvarende farver, størrelsesfordelinger på 1. vækstzone i otolitter fra pågældende indsamlinger.

2.2.4 Syntese af potentielle genetiske forskelle på tobis i Nordsøen (M.2.4)

Syntese af genetiske resultater der forventes at være en af følgende 3: (1) ingen tegn på genetiske forskelle, (2) klare genetiske forskelle, eller (3) små, men muligvis biologisk signifikante forskelle. Hvis udfaldet er (3) vil resultatet kunne belyses ved analyser af et yderligere antal fisk/prøver fordelt i tid og rum for således at vurdere den biologiske signifikans

Resultater fra driftsmodellerne indikerer at gennemsnitsdriften af en larve er forholdsvis lav, men at larvedrift mellem alle dele af Nordsøen kan forekomme (men sjældent over 200 km). Dette harmonerer med de genetiske resultater, der indikerer generel høj genetisk effektiv udveksling (og dermed

sammenhæng) mellem banker inden for Nordsøen. Sammenligning af genetiske profiler over forskellige kohorter inden for en bank udviser mulige tendenser til genetiske forskelle mellem år, der kan afspejle forskelle i rekruttering mellem lokale komponenter ('sweepstakes' dynamik), men dette bør undersøges nærmere. De genetiske indikationer om at SA4 (Firth of Forth) udviser divergens fra andre analyserede områder korresponderer med upublicerede data fra Wright et al. Figur 15 indikerer meget tydelig geografisk mønster (vest til øst) for et mindre antal markører; dette bør undersøges nærmere og bør pt. kun fortolkes tentativt. Pointen er dog, at vi i hvert fald ikke kan afvise, at der er populationsstruktur inden for Nordsøen. Altså hvis vi ser på start-hypoteserne (1), (2), (3), tyder de genetiske resultater på (3), men vi kan ikke uden mere detaljerede undersøgelser vurdere den biologiske signifikans yderligere. Det er derfor ikke muligt at rådgive om forvaltningsområder alene på baggrund af de genetiske data. Vi noterer os dog, at de genetiske data og de modelbaserede data støtter hinanden. En nærmere undersøgelse af tidlige variationer i gen-profiler inden for bestemte banker (f.eks. ved gentagne analyser af skrabetogprøver over år) vil være relevante for at belyse lokale bankedynamikker mht. rekruttering.

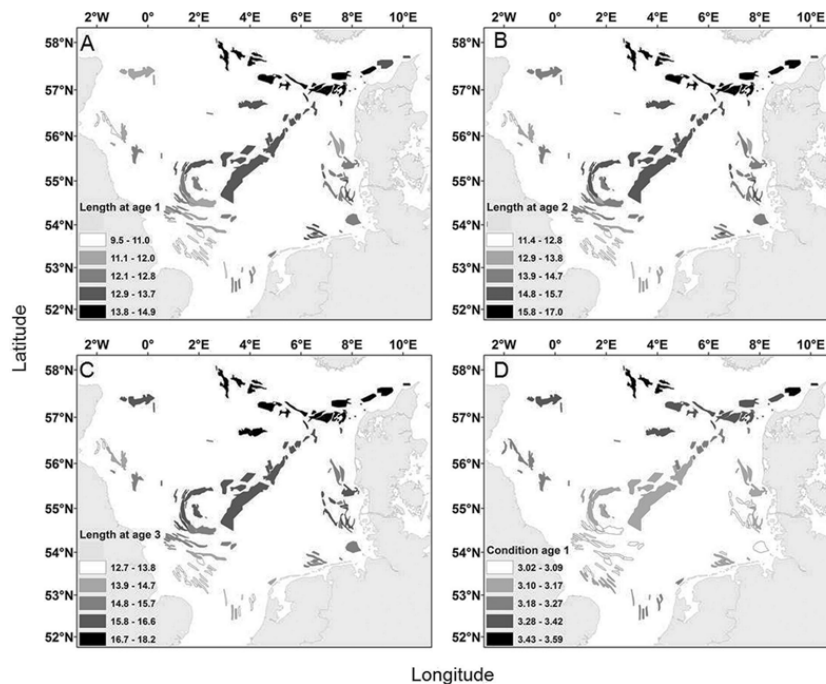
2.2.5 Syntese af potentielle område-specifikke vækstmønstre for tobis i Nordsøen (M.2.5)

Syntese af vækstmønsteranalyser der forventes at være en af følgende 3: (1) ingen ændring i område-specifik vækstmønster = ingen migration, (2) tydelig ændring i område-specifik vækstmønster = migration mellem områder, eller (3) svage men muligvis biologisk signifikante ændringer i vækstmønster i nogle områder. Hvis udfaldet er (3) vil resultatet kunne belyses ved analyser af et yderligere antal fisk/prøver fordelt i tid og rum for således at vurdere den biologiske signifikans.

Væksten og rekrutterings-potentialet (som et mål for den biologiske produktion) blev analyseret for tobis i den sydlige (bl.a. Dogger Banke) og nordøstlige Nordsø; og sammenholdt med en række andre arter. Både vækst og rekrutterings-potentialet har været for nedadgående siden midt-halvfemserne, et mønster vi også genkender hos andre arter såsom sperling og sild. Dog er den samlede tilbagegang i produktionen hos tobis større end for andre arter. Supplerende beregninger indikerer at nedgangen i den biologiske produktion har betydet en halvering i det bæredygtige fiskeritryk. Resultaterne er publiceret i Journal of Applied Ecology (Clausen et al. 2018), hvor projektet er krediteret i acknowledgment-afsnittet.

Rumlige mønstre af størrelse og kondition hos tobis

Længde og vægt hos tobis varierer meget geografisk ligesom fødeforholdene i form af størrelse og tætheder af dyreplankton varierer i Nordsøen. Tobis i de nord-vestlige og sydlige områder er således mindre end andre steder og tobis i den sydlige Nordsø har desuden lavere kondition end i den øvrige Nordsø (Figur 18). Dette giver udslag i en 4-fold forskel i størrelse af 2-årig tobis i forskellige områder af Nordsøen hvor vægten varierer mellem 4.6 og 19 g i uge 21.



Figur 18. Kort med prædikteret tobis længde på individuelle banker i uge 21 for aldre 1 (A) 2 (B) og 3 (C), (D) er konditionen af alder 1 tobis i uge 21. Gråtonen indikerer fra lave lyse værdier til høje mørke værdier (Rindorf et al. 2016).

2.3 Fiskeriafhængige og fiskeriafhængige input data (AP3)

Denne arbejdsmappe dækker analyser af a) fiskeriafhængige data (fangst og indsats = standardiserede havdage) og b) fiskeriafhængige data (survey indices og bio-fysiske parametre). For de fiskeriafhængige data gælder det at der i bestandsvurderingen tages hensyn til forvaltningstiltag som område-TAC og fiskeriperioder samt udvikling i redskab, fiskerimønster, fartøjssammensætning og antal fartøjer. Analyserne under a) vil afklare hvilke modeller for størrelse/aldersbaseret selektion i fiskeriet, der bedst beskriver data samt inkluderingen af denne i en bestandsvurdering der specifikt tager hensyn til sammenhængen mellem tilgængeligheden af tobiser henover en fiskerisæson og fiskeridødelighed. Derudover giver resultaterne information om fiskeriets fangst pr. fisketime (CPUE) i relation til lokale bestandsstørrelser og tobis alder/størrelse. Resultaterne vil blive udnyttet i AP 4 (Bestandsvurderinger) samt som input til AP6 (Forvaltningsstrategier). Under b) indeholder arbejdsmappen statistisk evaluering af eksisterende og hidtil uudnyttede survey data og indekser, herunder larvedriftmodeller i kombination med det eksisterende skrabetogt samt data for tobis larver og vandloppe-forekomster som indikatorer for tobisrekuttering/årgangsstyrke (baseret på CPR-indices og resultater fra EFF projektet 'Korttidsprognoser'). Resultaterne fra b) er direkte anvendelige i AP4.

