



AARHUS UNIVERSITET



Koncept til årlig afvikling af marine modeller til understøttelse af den marine NOVANA-overvågning



Miljøstyrelsen & DCE

Rapport

Marts 2018

Koncept til årlig afvikling af marine modeller til understøttelse af den marine NOVANA-overvågning

Udarbejdet for Miljøstyrelsen
Repræsenteret af Mikael Hjorth Jensen, MST Fyn



Satellitbillede over de indre danske farvande

Forfattere	Anders Chr. Erichsen (DHI), Mai-Britt Kronborg (DHI), Jens Würbler Hansen (DCE), Jacob Carstensen (DCE), Karen Timmermann (DCE)
Kvalitetskontrol	Flemming Møhlenberg (DHI), Poul Nordemann (DCE), Marie Maar (DCE)
Projektnummer	11819538-7
Godkendelsesdato	8/3-2018
Revision	Endelig udgave
Klassificering	Åben

INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Opsummering og fremadrettet arbejde	1
2	Introduktion	2
3	Opsætning og afvikling af IDF-modellen for 2014 og 2015.....	4
3.1	Verifikation af den hydrodynamiske model	4
3.1.1	Verifikation af den biogeokemiske model	8
3.1.1.1	Klorofyl-a	8
3.1.1.2	Nitrit+nitrat (NO _x).....	9
3.1.1.3	Opløst fosfor (DIP)	9
3.1.1.4	Total kvælstof (TN).....	10
3.1.1.5	Total fosfor (TP)	11
3.1.1.6	Ilt	12
3.2	Hydrodynamisk og biogeokemisk modellering af 2014 og 2015	13
4	Metode til anvendelse af modelresultater i tilstandsvurderinger.....	14
4.1	Tidslig interpolering.....	14
4.1.1	Beskrivelse af indikatorer	15
4.1.2	Resultater.....	15
4.1.3	Systematiske afvigelser	19
4.1.4	Konklusion.....	21
4.2	Rumlig ekstrapolering	22
5	Årlig afvikling af marine modeller til understøttelse af marin NOVANA- rapportering.....	23
5.1	Modeldata fra fysisk model	23
5.2	Modeldata fra biogeokemisk model	26
5.3	Modeldata fra transportmodel	30
6	Interaktivt WEB-værktøj til håndtering af input-/outputdata, behandling af specifikke modelkørsler mm.	33
7	Referencer	35

FIGURER

Figur 3-1	Placering af overvågningsstationer.....	5
Figur 3-2	Modelleret og målt salinitet (øverst) og temperatur (nederst) på ARH170117. Blå trekanter viser målte værdier ved bunden, og sorte trekanter viser målte værdier i overfladen. Den grønne linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den røde linje viser de modellerede værdier i overfladen.	6
Figur 3-3	Modelleret og målt salinitet (øverst) og temperatur (nederst) på FYN6700053. Blå trekanter viser målte værdier ved bunden, og sorte trekanter viser målte værdier i overfladen. Den grønne linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den røde linje viser de modellerede værdier i overfladen.	6
Figur 3-4	Modelleret og målt salinitet (øverst) og temperatur (nederst) på VSJ20925. Blå trekanter viser målte værdier ved bunden, og sorte trekanter viser målte værdier i overfladen. Den	

grønne linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den røde linje viser de modellerede værdier i overfladen.	7
Figur 3-5 Modelleret og målt salinitet (øverst) og temperatur (nederst) på KBH431. Blå trekanten viser målte værdier ved bunden, og sorte trekanten viser målte værdier i overfladen. Den grønne linje viser de modellerede værdier ved bunden og den røde linje viser de modellerede værdier i overfladen.	7
Figur 3-6 Modellerede og målte koncentrationer af klorofyl-a på ARH170117. Grønne cirkler viser målte værdier i overfladen og den sorte linje viser de modellerede værdier.	8
Figur 3-7 Modellerede og målte koncentrationer af klorofyl-a på FYN6700053. Grønne cirkler viser målte værdier i overfladen og den sorte linje viser de modellerede værdier.	8
Figur 3-8 Modellerede og målte koncentrationer af nitrat på ARH170117. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.	9
Figur 3-9 Modellerede og målte koncentrationer af nitrat på FYN6700053. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.	9
Figur 3-10 Modellerede og målte koncentrationer af DIP på ARH170117. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.	10
Figur 3-11 Modellerede og målte koncentrationer af DIP på FYN6700053. Blå trekanten viser målte værdier ved bunden, og sorte trekanten viser målte værdier i overfladen. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.	10
Figur 3-12 Modellerede og målte koncentrationer af TN på ARH170117. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.	11
Figur 3-13 Modellerede og målte koncentrationer af TN på FYN6700053. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.	11
Figur 3-14 Modellerede og målte koncentrationer af TP på ARH170117. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.	11
Figur 3-15 Modellerede og målte koncentrationer af TP på FYN6700053. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.	12
Figur 3-16 Modellerede og målte koncentrationer af ilt på ARH170117. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.	12
Figur 3-17 Modellerede og målte koncentrationer af ilt på FYN6700053. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.	13
Figur 4-1 Estimat af indikatoren klorofyl-a i Aarhus Bugt (venstre) og Limfjorden (højre) for de fire forskellige modeller.	16
Figur 4-2 Estimat af støtteparameteren DIN i Aarhus Bugt (venstre) og Limfjorden (højre) for de fire forskellige modeller.	16
Figur 4-3 Estimat af støtteparameteren DIP i Aarhus Bugt (venstre) og Limfjorden (højre) for de fire forskellige modeller.	17

Figur 4-4	Estimat af støtteparameteren TN i Aarhus Bugt (venstre) og Limfjorden (højre) for de fire forskellige modeller.	17
Figur 4-5	Estimat af støtteparameteren TP i Aarhus Bugt (venstre) og Limfjorden (højre) for de fire forskellige modeller.	17
Figur 4-6	Analyse af systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger for klorofyl-a i Aarhusbugt (ARH170117) og Limfjorden (3708-1).	19
Figur 4-7	Analyse af systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger for DIN i Aarhusbugt (ARH170117) og Limfjorden (3708-1).	20
Figur 4-8	Analyse af systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger for DIP i Aarhusbugt (ARH170117) og Limfjorden (3708-1).	20
Figur 4-9	Analyse af systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger for TN i Aarhusbugt (ARH170117) og Limfjorden (3708-1).	20
Figur 4-10	Analyse af systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger for TP i Aarhusbugt (ARH170117) og Limfjorden (3708-1)	21
Figur 5-1	Stregerne angiver de forskellige linjer, som benyttes i Tabel 5-2. Røde streger udgør linjer, som der er foretaget transportberegninger over, mens blå streger udgør afgrænsninger, hvor der er foretaget massebudget beregninger.	24
Tabel 5-2	Eksempel på massebudgetter (netto) for vand (Q) og salt for hele Østersøen samt for delområder. Tallene i den blå sektion er beregnet på baggrund af et massebudget for Østersøen, tallene i den lyserøde sektion er fra transportlinjerne med samme navn og de grønne tal er fra massebudgettet for IDF (inkl. vand fra Nordsøen) (se Figur 5-1 for de forskellige linjer og navne). Positive tal betyder en nettotransport ud af området, mens negative tal betyder nettotransport ind i området.	24
Figur 5-3	Akkumuleret salttransport over Darss-tærsklen for 2014 (øverst) og 2015 (nederst). Perioder, hvor kurven er stigende, betyder akkumuleret transport ud af området, mens perioder, hvor kurven er faldende, betyder transport af salt ind i området.	25
Figur 5-4	Stratificering (salinitet) for august 2014 (midt) og august 2015 (nederst) langs transekt (øverste figur) fra den nordlige grænse af Kattegat gennem Storebælt til Arkona Bassinet.	26
Figur 5-5	Modelresultater fra lokaliteter, hvor der i dag også er monitoringsstationer. DMU444 og BY2 benyttes her som indikation på koncentrationerne i Arkona Bassinet.	27
Figur 5-6	Modellerede koncentrationer af ilt i overfladen (blå og sorte linjer) og ved bunden (rød og orange linjer) i 2014 (øverst) og 2015 (nederst). Sort og rød linje er data fra DMU444, mens blå og orange linje er data fra BY2. Modeldata er sammenlignet med målinger i Bilag	28
Figur 5-7	Modellerede koncentrationer af ilt i overfladen (sorte linje) og ved bunden (rød linje) på et centralt punkt i det sydlige Lillebælt i 2014 (øverst) og 2015 (nederst).	29
Figur 5-8	Akkumuleret iltforbrug i 2014 (sort linje) og 2015 (blå linje) på et centralt punkt i det sydlige Lillebælt.	30
Figur 5-9	Blanding og spredning af bundvand (nederste lag i modellen) i Lillebælt. Initialværdier er vist i øverste højre hjørne, mens resultaterne efter én måneds modelafvikling ved bunden er vist nedenfor. Øverste række af plot er fra år 2014, mens nederste række dækker 2015.	31
Figur 5-10	Blanding og spredning af bundvand (nederste lag i modellen) i Storebælt. Initialværdier er vist i øverste højre hjørne, mens resultaterne efter én måneds modelafvikling ved bunden er vist nedenfor. Øverste række af plot er fra år 2014, mens nederste række dækker 2015.	32
Figur 6-1	Modelleret og målt klorofyl-a for år 2007 i Storebælt-tabel til højre viser stationer, hvor der er udtrukket modeldata (eller bliver udtrukket data) – pt. klorofyl-a, men værktøjet kan naturligvis udvides til også at vise de andre vandkemiske parametre. Måleresultater er hentet fra overfladevandsdatabasen (ODA).	33
Figur 6-2	Områdegennemsnit for et vandområde i Storebælt (lyseblå afgrænsning) klorofyl-a vist sammen med målinger og modelresultater fra samme lokalitet.	34