2.3.1 Resultater på nedgravningsadfærd til diskussion med følgegruppen (M.3.1)

Beskrivelse af nedgravningsadfærden henover tobissæsonen baseret på analyser af tobisstørrelser og mikrostruktur i øresten fra individer taget i fiskeriet (eksisterende prøver). Definition af den relative fangbarhed af aldersklasser henover sæsonen baseret på resultater fra disse resultater

Et stort antal øresten fra skrabetogt og fiskeriprøver er blevet fotograferede og digitaliserede. Metoden til analyse af ørestenes mikrostruktur viste sig dog mere kompliceret end først antaget og analyserne af nedgravningsadfærd bygger derfor på fangstmængder, fangstmønstre og fiskeriindsats på de enkelte banker hen gennem sæsonen og på forskellige år. Der arbejdes videre med det indsamlede otolithmateriale for at få en metode til studier af tobisens nedgravningsadfærd på de individuelle banker.

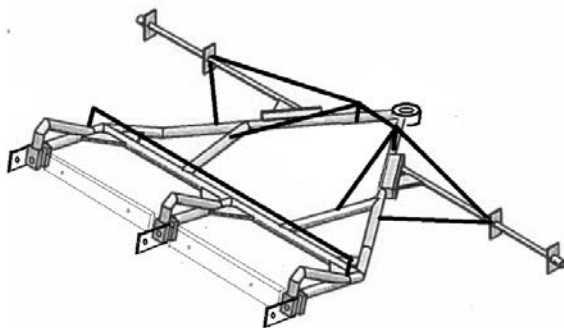
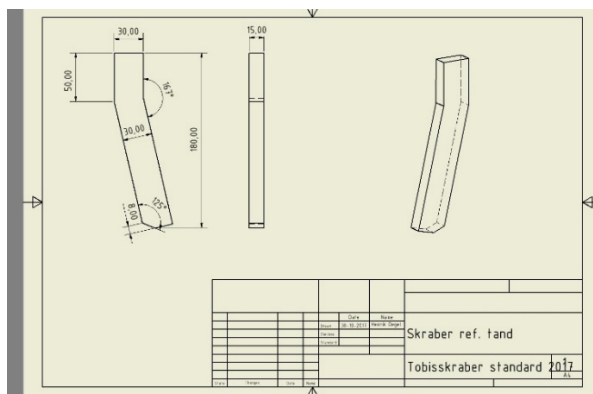
2.3.2 Diskussion af et optimeret skrabetogt i følgegruppe (M.3.2)

Gennemgang af historiske tidsserier fra andre skraberedskaber og integration med den eksisterende tidsserie. Statistisk analyse af skraberedskabets selektion i relation til tobisstørrelser, tidspunkt på dagen/året, vejrforhold

Der har gennem årene været en stor indsats for at finde fiskeriafhængig information om tobisbestanden, specielt indices for den forventede rekruttering da fiskeriet i høj udstrækning retter indsatsen mod den nye rekrutterende årsklasse af tobiser. Det har længe stået klart at tobisen i sin overvintrende fase havde højt monitoringspotentiale idet samme fisk ikke ville dækkes flere gange som det undertiden er tilfældet med vandrende fisk, og samme monitoringslokaliteter hvert år ville give et stabilt relativt indeks hvor en række miljøparametre kunne holdes konstante.

Det redskab som bruges til at monitere tobis som er nedgravet i sedimentet om vinteren blev som udgangspunkt udviklet som en modifikation af en mindre muslingskraber.

Erhvervet har gennemgået protokollen for forberedelse og gennemførelse af skrabetogtet og følgende forbedringer er indført. Tobisskraberen konstrueres for eftertiden i rustfrit stål, da opbevaringstiden mellem togterne er for hårde ved alm. Jern. Skraberens skal veje mellem 180 og 185 kilo ved togkets begyndelse og tænderne laves i ekstra hårdt stål og skal have en profil med en skrå afskåren forkant og resten af spidsen skåret lige ifølge udarbejdet tegning. Netpose samt brynje skal altid gennemgås inden togt start.



Figur 19. Konstruktionstegninger til rammen for tobis-skraber-redskabet.

Effekten af tidspunkt på dagen og året for skrab blev testet i den nye survey-indeks-model (se punkt 2.3.5)

2.3.3 Definition af den relative fangbarhed af aldersklasser henover sæsonen (M.3.3)

Kohorteanalyser af data fra skrabetogt-tidsserien samt det kommercielle fiskeri for at analysere om og hvornår tobiser i et område søger mod eller fra lokale banker og dermed gør bankerne til attraktive fiskepladser eller det modsatte; resultaterne har betydning for modelopsætningen i AP4

Efter at have diskuteret hvordan man bedst kan belyse den relative fangbar henover sæsonen blev det besluttet at sætte en uge-opdelt bestandsmodel for Dogger Banke op i SESAM (en sæson-opløst version af SAM-modellen, som blev udviklet i 'Korttidsprognoser'. Resultatet af denne øvelse blev en tydeliggørelse af en fangbarhed, som er stigende hen imod midten af maj og derefter aftagende. Resultatet indikerer derfor at aftagende fangstrater (eller fangst per indsats) efter maj ikke skyldes nedfiskning men nedgravningsadfærden hos tobisen, som påvirker deres fangbarhed. Resultatet kommer imidlertid med det forbehold at modellen havde vanskeligheder med at håndtere ugeopløst data og der måtte indføres såkaldte "constraints".

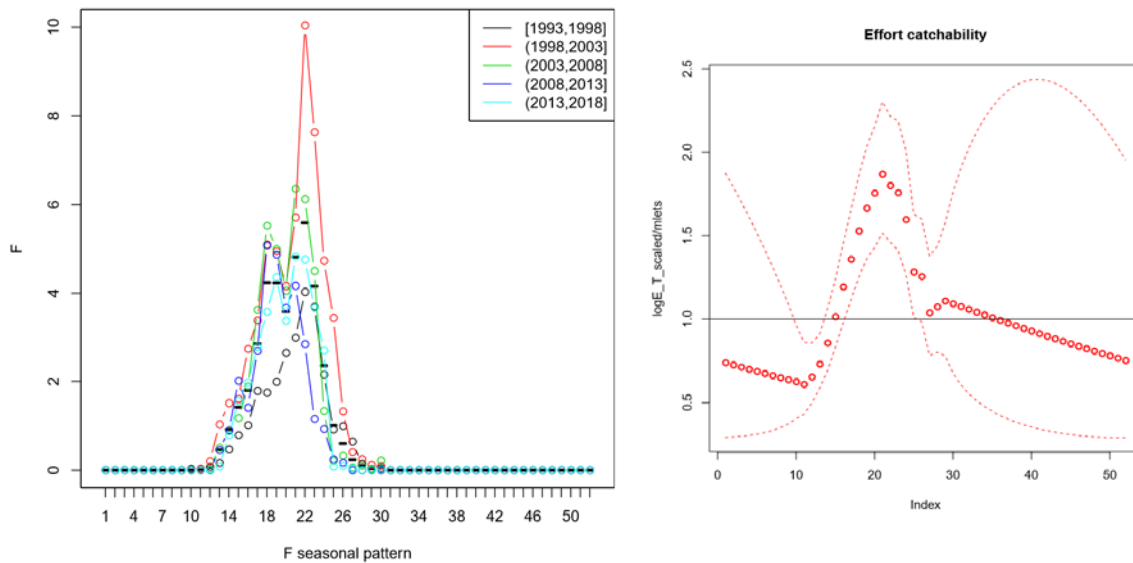
2.3.4 Præsentation til følgegruppen: CPUE henover sæson for udvalgte banker i relation til bestandsstørrelse/sammensætning (M.3.4)

Analyser af CPUE målt pr. uge henover sæsonen på udvalgte fiskebanker (i samarbejde med følgegruppen) i relation til lokale bestandsstørrelser.