TABELLER

Tabel 4-1	Residual-standardafvigelsen, dvs. $\text{StDev}(e_{ijk})$ i modelbeskrivelsen (se afsnit 4.1.1).	19
-----------	---	----

BILAG

BILAG A – Modelverifikation

Modelresultater og målinger

BILAG B – Indledende Workshop

Referat

BILAG C – Modeldata som del af tilstandsvurderinger og som supplement til havrapportering

Arbejdsrapport

BILAG D – Oplæg til udvikling af WEB-værktøj til årlig afvikling af marine modeller til understøttelse af den marine NOVANA-overvågning

Arbejdsrapport

1 Opsummering og fremadrettet arbejde

Der er i dag i Danmark en ambition om i større udstrækning end tidligere at integrere modeller i forhold til tilstandsvurderinger og i forhold til den årlige marine NOVANA-rapportering. Derfor har Miljøstyrelsen igangsat nærværende projekt med henblik på at undersøge muligheder for dette.

Selve projektet er inddelt i fire delopgaver:

- Opsætning og afvikling af IDF-modellen for 2014 og 2015
- Udvikling af en metode til anvendelse af modelresultater i tilstandsvurderinger
- En vurdering af hvordan årlige afviklinger af marine modeller kan benyttes til at understøtte den årlige marine NOVANA-rapportering
- Etablering af et interaktivt værktøj til lagring, præsentation og analyse af modelresultater

Nærværende projektanalyse viser, at modellerne er i stand til at gengive de fysiske forhold med en stor præcision, og at der er gode muligheder i fremadrettet at lade de fysiske modelresultater indgå i den årlige havrapport.

Analysen af de biogeokemiske forhold viser dog, at der stadigvæk skal arbejdes med udvikling af modellerne for at kunne inddrage dem i rapporteringen af de biogeokemiske forhold, og at der stadigvæk ligger noget udviklingsarbejde i at sikre optimale anvendelse af modellen sammen med målinger som en del af tilstandsvurderinger. I dette projekt har vi analyseret for muligheder for at forbedre den tidlige interpolering, mens den spatiale interpolering skal analyseres i et eventuelt efterfølgende projekt. Den umiddelbare analyse af en tidlige interpolering med den eksisterende model viste ikke forbedringer ved at integrere modelresultater, og fremadrettet kan andre metoder afprøves. Derudover forventes dataassimilering at kunne blive helt centralt på en senere tidspunkt.

Fremadrettet skal der derfor være fokus på:

1. Test af anvendelse af fysiske modelresultater for de hydrografiske forhold i den marine rapportering for år 2018 med henblik på at vurdere om et modelbaseret hydrografisk kapitel fremadrettet bør indgå i rapporteringen.
2. Forbedre den biogeokemiske modelkalibrering (især klorofyl-a i sensommeren og de uorganiske næringssalte over vinteren og i bundvandet) med henblik på at underbygge den årlige havrapportering.
3. Afprøve metoder for arealmæssig integration af model og målinger og evt. andre metoder for tidlig interpolering.
4. Analysere muligheder for fremadrettet dataassimilering.

2 Introduktion

I forbindelse med vandområdeplanen 2015-2021 (VOP II) blev der udviklet en række biogeokemiske modeller til beregning af reduktionsbehov og tilhørende målbelastninger samt tilstandsværdier for pelagiske parametre. De mekanistiske modeller omfattede de indre danske farvande (IDF-modellen) samt udvalgte fjorde; Roskilde Fjord, Odense Fjord og Limfjorden. Derudover har der pågået et arbejde med at forberede en Nordsø-model, som blev færdiggjort med udgangen af 2017. Disse mekanistiske modeller beskriver dynamikken i såvel fysisk-kemiske som biologiske parametre.

Ved tilrettelæggelse af det nye NOVANA-overvågningsprogram 2017-21 er det forudsat, at der for åbne vandområder, som overvåges i mindre omfang, leveres årlige modelgenererede værdier for klorofyl-a til brug for den næstkommende vandområdeplan (VOP III). Det må yderligere forventes, at pelagiske støtteparametre, fx koncentrationer af N og P, ilt og K_d (lysnedtrængning), der genereres af modellerne, generelt vil spille en øget og mere formaliseret rolle i den næstkommende vandområdeplan. Som forberedelse til VOP III er der således behov for at udvikle en metodik, som anviser, hvordan resultater fra en årlig modelkørsel kan kombineres med målinger med henblik på at kvalificere tilstandsvurderingerne.

DCE udarbejder hvert år en rapport over tilstand og udvikling i hav og fjord baseret på NOVANA-overvågningsprogrammet. Modeller har tidligere indgået som en del af den nationale marine overvågning, men det har udelukkende været data fra hydrodynamiske transportmodeller til beregning af næringsstoftransporter mellem farvandsafsnit. Det er nærliggende at afsøge muligheder for at inddrage årlige afviklinger af de mekanistiske modeller, som DHI har udviklet for MST, i den årlige NOVANA-rapportering med henblik på at øge datagrundlaget og således forbedre forståelsen af årsagssammenhænge.

Formålet med nærværende projekt er at udvikle koncept og metode, der tilvejebringer modelresultater fra årlige kørsler med de marine modeller til understøttelse og supplerende af NOVANA-overvågningen med henblik på tilstandsvurderinger i kystvande samt at afsøge muligheder for at inddrage de mekanistiske modeller som et supplement til den årlige NOVANA-rapportering. I udgangspunktet benyttes 2014 og 2015 som datagrundlag, men data (målinger og modelresultater) fra tidligere år (2002-2011) er inddraget i det omfang, det styrker analysen.

Projektet skal ses som en fremadrettet anbefaling af koncept og metodik – et udviklingsprojekt, som har til formål at sondere forskellige aspekter af at inddrage modeller i den fremtidige forvaltning og rapportering af miljøtilstand. Perspektivet er således, at projektets resultater (koncept/metode) skal danne grundlag for, at en årlig afvikling af modellerne fremtidigt skal indgå i NOVANA-overvågningen med henblik på at bidrage til tilstandsvurderinger og vurderinger af årsagssammenhænge samt til at understøtte rapporteringer.

Selve opgaven er inddelt i fire delopgaver:

- Opsætning og afvikling af IDF-modellen for 2014 og 2015
- Udvikling af en metode til anvendelse af modelresultater i tilstandsvurderinger
- En vurdering af, hvordan årlige afviklinger af marine modeller kan benyttes til at understøtte den årlige marine NOVANA-rapportering
- Etablering af et interaktivt værktøj til lagring, præsentation og analyse af modelresultater

Projektet er foregået i et samarbejde mellem DHI og AU (Aarhus Universitet). DHI har været ansvarlig for afvikling af de mekanistiske modeller, som indgår i analysen og efterfølgende databearbejdning. AUs rolle har været at facilitere processen, levere drivdata for modelleringen og vurdere muligheder for at inddrage forskellige dele af modelleringen i de fremtidige tilstandsvurderinger og i den årlige havrapport, mens MST gennem workshops har deltaget i diskussioner omkring muligheder og behov.

Denne rapport er en sammenskrivning af de enkelte delopgaver, og skal ses som et resumé af processen og de diskussioner, der har været undervejs i projektet. Efterfølgende skal denne rapport indgå i en samlet vurdering af, i hvilket omfang MST ønsker at inddrage modeller fremadrettet i tilstandsvurderinger og NOVANA-rapporteringer, men der foreligger ingen beslutning om dette på nuværende tidspunkt.

3 Opsætning og afvikling af IDF-modellen for 2014 og 2015

I udgangspunktet er det besluttet at opstille IDF-modellen og afvikle den for 2014 og 2015 som baggrundsdata for denne opgave. Selve modellen blev udviklet, opstillet og afviklet for årene 2000-2011 som en del af den værktøjskasse, der blev etableret under forberedelserne til VOP II (se Erichsen & Timmermann 2017 for yderligere beskrivelse af modelbaggrund og –opsætning).

I forbindelse med den efterfølgende modelvedligeholdelse er IDF-modellen blevet yderligere forbedret. Dette gør sig især gældende for den fysiske del af modellen (den hydrodynamiske model), mens der ikke har været foretaget yderligere signifikante modeludviklinger i den biogeokemiske modelbeskrivelse og/eller modelopsætning.

Derfor har en stor del af selve modelopsætningen og afviklingen af IDF-modellen for 2014 og 2015 relateret sig til det at 'flytte' modelopsætningen fra 2011 til 2014/2015. Der har i nærværende projekt ikke været foretaget yderligere ændringer i modelopsætningen, hvorfor eventuelle systematiske forskelle mellem målinger og modelresultater i 2000-2011 stadigvæk vil være tilstede i 2014/2015. Dette behandles yderligere i afsnit 3.1.1.

For at 'flytte' modelopsætningen fra 2011 til 2014/2015 er der en række data, der skal indhentes og oparbejdes. Dette gør sig gældende for:

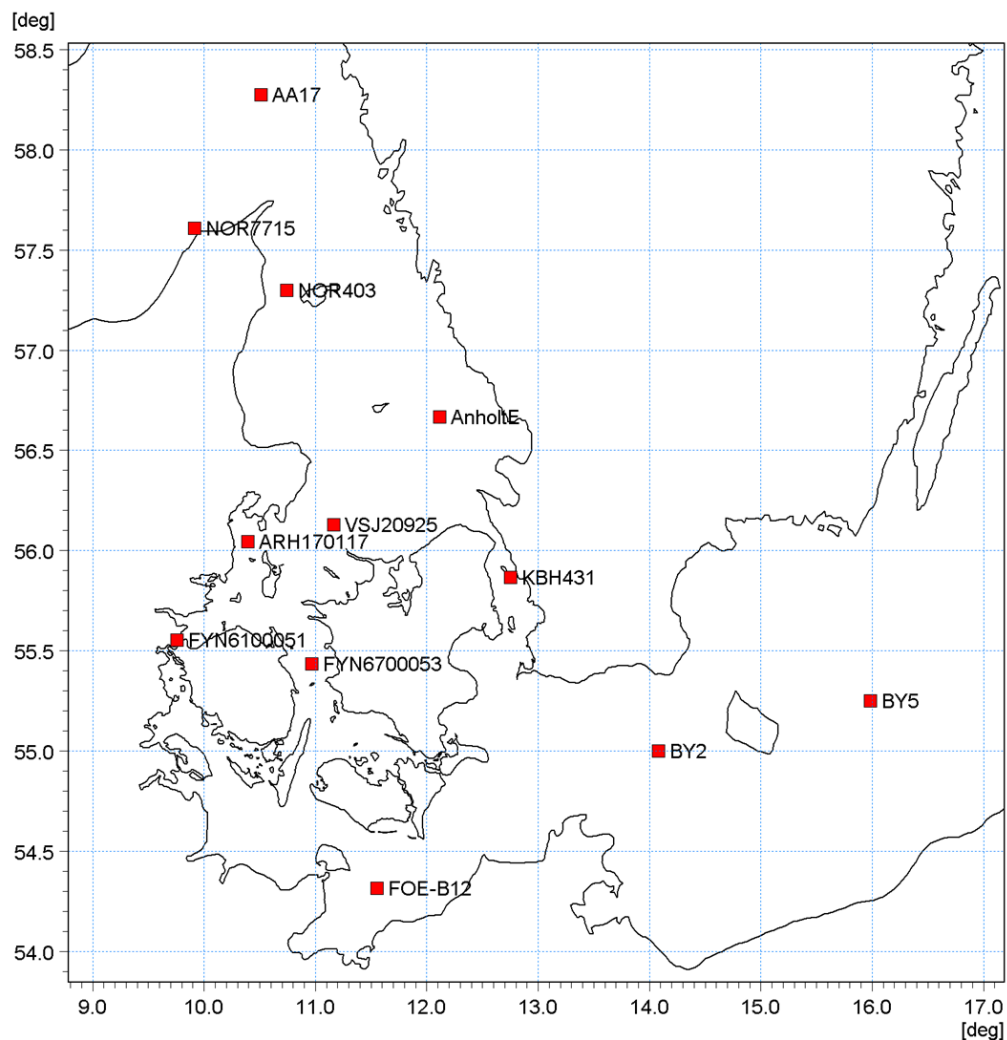
- Meteorologidata: DHI modtager løbende meteorologidata (vind, lufttemperatur, solindstråling) fra StormGEO, og disse data er indsamlet og oparbejdet, så de dækker år 2014-2015.
- N-depositioner: DCE har leveret depositionsdata for ammonium og nitrit+nitrat (NO_x) for begge år (Ellermann et al. 2015 & Ellermann et al. 2016). Disse data er oparbejdet og inkluderet i modelopsætningen.
- Danske ferskvandsafstrømninger og tilførsler af N og P: For 2014 og 2015 har DCE leveret afstrømningsdata på 2.ordens farvandsniveau. Baggrunden for disse data er beskrevet i /7/, og data er til dette projekt yderligere differentieret til 4.ordens farvandsniveau ved skalering til tidligere dataleverance (Erichsen og Timmermann 2017).
- Ferskvandsafstrømninger og tilførsler af N og P fra andre lande end Danmark: Her benyttes modellerede data (E-HYPE) fra SMHI (Sveriges Meteorologiske og Hydrologiske Institut) (<http://hypeweb.smhi.se/europehype/long-term-means/>). Disse data har en opløsning svarende til godt 350 floder omkring Østersøen (inkl. Kattegat og Skagerrak), og til denne opgave er disse data fordelt på 51 floder.
- Udover ovenstående data skal modellen benytte initialværdier og randværdier for at kunne afvikles. Randværdier stammer fra DHIs regionale Nordsømodel, mens initialværdierne for både de pelagiske og bentiske tilstandsvariable stammer fra 2011 modelleringen. Dette udgør naturligvis en fejkilde, og i det fremadrettede arbejde bør initialværdierne fra 2011 justeres, så de modsvarer målinger i begyndelse af 2014. Dette har dog ikke været muligt inden for dette projekt.

Med dette udgangspunkt er modellen afviklet, og i det efterfølgende er eksempler fra modelresultater sammenlignet med målinger fra 2014 og 2015.

3.1 Verifikation af den hydrodynamiske model

I det følgende vises eksempler på modellerede saliniteter og vandtemperaturer og tilsvarende målinger. Figurerne inkluderer målinger og modelresultater for 2014 og 2015.