Den uge-opløste SESAM-model blev kørt for at undersøge om de faldende fangstrater i slutningen af fangstperioden for specifikke banke-områder skyldes lokal nedfiskning eller tobisens nedgravningsadfærd.

SESAM-modellen blev, efter visse modifikationer til modelligningerne, anvendt på fangst- og indsatsdata fra Dogger Banke for at bestemme tobisens fangbarhed henover sæsonen. Resultaterne viste at fangbarheden er stigende henover fiskerisæsonen indtil uge 21, hvor den er størst, for herefter at aftage. I slutningen af sæsonen er fangbarheden omtrent halveret i forhold uge 21. Resultaterne indikerer at de skiftende fangstrater gennem sæsonen skyldes tobisens nedgravningsadfærd snarere end nedfiskning af bestanden. Resultaterne af analysen bør dog tages med forbehold, idet den bygger på antagelser om at den naturlige dødelighed er kendt på ugentlig basis, kendt sammenhæng mellem fiskeriindsats og fiskeridødelighed, samt en antagelse om at der ikke er stærke sæsonbestemte migrationer ind og ud af området. Desuden viste det sig vanskeligt at finde stærke kohorte-signaler i data hvilket er en indikation af uoverensstemmelser mellem modelantagelserne og data.

Resultaterne blev præsenteret til følgegruppen på mødet d. 25/6-2018 (se AP6).



Figur 20. Venstre: den ugentlige fiskeridødelighed, F , udregnet af SESAM-modellen for forskellige perioder af tidsserien, viser tilsyneladende det samme mønster. Højre: dette mønster kan under en række antagelser kan omregnes til en model for ugentlig fangbarhed som er initialt stigende (fra uge 11) og derefter faldende (fra uge 21).

2.3.5 Skrabetogt-revision og efterfølgende datahåndtering (M.3.5)

Tobis livscyklus model (SPAM): Statistisk analyse af revideret skrabeindeks og modelleret gydebio-masse-larvedrift til en geografisk fordelt 0-gruppe rekruttering

Revideret skrabetogtsanalyse

En ny metode til at beregne bestandsstørrelsen per alder fra skrabetogtet er blevet udviklet. Metoden blev præsenteret og accepteret på benchmark mødet i Bergen 2016 og erstatter dermed den hidtil benyttede metode. I modsætning til den tidligere metode, som byggede på det man kalder "stratified and aggregated averages", så bygger den nye metode på en rumlig eksplicit statistisk model, som bl.a. vægter det indekset med fiskeplads-arealerne, gør det muligt at estimere usikkerheder, reducere bias forårsaget af ekstreme værdier, og gør det muligt at håndtere ubalanceret data. Sidstnævnte handler f.eks. om at man øge og reducere antallet af prøvetagnings-positioner over tid som f.eks. manglende prøvetagning på visse tobisbanker i visse år (en reduktion af antallet af prøvetagningspositioner vil selvfølgelig øge usikkerheden, men det er muligt). Ændringen i usikkerheden på estimerne som funktion af sådanne ubalancer kan desuden kvantificeres bedre ved brug af den nye model. Den nye model udnytter geografisk information om tobisbankernes størrelse til at give en mere præcis opskalering til populationsniveau. Endelig er det muligt at estimere effekten af eksterne faktors påvirkning på fangstraterne i skrabetogtet. Effekten af tid på dagen og bølgehøjden blev estimeret i modellen. Resultaterne viste at fangstraterne er størst om natten, hvor langt hovedparten af skrabe alle allerede foretages. Effekten af bølgehøjden viste sig vanskelig at estimere idet dataserien ikke indeholder god kontrast, dvs. en passende blanding af store og små bestandsstørrelser og bølgehøjder..

2.3.6 Analyse af rekrutteringsindices (M.3.6)

Tidlige larvedata som indeks for tobisrekruttering; udvidet analyse af rumlig og tidsmæssig variation af tobislarve forekomst i relation til bestandsstørrelser.

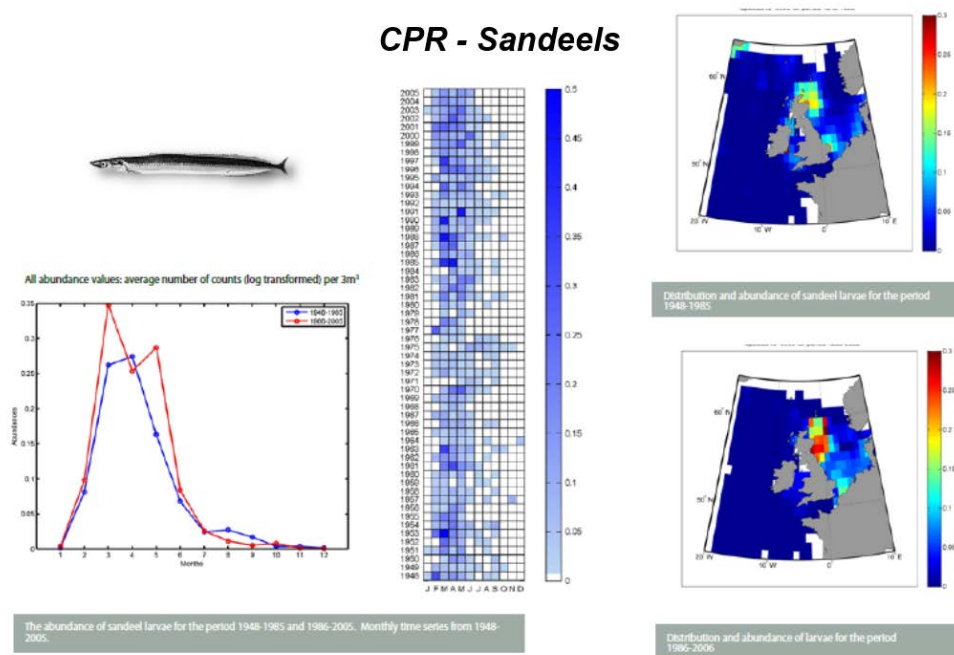
Vandloppe data som indeks på tobisbestand og rekruttering; analyse af om vandloppe data kan bidrage til en øget præcision i bestandsmodellen og rådgivningen ved at inddrage data på samme vis som videnskabelig survey data.

I projektet blev det undersøgt om vandloppe data og vandtemperatur kan bruges til at forudsige tobis rekruttering. En sammenhæng mellem et index for mængden af *Calanus finmarchicus* (en af to store vandlopper-arter i Nordsøen), overfladetemperaturen og tobis-rekrutteringen. Dette arbejde er publiceret i Fisheries Oceanography (Lindegren et al. (2018) Fisheries Oceanography, 27(3), 212-221) og der projektet er krediteret i acknowledgement-afsnittet (arbejdet blev lavet i samarbejde med GOFORIT, <http://www.goforit-cofasp.net/>). Resultaterne blev desuden præsenteret ved benchmarkmødet i Bergen i 2016 og efterfølgende under tobis assessment-arbejdsgruppen i ICES HQ. Bestandsdynamikken blev undersøgt i en aldersstruktureret simulations model for tobis i en analyse koblet til de vigtigste påvirkende miljøvariable under forudsigelige klima- og fiskeriscenarier. Rekrutteringen var negativt påvirket af bestandsstørrelse (den vigtigste faktor) og havtemperaturen i 2. kvartal, desuden havde mængden af 1 år gamle individer en negativ påvirkning og mængden af *Calanus finmarchicus* en positiv påvirkning i modellen. Studiet understreger en forudsigelig høj risiko for bestanden ved en kombination af højt fiskeritryk og høje havtemperaturer.