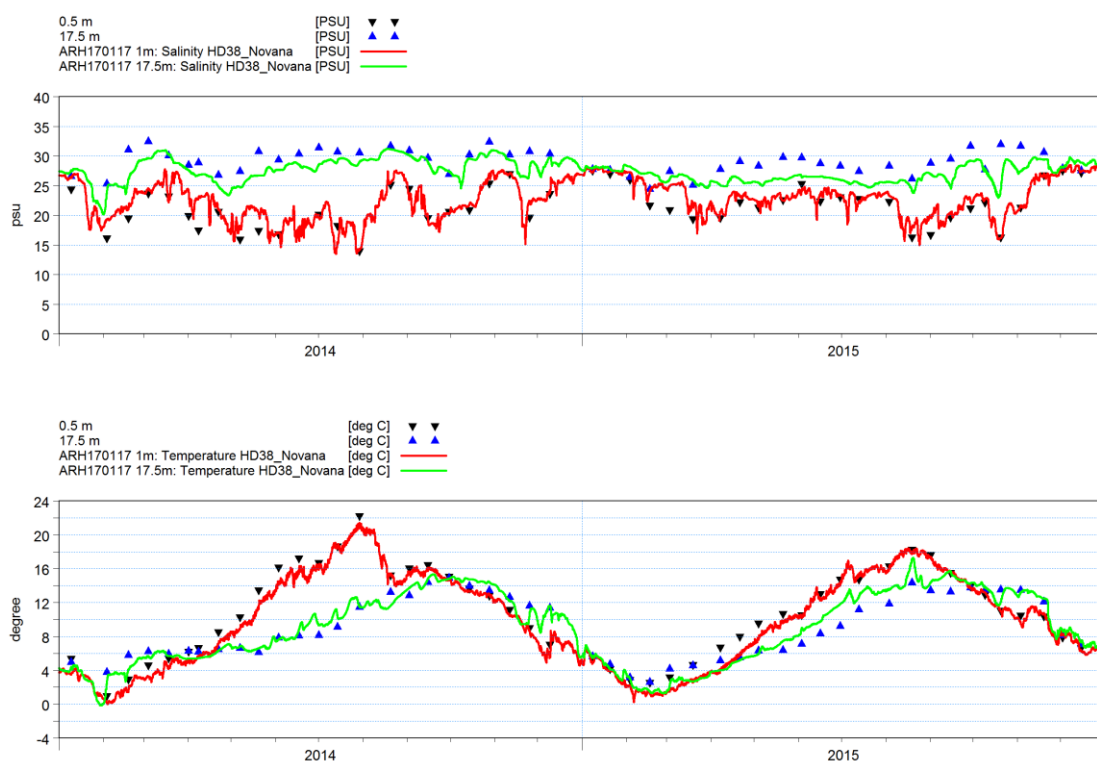
På Figur 3-1 er vist placeringer af et udvalg af overvågningsstationer i de danske farvande, og i denne rapport er der vist specifikke eksempler fra ARH170117, FYN6700053, VSJ20925 og KBH431, se Figur 3-2 til Figur 3-5.



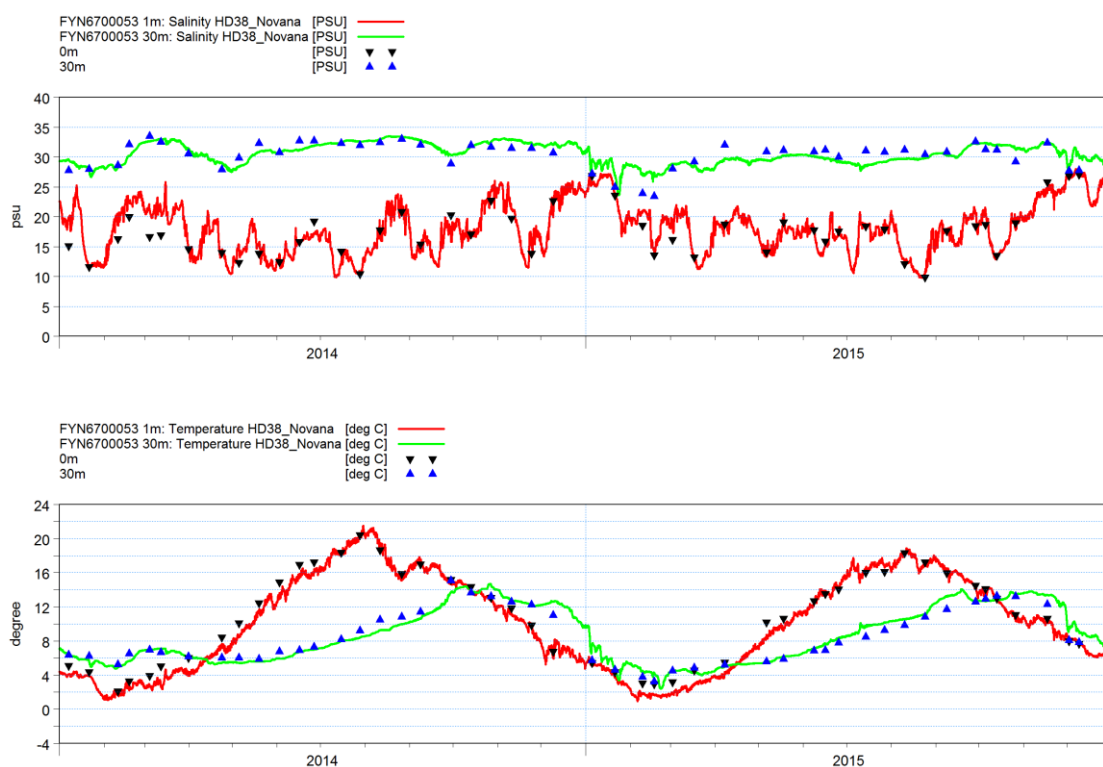
Figur 3-1 Placering af overvågningsstationer.

Som det fremgår af Figur 3-2 til Figur 3-5, er der god overensstemmelse mellem målinger og modelresultater for både salinitet og vandtemperatur. De overordnede forskelle mellem overfladeværdier og bundværdier gengives i modellen især i de åbne områder (VSJ20925), og i Bælthavet (FYN6700053 og KBH431), mens modellen ikke helt rammer niveauet for saliniteten i bundvandet på stationen i Århus Bugt (ARH170117).

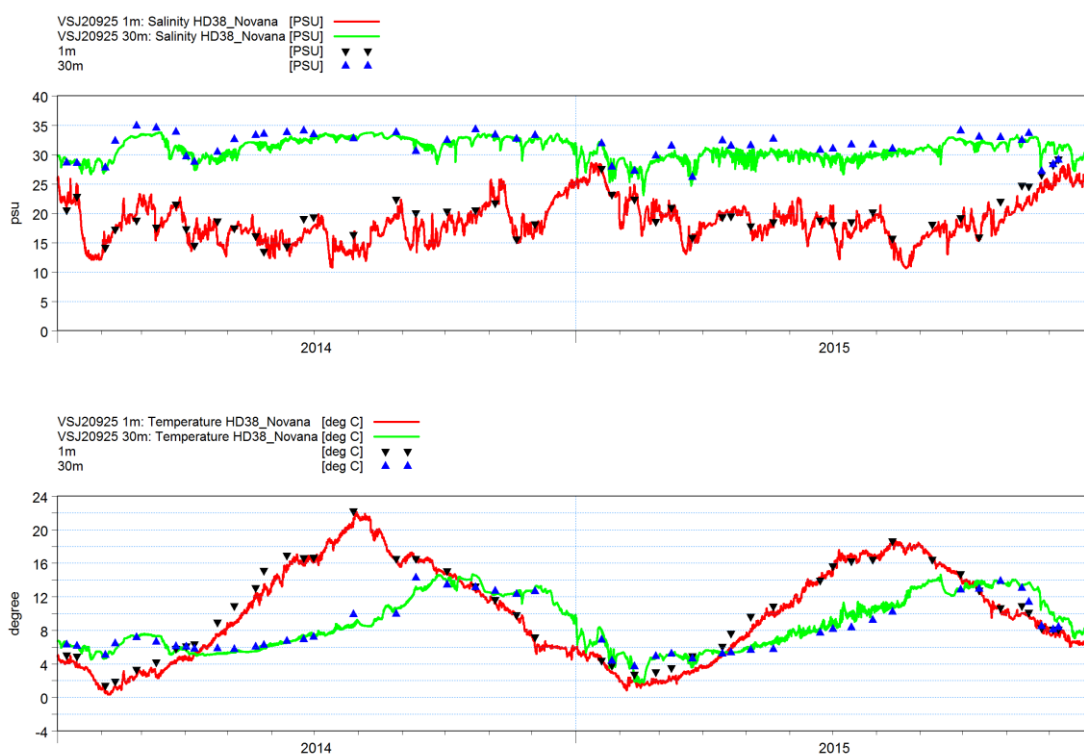
I udgangspunktet vurderes modellen derfor at have en kvalitet, der fremadrettet kan benyttes som supplement til eksempelvis havrapporten og dermed bidrage med en forståelse af de overordnede fysiske forhold, der indvirker på økosystemet og de vandkemiske parametre, der indgår i NOVANA-overvågningen.



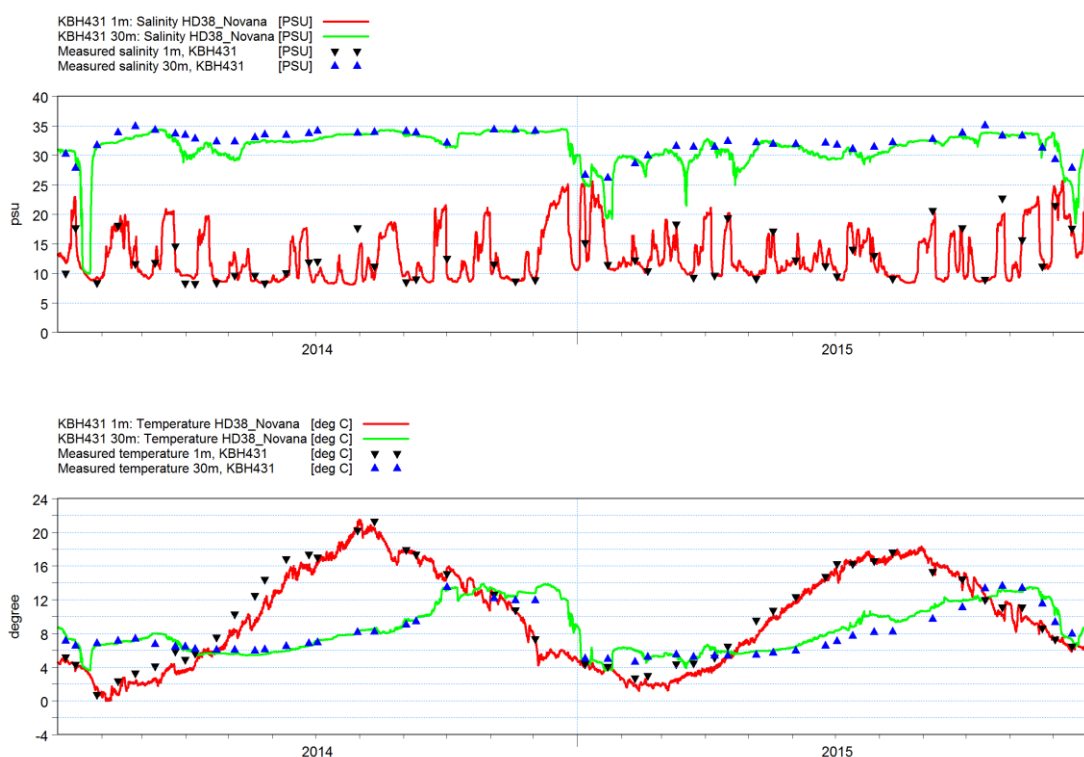
Figur 3-2 Modelleret og målt salinitet (øverst) og temperatur (nederst) på ARH170117. Blå trekanten viser målte værdier ved bunden, og sorte trekanten viser målte værdier i overfladen. Den grønne linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den røde linje viser de modellerede værdier i overfladen.



Figur 3-3 Modelleret og målt salinitet (øverst) og temperatur (nederst) på FYN6700053. Blå trekanten viser målte værdier ved bunden, og sorte trekanten viser målte værdier i overfladen. Den grønne linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den røde linje viser de modellerede værdier i overfladen.



Figur 3-4 Modelleret og målt salinitet (øverst) og temperatur (nederst) på VSJ20925. Blå trekanten viser målte værdier ved bunden, og sorte trekanten viser målte værdier i overfladen. Den grønne linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den røde linje viser de modellerede værdier i overfladen.



Figur 3-5 Modelleret og målt salinitet (øverst) og temperatur (nederst) på KBH431. Blå trekanten viser målte værdier ved bunden, og sorte trekanten viser målte værdier i overfladen. Den grønne linje viser de modellerede værdier ved bunden og den røde linje viser de modellerede værdier i overfladen.

3.1.1 Verifikation af den biogeokemiske model

Ud over den hydrodynamiske model, som kort er præsenteret ovenfor, er der afviklet en biogeokemisk model for 2014 og 2015. Opsætning og afvikling af den biogeokemiske model er identisk med den model, der er præsenteret i Erichsen og Timmermann 2017.

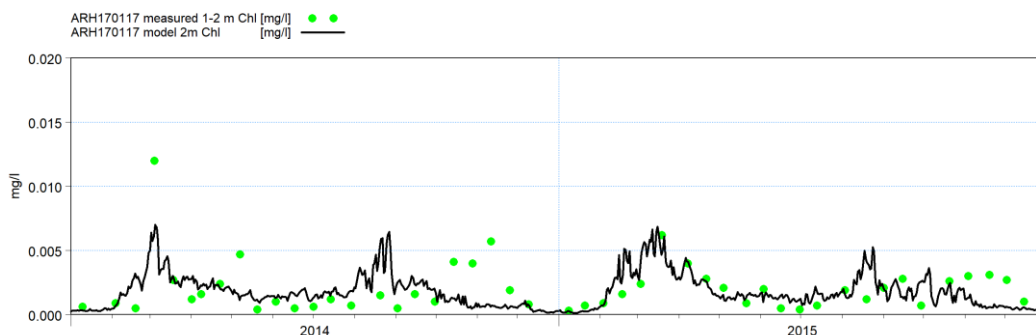
I det følgende er der præsenteret enkelte eksempler på modellerede koncentrationer af klorofyl-a, nitrit+nitrat (NO_x), opløst uorganisk fosfor (DIP), total kvælstof (TN), total fosfor (TP) for ARH170117 og FYN6700053, mens tilsvarende modelresultater fra KBH431 og VSJ20925 er vist i Bilag A.

3.1.1.1 Klorofyl-a

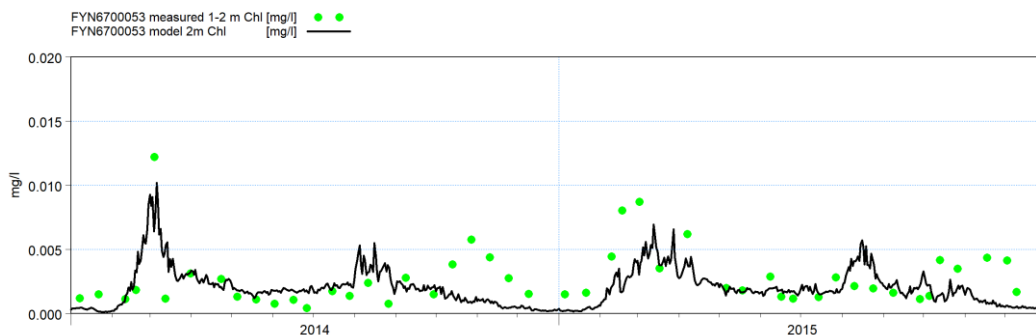
På Figur 3-6 og Figur 3-7 er vist målte og modellerede koncentrationer af klorofyl-a i overfladen og ved bunden for ARH170117 og FYN6700053, mens tilsvarende figurer for KBH431 og VSJ20925 er vist i Bilag A. Både målinger og modelresultater i overfladen viser en forårsopblomstring af varierende længde og maksimal koncentration – og modellen fanger forskellen i længden af forårsopblomstringen mellem de to år – mens den præcise timing ikke nødvendigvis er helt sammenfaldende for de modellerede og de målte data. Efter forårsblomsten både måles og modelleres lavere sommerniveauer.