Calanus finmarchicus-indekset blevet testet i selve bestandsmodellen, men indekset bidrog ikke til en forbedring af modellen og blev taget ud igen. Det blev heller ikke set som en mulighed at benytte disse nye indeks i forbindelse med selve forecast-øvelsen, som forudsiger fangstmulighederne for den kommende sæson, før end at man har haft mulighed for at følge indeksets formåen i en årrække fremover. Derfor blev studiet præsenteret ved ICES WGS2D (2018), som valgte at gå videre med at udvikle et forecast-produkt i ICES format, som kan vedlægges den årlige bestandsvurderings-rapport fremadrettet. På den måde vil det være muligt løbende at vurdere om der er et potentiale i at bruge *Calanus finmarchicus* og temperatur til tobis-prognoser.

Udover *Calanus finmarchicus* og temperaturen blev der eksperimenteret med at benytte det CPR-larveindeks, som blev udviklet under EFF-projektet korttidsprognoser. Til trods for hvad et tidligere studie havde stillet os i vente, var sammenhængen dårlig mellem det som larve-indekset og skrabe-togtet viste, og indekset bidrog heller ikke til en forbedring af selve bestandsmodellen.

Available data



Figur 21. Tobislarver i continuous plankton recorder (CPR). Venstre: månedlig abundans af tobislarver i to tidsperioder (1940-1985; 1986-2005). Midt: abundans variationer på måned- or årsbasis. Højre: geografisk fordeling af tobislarver øverst 1940-1985 og nederst 1986-2005.

Norge præsenterede informationer om tobis-larve forekomster fra forskellige togter og argumenterede for ressourcer til oparbejdning hvis sådanne data skal indgå i de årlige bestandsvurderinger.

2.4 Bestandsvurdering af tobis i Nordsøen (AP4)

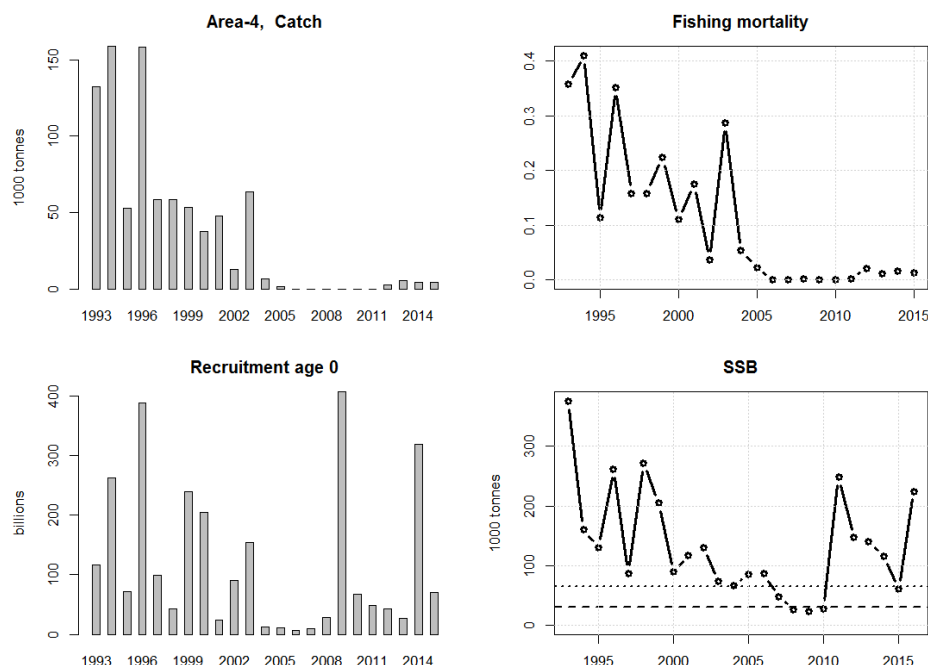
Denne AP indeholder en gennemgang af input, set-up og output fra den nuværende SMS model og den alternative SESAM-model for tobisområde 1, 2 og 3 samt SA4. Arbejdet inkluderer kvalitetssikring af data, analyse af delmodeller for forvaltningsrammer, fiskeriindsats og selektivitet (på baggrund af resultaterne fra AP3a), samt fiskeriuafhængige indices (på baggrund af resultaterne fra AP3b). Tobisfiskeriet har over de seneste år oplevet en nedgang i antallet af fartøjer samt en koncentration af fiskeriet på færre banker. En sådan koncentration samtidig med en relativ øgning af rekrutteringsbidraget fra ubefiskede banker kan potentielt give en bias i bestandsvurderingen. Effekten af dette vil blive undersøgt i en model hvor det antages at en andel af bestanden ikke fiskes men stadig bidrager til rekruttering. Det undersøges om den ændrede koncentration af fiskeriet giver en skæv vurdering af bestandsudviklingen selv i tilfælde hvor bestanden er uændret.

2.4.1 Præsentation af muligheden for en kategori 1 bestandsvurdering for SA4 (M.4.1)

Opstilling af en kategori 1 bestandsvurdering for SA4

Der blev arbejdet målrettet hen mod en analytisk bestandsvurdering for det vestlige tobisområde SA4. Efter at have lavet en koordineret indsamling af fangst-data fra område 4 baseret på monitoringskvoter gennem en årrække, lykkedes det (her i projektet) at opstille en kategori-1 bestandsmodel (i SMS) for tobis i område 4. Modellen blev godkendt på benchmarkmødet i Bergen i 2016 og blev anvendt i 2017 og 2018. Detaljer kan findes i benchmarkrapporten: (WKSAND2016: <http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Forms/DispForm.aspx?ID=32781>)

Standard-output vises i nedenstående figur.



Figur 22. Bestands-summary for SA4.

2.4.2 Inklusion af en revurderet effort model i bestandsvurdering (M.4.2)

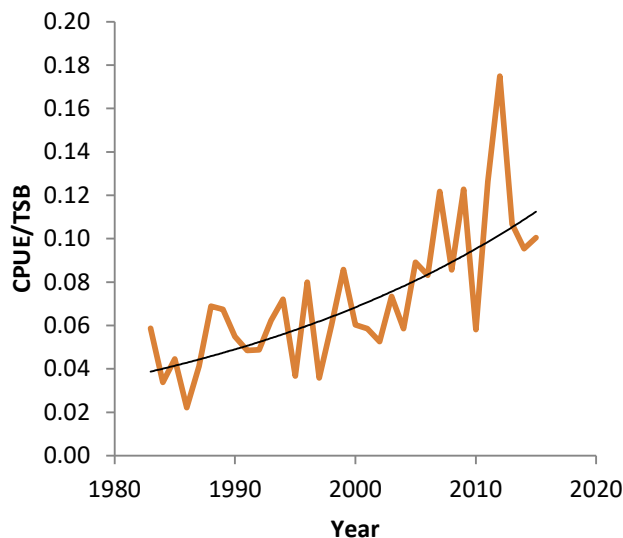
Analyser af sammenhængen mellem effort og fiskeridødeligheden med hensyn til:

a) Redskabsudvikling, samt resultaterne fra AP3a). b) Forvaltningens indflydelse (f.eks. brug af TAC som supplerende støtte for fiskeridødeligheden med den såkaldte SESAM-model). c) Analyse af udviklingen i tobisfiskeriets effektivitet og selektion gennem tid og hen over sæsonen med fokus på den seneste 10 årige periode

Udviklingen i fiskeriindsats (effort) blev undersøgt gennem den skalering-eksponent b som fartøjsstørrelsen skal have for at give mål for den totale fiskeriindsats der er uafhængig fartøjets størrelse.

$$CPUE_{t,V} = q_0 \left(\frac{V}{V^*} \right)^b B_t$$

hvor V^* er en standard fartøjs-størrelse f.eks. 200 GT, q_0 er fangsteffektiviteten af et standardfartøj og uafhængigt af eventuelle ændringer i flådesammensætning, B_t is biomassen and $CPUE_t$ er fangst pr. indsats til et givet tidspunkt t (her ton pr. rapporteret fisketid) og eksponenten b standardiseringen. Det blev fundet at fangst pr. indsats i forhold til totalbiomasse har øget med 3.3% om året gennem tidsserien (Figur 23) og dermed udviser fangst effektivisering sk. technical creeping.