Modellen viser en øget klorofyl-a koncentration i sensommeren, en øgning som ikke på samme måde er synlig i målingerne. Derimod viser målingerne en større klorofyl-a koncentration sidst på året, og her kan modellen ikke opretholde samme koncentrationsniveau.

I udgangspunktet arbejdes der på at forskel mellem målinger og model (BIAS) ikke overstiger 15% af de målte værdier over sommeren, mens det er mere problematisk at fastsætte præcise BIAS-mål under forårsblomsten, hvor timingen er afgørende.



Figur 3-6 Modellerede og målte koncentrationer af klorofyl-a på ARH170117. Grønne cirkler viser målte værdier i overfladen og den sorte linje viser de modellerede værdier.

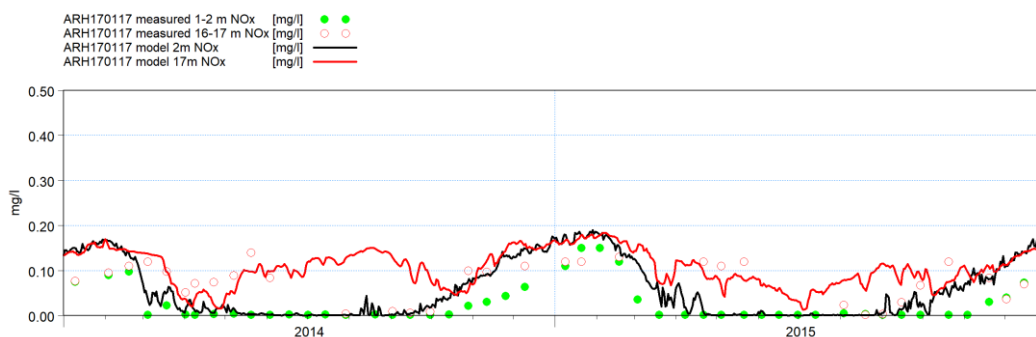


Figur 3-7 Modellerede og målte koncentrationer af klorofyl-a på FYN6700053. Grønne cirkler viser målte værdier i overfladen og den sorte linje viser de modellerede værdier.

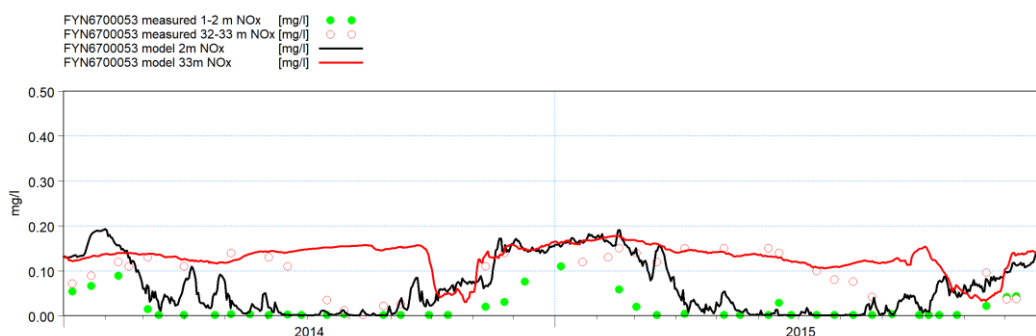
3.1.1.2 Nitrit+nitrat (NO_x)

På Figur 3-8 og Figur 3-9 er vist målte og modellerede koncentrationer af nitrit+nitrat (NO_x) i overfladen og ved bunden for ARH170117 og FYN6700053, mens tilsvarende figurer for KBH431 og VSJ20925 er vist i Bilag A. I overfladen viser både målinger og model, at NO_x reduceres over sommeren, mens koncentrationerne i vintermånederne ligger mellem 0,1 mg/l og 0,2 mg/l. Modellen overestimerer koncentrationerne i overfladen om vinteren, hvilket naturligvis forventes at have betydning for forårsblomsten. Der er ikke analyseret på effekten i nærværende projekt.

I bundvandet viser model og målinger nogenlunde det samme forløb vinter og forår, mens modellens koncentrationer i sommermånederne og det tidlige efterår er overestimerede, hvilket sandsynligvis påvirker vinterkoncentrationerne i overfladen, som er overestimerede. I en eventuel fortsættelse af projektet i 2018 skal denne problemstilling adresseres.



Figur 3-8 Modellerede og målte koncentrationer af nitrat på ARH170117. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.



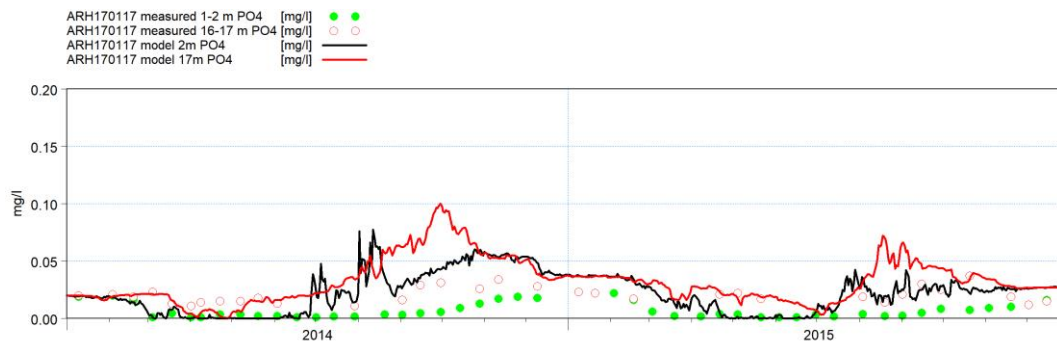
Figur 3-9 Modellerede og målte koncentrationer af nitrat på FYN6700053. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

3.1.1.3 Opløst fosfor (DIP)

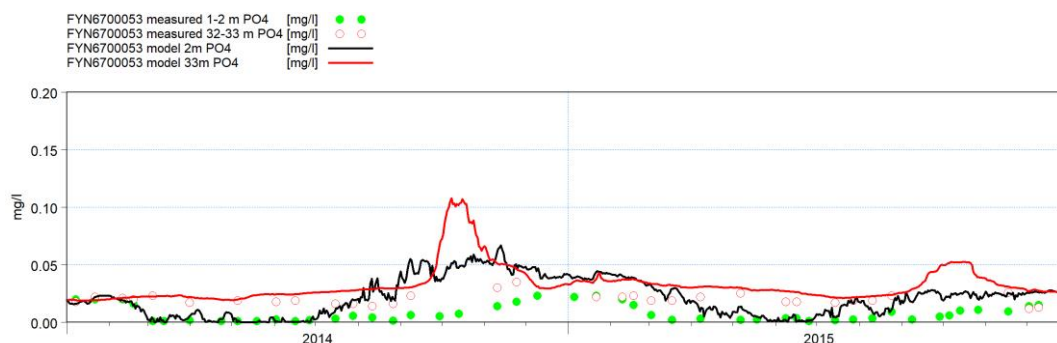
På Figur 3-10 og Figur 3-11 er vist målte og modellerede koncentrationer af opløst uorganisk fosfor (DIP) i overfladen og ved bunden for ARH170117 og FYN6700053, mens tilsvarende figurer for KBH431 og VSJ20925 er vist i Bilag A. Som for NO_x viser både målinger og model, at DIP reduceres over sommeren, mens koncentrationerne øges i vintermånederne.

I bundvandet viser model og målinger det samme forløb vinter og forår, mens modellens koncentrationer i både overflade- og bundvand i sommer og efterår er voldsomt overestimerede.

DIP er tæt koblet til sedimentets indhold af jern-bundet fosfor, og i modellen er frigivelsen fra sedimentet for voldsom. De overestimerede DIP-koncentrationer er også fremhævet som en del af den internationale evaluering (Herman *et al.* 2017), og en forbedret modellering af DIP vil også være et fokuspunkt fremadrettet.