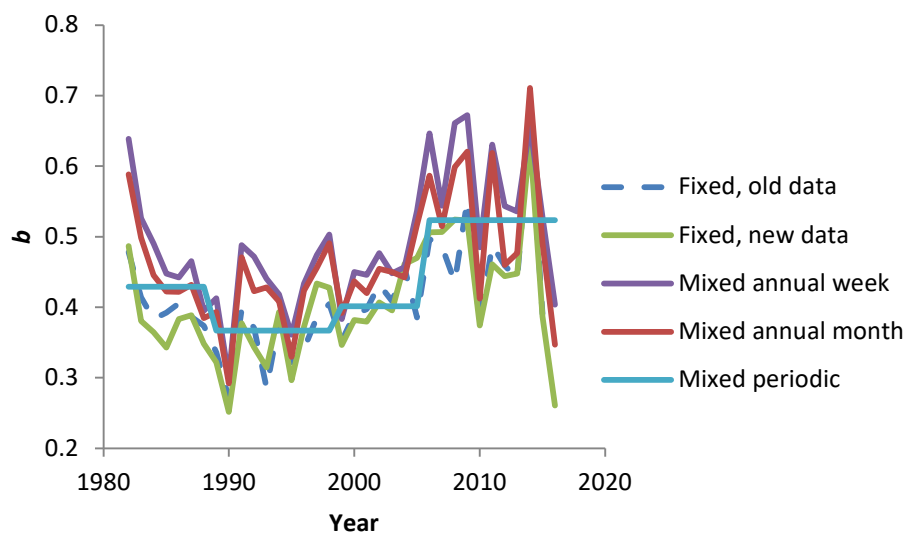
Figur 23. Technical creeping vist som udvikling i CPUE/total-biomasse over årene.

Udviklingen i standardiseringsparameteren b blev undersøgt gennem en række modeller hvor logaritmen til fangst pr. indsats $\ln(CPUE)$ som en lineær funktion af logaritmen til den relative fartøjsstørrelse og niveauer blev bestemt af en række andre parametre som f.eks. uge(w), ICES rektangel (r) og år (y) samt en individuel fartøjseffekt.

$$\ln(\hat{CPUE}_{w,r,y,V}) = \varphi_{w,r,y} + \lambda_{vessel,y} + b_y \ln\left(\frac{V}{V^*}\right)$$

Alle modeller viste nogenlunde samme udviklingstrend (Figur 24) hvor fartøjs-størrelses-skaleringen var høj i starten af perioden derefter mindskede og igen er blevet høj i slutningen af perioden, dog undtaget 2016 hvor der kun var en begrænset mængde data.

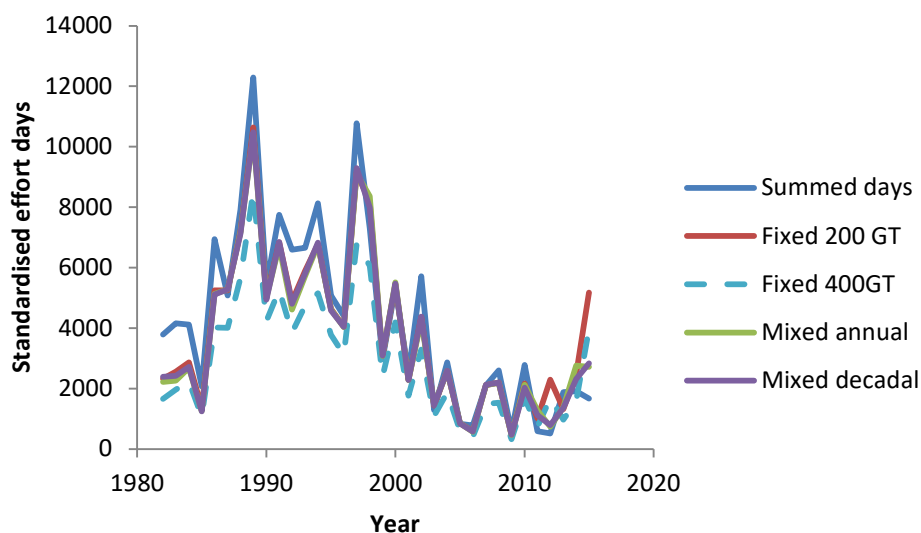
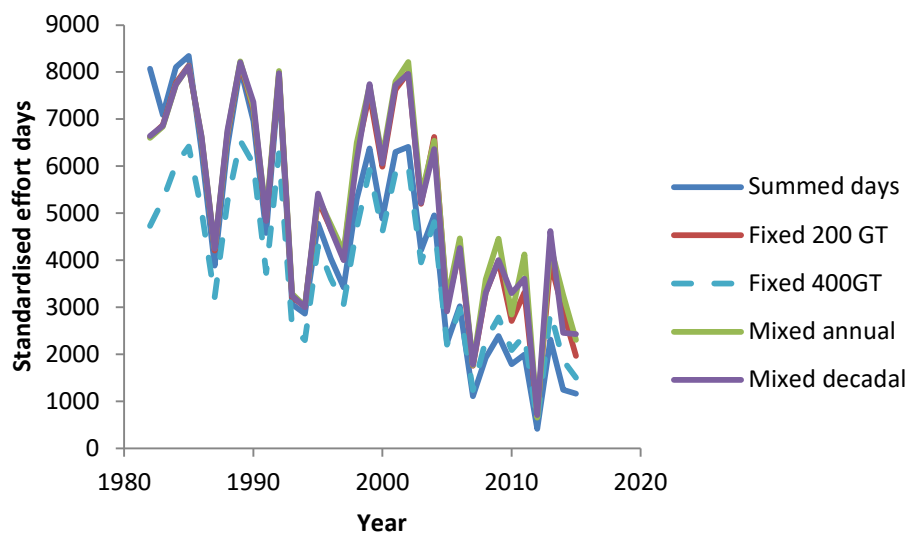
Slutningen af perioden har en gennemsnits b på ca. 0.5 hvilket betyder at hvis man øger fartøjets brutto tons med 4 gange (f.eks. fra 200 til 800 GT) får man en forventet øgning af CPUE på $4^{0.5}$ hvilket er det samme som kvadratroden af 4 altså 2, lig med en fordobling.



Figur 24. Udvikling i fartøjs-størrelses-skalering b over tid med forskellige modeller.

Efter standardiseringen af effort kunne antallet af standardiserede fiskedage pr. år udregnes som et mål for udviklingen i flåde indsats over årene for de gamle tobisområder SA1 og SA3.

Alle modeller viser stort samme trends bort set fra de sidste år i SA3 hvor den norske flåde formodentlig har haft forskellig teknologiudvikling i forhold til den tidligere kombinerede dansk-norske flåde. Det ses også at indsatsen i SA3 begyndte at mindske tidligere (ca. 1998) end indsatsen i SA1 (ca. 2002).



Figur 25. Udvikling i standardiseret effort over tid med forskellige modeller. Gammel SA1 (øverst) og SA3 (nederst).

SESAM

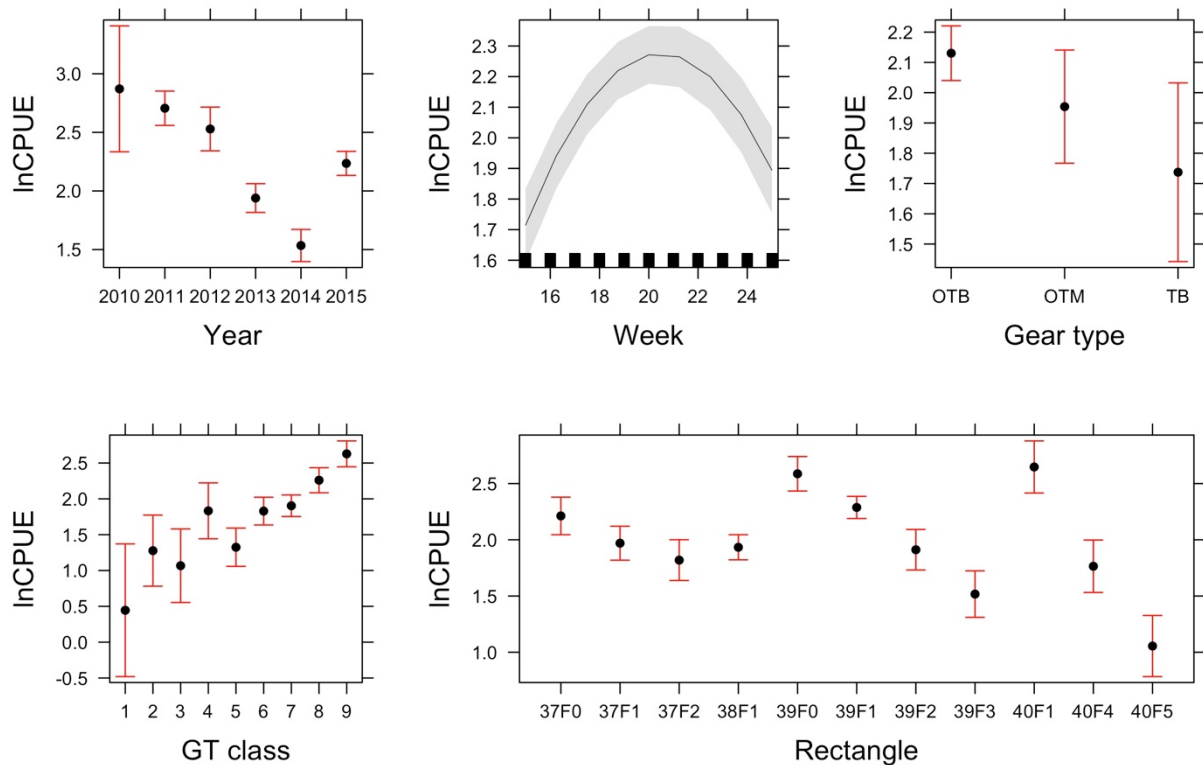
Den sæsonopløste bestandsvurderingsmodel (seasonal state-space assessment model [SESAM]) er en nyudviklet udvidelse af den populære SAM model, som er en af de hyppigst benyttede bestandsvurderingsmodeller indenfor Europa. Hovedforskellen på det to er at SAM benytter årlige kommercielle fangster som datakilde og fiskeridødeligheder estimeres derfor også på årlig basis, hvorimod SESAM benytter sæsonopløste data (to sæsoner per år) og giver sæsonopløste estimater.

Modellen blev yderligere udvidet således at kommerciel indsatsdata (effort) kan benyttes. Ydermere blev modellen forbedret til at kunne håndtere at fangsteffektiviteten for den kommercielle flåde ændres over tid (technological creep).

Modellen gav lignende bestandsvurderinger sammenlignet med SMS modellen, når den blev anvendt til de samme data både i relative og absolutte tal i de fleste tilfælde. Men for nogle konfigurationer havde SESAM-modellen vanskeligheder med at konsekvent estimere temporær udvikling i fangstef-

fektiviteten af den kommercielle flåde, som blev afsløret ved problematiske mønstre i den retrospektive analyse. Selv om dette problem kunne formindskes ved at antage en kendt overlevelses-procesfejl i stedet for at estimere denne, var det samlede indtryk at SMS-modellen var mere stabil, forudsat at der var tilstrækkelige data i den seneste SMS-periodeklynge for selektiviteten (4-5 år). Ikke desto mindre har SESAM-modellens evne til at estimere gradvise temporære ændringer i selektivitet og fangsteffektivitet visse fordele i forhold til periodeklynge-metoden der benyttes i SMS-modellen, da sidstnævnte kan indføre pludselige hop bestandsvurderingen når nye periodeklynger introduceres. SESAM-modellen indeholder også procesfejl i modsætning til SMS-modellen, hvilket bør give mere realistiske usikkerhedsestimater, dog selvfølgelig under forudsætning af procesfejlen kan estimeres. På trods af at modellen blev forkastet i forhold til den nuværende SMS model på benchmark mødet i Bergen 2016, så har modellen bidraget til forståelsen af betydningen af de forskellige antagelser i SMS- og SESAM-modellen, samt styrket tiltroen til resultaterne fra SMS modellen, idet det var muligt at opnå sammenlignelige resultater med SESAM-modellen.

Erhvervet bidrog med resultaterne af et samarbejdsprojekt med School of Aquatic and Fishery Sciences, University of Washington, Seattle, WA 98195, USA. Hvor fartøjsstørrelse samt tidsmæssig og geografisk betydning for standardisering af fiskeriindsatsen blev undersøgt.



Figur 26: Effekter af år, uge, redskab, brutto tons, og ICES rektangel fra en lineær mixed effects model med fangst og effort data pr. træk (fra Jan Ohlberger and Ray Hilborn 2016).

2.4.3 Præsentation af inklusion af nye fiskeriafhængige indices i bestandsvurdering (M.4.3)

Analyse af signaler i bestandsvurderingen ved inklusion af nye indices fra AP3b)

Skrabetogtets resultater blev oparbejdet og modelleret i et nyt format der inkluderer områdemæssige standardiseringer. Dette bidrog til et forbedret indeks som nu anvendes i bestandsanalysen.

2.4.4 Sammenholde model diagnostikker for bestandsmodeller med og uden Continuous Plankton Recorder larve-data og vandloppe-data (M.4.4)

Udvikling af delmodel for korttidsprognoser der relaterer til referencepunkter i AP5. Sammenholde model diagnostikker for bestandsmodeller med og uden Continuous Plankton Recorder, larve-data og vandloppe-data

En række andre kandidater til fiskeriuafhængige indices for bestand eller rekruttering blev undersøgt i forbindelse med benchmark. Om end visse indices havde god overensstemmelse med øvrige modelresultater så kunne ingen af de nye indices bidrage signifikant til en forbedring af modellerne.

Der kan dog være andre grunde til at man kan medtage yderligere fiskeriuafhængige indices. F.eks. har erhvervet udtrykt ønsker om for bedre planlægning at få en tidligere indikation af rekrutteringen og dermed fiskerimulighederne for den kommende sæson. I denne forbindelse kan indices der bygger på tobislarve-togter (f.eks. den lange tidsserie af CPR-data) have interesse. Disse data kan potentielt give et indeks for den nye årgangsstyrke op til trekvart år inden tobissæsonen.