Figur 3-10 Modellerede og målte koncentrationer af DIP på ARH170117. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

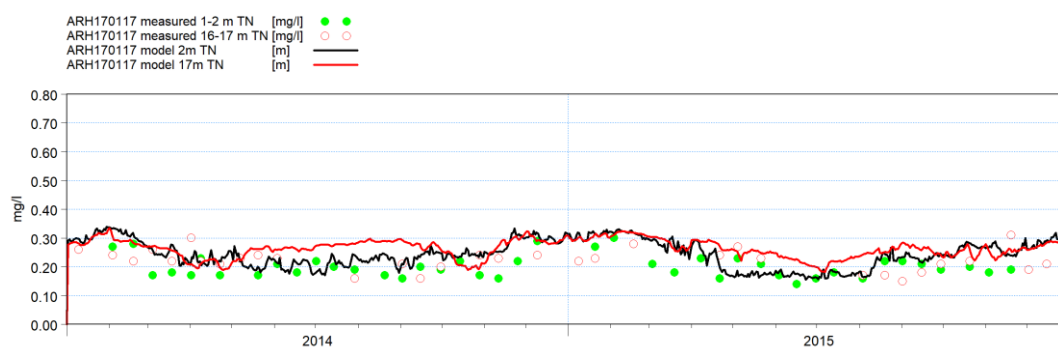


Figur 3-11 Modellerede og målte koncentrationer af DIP på FYN6700053. Blå trekanten viser målte værdier ved bunden, og sorte trekanten viser målte værdier i overfladen. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

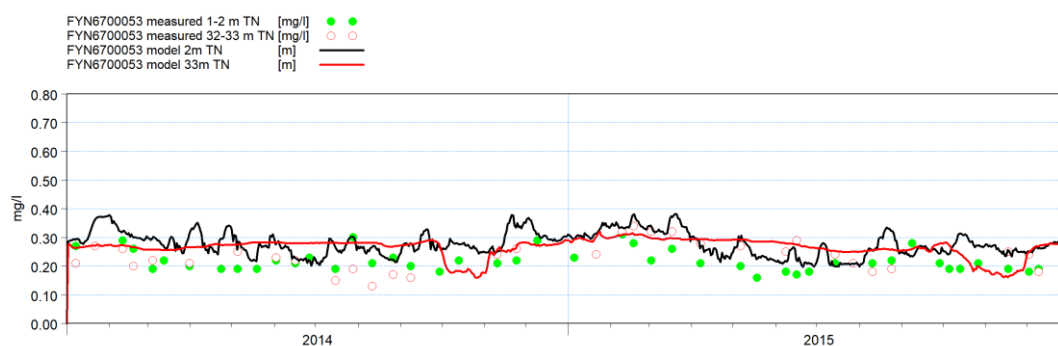
3.1.1.4 Total kvælstof (TN)

På Figur 3-12 og Figur 3-13 er vist målte og modellerede koncentrationer af total N^1 (TN) i overfladen og ved bunden for ARH170117 og FYN6700053, mens tilsvarende figurer for KBH431 og VSJ20925 er vist i Bilag A. Både målinger og model udviser nogen sæsonvariation med svagt reducerede TN-koncentrationer over sommeren og forhøjede koncentrationer om vinteren. De modellerede koncentrationer i overfladen er mere sammenfaldende med målinger end de modellerede koncentrationer i bundvandet, hvilket sandsynligvis hænger sammen med de overestimerede koncentrationer af NO_x , se beskrivelse ovenfor.

¹ Der er sandsynligvis en afvigelse i analysemetoder ift. TN målingerne som omfatter 2014 og 2015. I denne rapport er dette ikke inddraget og der henvises til det service eftersyn som AU er i gang med at udarbejde for MST.



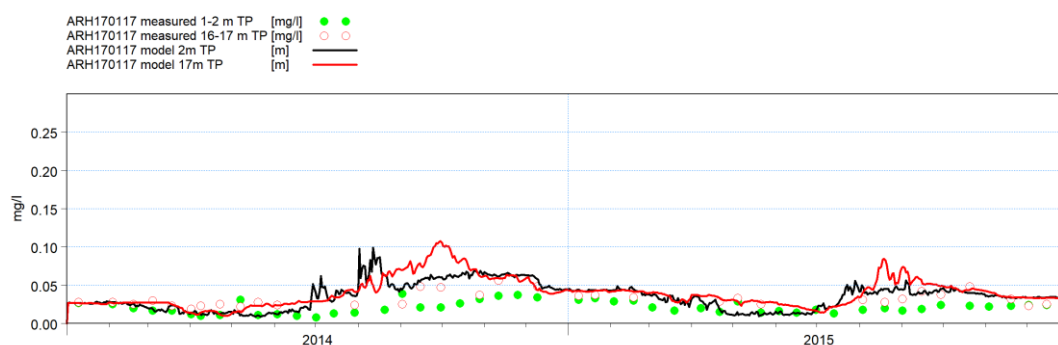
Figur 3-12 Modellerede og målte koncentrationer af TN på ARH170117. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.



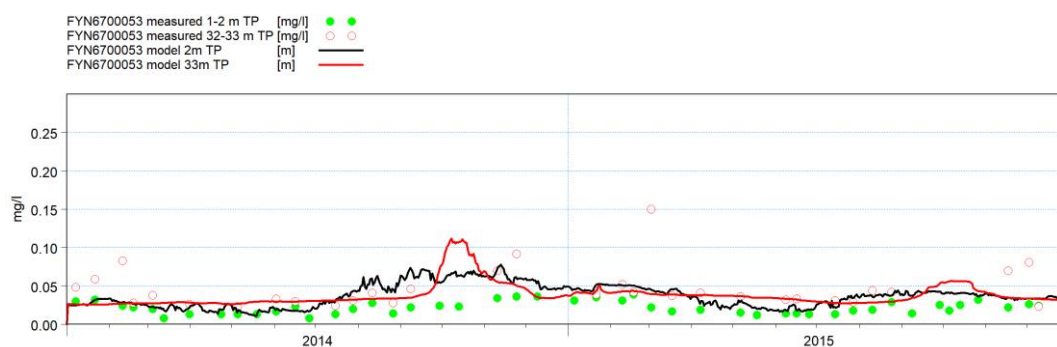
Figur 3-13 Modellerede og målte koncentrationer af TN på FYN6700053. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

3.1.1.5 Total fosfor (TP)

På Figur 3-14 og Figur 3-15 er vist målte og modellerede koncentrationer af total P (TP) i overfladen og ved bunden for ARH170117 og FYN6700053, mens tilsvarende figurer for KBH431 og VSJ20925 er vist i Bilag A. Der observeres sæsonvariationer i både de modellerede koncentrationer og de målte koncentrationer af TP, men variationerne er overestimerede i modellen, hvilket hænger sammen med de ovenfor beskrevne forskelle mellem målt og modelleret DIP.



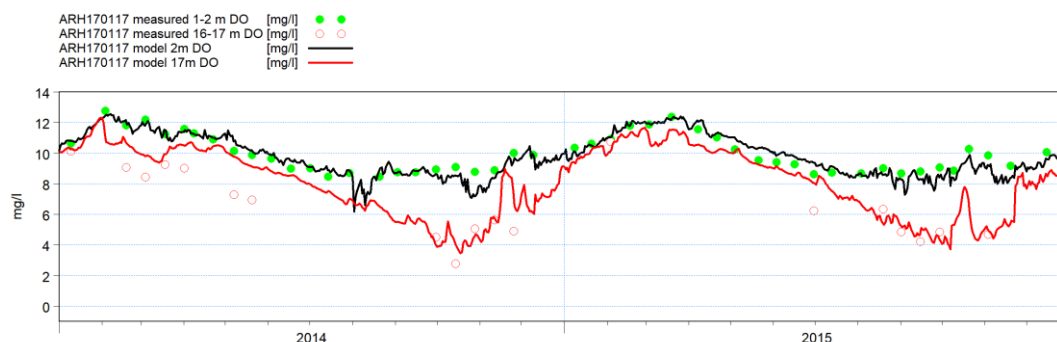
Figur 3-14 Modellerede og målte koncentrationer af TP på ARH170117. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.