2.4.5 Syntese af model-valg for bestandsvurdering af tobis i Nordsøen (M.4.5)

Sammenligning af bestandsvurderinger lavet med hhv. SMS- og SESAM-modellerne

Det blev forsøgt at gennemføre en bestandsvurdering for tobis i område 1 i den sæsonopløste SAM-model (SESAM), som blev udviklet under det tidligere EFF-projekt Korttidsprognoser. SESAM-modellen har den fordel at man kan have et dynamisk selektions-mønster, som kan variere fra år til år (i modsætning til SMS-modellen). Forsøget var delvist succesfuldt og en version blev da også præsenteret ved benchmarkmødet i Bergen 2016. Men det blev vurderet at modellen var for ustabil og derfor besluttede man at fortsætte med SMS-modellen. Det var imidlertid betrykkende at se at SESAM-modellen i høj grad producerede de samme mængder og år-til-år variationer som SMS-modellen. For flere detaljer se WKSAND2016-rapporten: (<http://www.ices.dk/sites/pub/Publication%20Reports/Forms/DispForm.aspx?ID=32781>).

2.4.6 Syntese af effekten af koncentration af fiskeri på opfattelsen af bestandene (M.4.6) samt kvantificering af bias (M16)

Modelanalyse af effekter på bestandsvurderingen af inhomogen geografisk fordeling af rekruttering og fangbarhed af tobis i forhold til fiskeriets fordeling, og syntese af effekten af koncentration af fiskeri på opfattelsen af bestandene samt kvantificering af bias

Tobis i den sydlige Nordsø. Det blev fundet at mellem 5 og 10% af den totale tobisbestand kunne finde sig i for nærværende mere eller mindre ubefiskede områder i syd. Hvis dette delområde har en uafhængig populationsdynamik i forhold til resten af Nordsøen vil det, for at undgå bias i bestandsestimaterne, være formålstjenligt at udvide skrabetogtet til rutinemæssigt at omfatte dette delområde.

2.5 Referencepunkter (AP5)

Formålet med denne AP var at revidere og opdatere de eksisterende referencepunkter for tobis i Nordsøen. Referenceniveauer for fiskebestande sættes under en økosystem tilgang til fiskeri som beskrevet i den nye CFP med dobbelt formål: dels at sikre en fortsat rekruttering af tobis, og dels at sikre at tobisfiskeriet ikke har en væsentlig negativ effekt på økosystemet. For tobisen undersøges det derfor både ved hvilket bestandsniveau der er indikationer på negative effekter på rekruttering samt på prædatorer såsom havfugle, rovfisk og havpattedyr der er afhængige af tobiser. Resultaterne fra denne AP giver grundlag for diskussioner af mulige forvaltningsstrategier i AP 6.

2.5.1 Økosystem- samt bestandsspecifikke referencepunkter bestemt for alle bestande og præsenteret til review i ICES (M.5.1)

Gennemregning af de eksisterende biologiske og forvaltningsmæssige referencepunkter. Analyse af økosystem-referencepunkter i relation til de eksisterende bestandsreferencepunkter

Der er i projektet lavet en række analyser af biologiske og fiskerirelaterede referencepunkter. Først i forbindelse med benchmark og senere i en række sammenhænge med analyser af forvaltningsstrategier.

Økosystemeffekterne på tobisens rekruttering og produktivitet blev undersøgt i projektet for at se om alternative indices kunne bidrage til et bedre forecast af kommende sæsons fiskerimuligheder.

Fiskerireferencepunkter blev undersøgt i projektet. Det blev bl.a. fundet ved ICES MYREF2 at hvis B_{pa} ($B_{pa} = B_{lim} * \exp(1.645 * \text{std})$) bruges som biomassereferencepunkt i forbindelse med escapement strategien, vil der kun være mulighed for langsigtet bæredygtigt fiskeri hvis der lægges en max grænse på fiskeridødeligheden den sk. F_{cap} . Derfor blev F_{cap} analyseret i en MSE for de fire tobisområder SA1-SA4.

Tabel 3. Estimerede F-cap-værdier med 5% risiko for at komme under B_{lim} i MSE-analysen

Area	F_{cap}	Mean future F (predicted in MSE)	Mean future TAC (1000t) (predicted in MSE)	Average (and max) F in assessment (2010-2015)
1r	0.49	0.43	213	0.42 (0.62)
2r	0.44*	0.31	82	0.31 (0.51)
3r	0.29	0.26	114	0.30 (0.56)
4	0.15	0.09	30	0.01 (0.03)

*Negativ trend i rekrutterings-tidsserien i summary tabel for bestandsvurdering.

I et sammenlignende studie af kortlivede arter under 6 forskellige forvaltningsstrategier undersøgte udbytte i forhold til langsigtet bæredygtighed (MSY) for tobis- og brisling-fiskeri. Bæredygtigt fiskeri er defineret således at man er 95% sikker på at bestandens reproduktive kapacitet ikke er negativt påvirket.

De undersøgte strategier var

- i) Escapement strategien, hvor man fisker netop så meget, at man ligger over eller rammer biomasse-referencepunktet B_{pa} ved næste års gydning.
- ii) Escapement med tilføjelse af F_{cap} for at opnå bæredygtighed
- iii) $F=M$ hvor fiskeridødeligheden sættes lige så høj som den naturlige dødelighed
- iv) MY forvaltning hvor man tiltemper et fast fiskeritryk F_{MY} der maksimerer det langsigtede udbytte, men tillader at bestanden regelmæssigt falder under B_{lim} .
- v) MSY forvaltning hvor man tiltemper et fast fiskeritryk F_{MSY} der maksimerer et bæredygtigt langsigtede udbytte, hvor bestanden har under 5% risiko for at falde under B_{lim} .
- vi) HCR strategi hvor F øger lineært fra 0 ved en biomasse på B_{lim} til et konstant fiskeritryk F_{HCR} ved biomasser over B_{pa}

Kun 3 af strategierne var bæredygtige i analysen ii), v) og vi) øverste tabel. Sandsynlige udbytter for strategierne er vist i næste tabel, hvor det ses at Escapement med F_{cap} giver det største gennemsnitlige udbytte for tobis men samtidig størst variation i udbytte og størst risiko for lave udbytter under 50 000 t.

Tabel 4. Øverst: Sammenligning af bæredyghed for 6 forvaltningsstrategier anvendt på to forskellige industrifiskerier. Nederst: statistik for udbytte og fiskeritryk for de tre bæredygtige forvaltningsstrategier.

Brisling		Tobis	
Strategi	sandsynlighed ($p < 0.05$)	Strategi	sandsynlighed ($p < 0.05$)
HCR	0.05	HCR	0.05
F _{msy}	0.05	F _{msy}	0.05
F _{cap}	0.05	F _{cap}	0.05
Escapement	>0.5	Escapement	0.3
F _{my}	0.38	F _{my}	0.44
F=M	0.07	F=M	>0.5

Stock	Strategy	Prob. ($S < B_{lim}$)	mean S (1000 t)	mean TAC (1000 t)	mean F_{bar}	TAC variation (CV)	Prob. (TAC < 50000 t)
Sprat	HCR ($F_{hcr} = 1.4$)	0.05	250	164	1.3	0.8	20%
	F ($F_{msy} = 1.2$)	0.05	255	161	1.26	0.72	7%
	F _{cap} ($F_{cap} = 1.2$)	0.05	256	165	1.29	0.71	6%
Sandeel	HCR ($F_{hcr} = 0.5$)	0.05	391	296	0.44	0.81	11%
	F ($F_{msy} = 0.4$)	0.05	406	273	0.41	0.72	1%
	F _{cap} ($F_{cap} = 0.6$)	0.05	343	312	0.49	0.87	16%

2.6 Forvaltningsstrategier for tobis i Nordsøen (AP6)

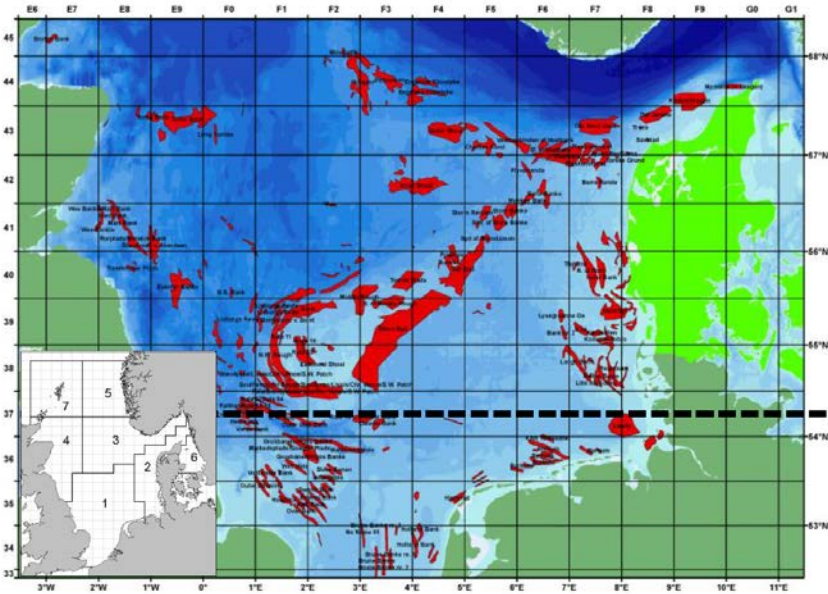
Formålet med denne AP var at gensidigt informere om forventninger til formulering af forvaltningsmål. Arbejdet i arbejds pakken blev indledt med en 2-dags workshop, med formålet at formulere og afstemme forvaltningen af tobis på baggrund af fiskeriets, forvaltningens, og forskningens målsætninger og ønsker under hensyntagen til tobisens biologi og betydning i økosystemet.

Endvidere var der specifikke forhold omkring forvaltningsstrategier for tobis i Nordsøen, som blev berørt i møderækken, blandt andet en evaluering af potentialet i sæsonoptimering af tobisfiskeriet, hvor vækst potentialet udnyttes fuldt ud før fiskeriet toppes.

Arbejdet i denne pakke blev gennemført i en løbende dialog mellem erhverv, biologer og forvaltere omkring den eksisterende forvaltningsstrategi samt analyse og diskussion af alternative strategier. Den forberedende dialog ledte op til en række møder, hvor resultater fra AP1-AP5 blev præsenteret og diskuteret. Arbejds pakken indeholdt en afsluttende 2-dags workshop, en afsluttende delrapport samt syntesen af slutrapporten for projektet. M.6.1 Møde 1: M2 (indledende 2-dags workshop).

I projektet blev der lavet en sammenligning mellem den deterministiske escapement strategi (som hidtil havde været anvendt) og et stokastisk forecast. Arbejdet blev præsenteret ved benchmarkmødet i Bergen i 2016, og det blev besluttet at beholde det deterministiske escapement forecast. I starten af 2017 blev en liste over alternative forvaltnings-strategier udarbejdet i tæt samarbejde med stakeholder fra fiskerierhvervet. Listen indeholdt bl.a. scenarier med minimum og maximum kvoter. Selve MSE'erne (Management Strategy Evaluations) blev efterfølgende gennemført i EHFF-projektet "forvaltningsmodeller for fiskebestande". Resultatet af MSE'erne blev afleveret til ministeriet som notater (og efterfølgende drøftet med fiskerierhvervet).

På kortet over kendte tobisbanker blev en linje ved 54.2° markeret som nordgrænsen for områder med tidligere gode fangstmuligheder men manglende ny information.



Figur 27. Kort over kendte tobisbanker. Linjen ved 54.2° markerer nordgrænsen for områder med tidligere gode fangstmuligheder, men manglende ny information.

Referencer

- Barrio et al. (2016) The genetic basis for ecological adaptation of the Atlantic herring revealed by genome sequencing. e12081. DOI: 10.7554/eLife.12081.
- Bekkevold D, Gross R, Arula T, Helyar SJ, Ojaveer H (2016) Outlier Loci Detect Intraspecific Biodiversity amongst Spring and Autumn Spawning Herring across Local Scales. PLoS ONE 11(4): e0148499. doi:10.1371/journal.pone.0148499.
- Christensen, A., Daewel, U., Jensen, H., Mosegaard, H., St John, M., and Schrum, C. 2007. Hydrodynamic backtracking of fish larvae by individual-based modelling. *Marine Ecology Progress Series*, 347: 221–232.
- Christensen, A., Jensen, H., Mosegaard, M., St John, M., and Schrum, C. 2008. Sandeel (*Ammodytes marinus*) larval transport patterns in North Sea from an individual-based hydrodynamic egg and larval model. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 65: 1498–1511.
- Christensen, A., Mosegaard, H., and Jensen, H. 2009. Spatially resolved fish population analysis for designing MPAs: influence on inside and neighbouring habitats. *ICES Journal of Marine Science*, 66: 56–63.
- Clausen LW, Rindorf A, van Deurs M, Dickey-Collas M, Hintzen NT. 2018 Shifts in North Sea forage fish productivity and potential fisheries yield. *J Appl Ecol*. 55:1092–1101. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13038>
- Fietz, K, Hintze, Skovrind, et al. (2018) Mind the gut: genomic insights to population divergence and gut microbial composition of two marine keystone species. *Microbiome* 6:82. <https://doi.org/10.1186/s40168-018-0467-7>.
- ICES 2016. Report of the Benchmark on Sandeel (WKSand 2016), 31 October - 4 November 2016, Bergen, Norway. ICES CM 2016/ACOM:33. 301pp.
- Jensen, H., and Rolev, A. M. 2004. The sandeel fishing grounds in the North Sea. Information about the foraging areas of the lesser sandeel (*Ammodytes marinus*) in the North Sea. Working document prepared for the BECAUSE project, November 2004.
- Jensen, H., Rindorf, A., Wright, P.J., Mosegaard, H., 2011. Inferring the location and scale of mixing between habitat areas of lesser sandeel through information from the fishery. *ICES J. Mar. Sci.* 68, 43–51. <http://dx.doi.org/10.1093/icesjms/fsq154>.
- Johannesson K, Andre C (2006). Life on the margin: genetic isolation and diversity loss in a peripheral marine ecosystem, the Baltic Sea. *Molecular Ecology* 15: 2013–2029.
- Lindegren M, Van Deurs M, MacKenzie BR, Worsoe Clausen L, Christensen A, Rindorf A. 2018. Productivity and recovery of forage fish under climate change and fishing: North Sea sandeel as a case study. *Fish Oceanogr.* 2018;27:212–221. <https://doi.org/10.1111/fog.12246>
- Peterson BK, Weber JN, Kay EH, Fisher HS, Hoekstra HE (2012) Double Digest RADseq: An Inexpensive Method for De Novo SNP Discovery and Genotyping in Model and Non-Model Species. PLoS ONE 7(5): e37135. doi:10.1371/journal.pone.0037135
- Rindorf A, Wright PJ, Jensen H, and Maar M 2016 Spatial differences in growth of lesser sandeel in the North Sea. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*: 479, 9-19.