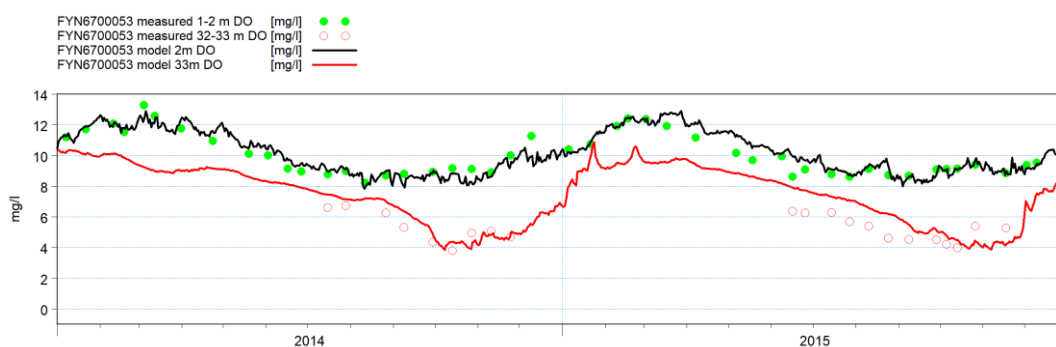
Figur 3-15 Modellerede og målte koncentrationer af TP på FYN6700053. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

3.1.1.6 Ilt

På Figur 3-16 og Figur 3-17 er vist målte og modellerede koncentrationer af ilt i overfladen og ved bunden for ARH170117 og FYN6700053, mens tilsvarende figurer for KBH431 og VSJ20925 er vist i Bilag A. Som det fremgår af figurerne, er der stort sammenfald mellem de målte og de modellerede koncentrationer af ilt i overfladen og til dels også ved bunden. På nogen stationer er der en tidlig forskydning især i foråret og den tidlige sommer, hvor modellen er 'forsinket'. Men det ser ud til, at de laveste niveauer, som er af størst økologiske betydning, beskrives relativt præcist i modellen.



Figur 3-16 Modellerede og målte koncentrationer af ilt på ARH170117. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.



Figur 3-17 Modellerede og målte koncentrationer af ilt på FYN6700053. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

3.2 Hydrodynamisk og biogeokemisk modellering af 2014 og 2015

Som beskrevet i introduktionen (se afsnit 1) har det første delmål været at afvikle modellen for de indre danske farvande for 2014 og 2015. Dette har til formål at etablere et grundlag for en vurdering af, hvordan modelresultater fremadrettet evt. kan inddrages som en del af tilstandsvurderinger og som supplement til den årlige havrapport.

Modellerne er nu afviklet, og overordnet set viser modelresultaterne god overensstemmelse med de målte fysiske parametre (salinitet og vandtemperaturer), mens der for den biogeokemiske model er identificeret forskelle mellem de målte og de modellerede data, som skal analyseres nærmere fremadrettet.

4 Metode til anvendelse af modelresultater i tilstandsvurderinger

Som nævnt indledningsvist (afsnit 1) er der ved tilrettelæggelse af det nye NOVANA-overvågningsprogram for 2017-21 forudsat, at der for åbne vandområder, der overvåges i mindre omfang, leveres årlige modelgenererede værdier for klorofyl-a til brug for den næstkommende vandområdeplan (VOP III). Som forberedelse til VOP III er der således behov for at udvikle en metodik, som anviser, hvordan resultater fra en årlig modelkørsel kan kombineres med målinger med henblik på at kvalificere tilstandsvurderinger.

Historisk set er målinger tidligere benyttet til at beskrive trends med det formål at vurdere udviklingen i eutrofieringstilstanden i de forskellige lokalområder. Med vandrammedirektivet (VRD) og havstrategidirektivet (HSD) er der imidlertid kommet fokus på de absolutte værdier i et helt vandområde, da det er de enkelte absolutte værdier, der afgør tilstanden i et vandområde. Derfor er der opstået et behov for at kunne ekstrapolere målinger i både tid og rum for at opnå det bedst mulige grundlag for tilstandsvurderinger.

Den eksisterende monitoring er ikke nødvendigvis målrettet mod denne opgave – overvågningsstationer kan historisk være placeret forskellige steder af andre hensyn end at give det mest repræsentative gennemsnit for det enkelte vandområde. I dag er der derfor ingen garanti for, at det eksisterende stationsnet i alle tilfælde udgør det optimale grundlag for tilstandsvurderinger.

Modeller benyttes typisk til at kvantificere effekter af forskellige administrative og/eller fysiske reguleringer i et vandområde. Styrken i modellerne ligger i at kunne beskrive de relative ændringer i eksempelvis koncentrationen af klorofyl-a på baggrund af eksempelvis ændringer i næringsstofftilførsler. Der er endnu ingen – eller kun få – eksempler i verden på, at modeller indgår som en integreret del af overvågningen af marine vandområder.

Der er i Danmark en ambition om at integrere modeller og målinger på et højere niveau, end det foregår i dag. Som det fremgår i ovenstående afsnit er der stadig et udviklingsbehov for at forbedre modellerne, men nedenfor er mulighederne alligevel vurderet for at benytte modeldata sammen med målinger med henblik på at interpolere målinger i tid og rum.

4.1 Tidslig interpolering

I første omgang er det analyseret, om det bidrager med større viden hvis målinger suppleres med den tidlige information fra modeller fremfor at benytte målinger alene. På de mest centrale kystnære overvågningsstationer i de indre danske farvande foretages målinger hver anden uge. Selv i et relativt dynamisk farvand som de danske farvande giver målinger med den frekvens en relativt høj tidslig opløsning, og det vurderes, at de fleste signifikante hændelser (opblomstringer) fanges (dog langt fra altid toppen). Men der er eksempler på, at forårsopblomstringer eller toppen og udstrækningen af dem ikke altid fanges med den nuværende frekvens.

Derfor er det i dette projekt undersøgt, om modelresultater (her benævnt 'MIKE') kan benyttes sammen med målinger for derigennem at give en mere nuanceret tidslig interpolation. Til denne del af opgaven er anvendt modelresultater fra 2002-2011 (se Erichsen & Timmermann 2017 for nærmere beskrivelse) for at have så stort et datasæt som muligt, og de indledende analyser har været fokuseret på én station i Aarhus Bugt (ARH170117) benyttet i IDF-modellen og én station i Limfjorden (Løgstør Bredning, 3708-1)².

² Limfjordsmodellen indgår ikke i nærværende projekt, men for at sikre en bredere analyse i denne rapport er modelresultaterne fra én station i Limfjorden alligevel inddraget her.

4.1.1 Beskrivelse af indikatorer

Til denne del benyttes en model-metode som i dag allerede benyttes til 'normalisering' af målinger som en del af de årlige havrapporter. Metoden er beskrevet nærmere i /1/.

For at vurdere, om der kan opnås en forbedret tidslig beskrivelse af de enkelte indikatorer/støtteparametre ved at benytte den tidslige variation fra modellerne (baseret på punktmålinger sammenfaldende med målingerne) sammen med målinger, er der opstillet fire modeller:

- Model A: Standardindikator fra havrapporten: $X_{ijk} = \mu + \text{month}_i + \text{year}_j + e_{ijk}$

Model A beskriver variationer i de målte overvågningsdata ud fra en overordnet middelværdi (μ), 12 månedsmidler (month_i), og år-til-år variationer (year_j). Variationer ud over dem, som beskrives med en fast sæsonvariation, som kan forskydes mellem år, er residualvariation. Den tidslige variation i indikatoren baseret på X_{ijk} beregnes ud fra μ og year_j , idet der integreres over alle måneder (month_i).

- Model B: Beskrivelse af middelværdien med ren MIKE-simulering: $X_{ijk} = \mu_{\text{MIKE}(t)} + \text{BIAS} + e_{ijk}$

Model B tager udgangspunkt i den mekanistiske model (MIKE) til beskrivelse af middelværdien for overvågningsdata. De modeldata, der benyttes her og i de efterfølgende modeller, er punktdata udtrykt og interpoleret i tid til det præcise tidspunkt, som målingen er foretaget. Efterfølgende bestemmes en konstant BIAS (dvs. den gennemsnitlige forskel mellem måling og model). Residualvariationen e_{ijk} er den variation, som ikke kan forklares ved MIKE forskudt med en BIAS estimeret ud fra data.

- Model C: Beskrivelse af middelværdien med MIKE-simuleringer og årsvariation: $X_{ijk} = \mu_{\text{MIKE}(t)} + \text{year}_j + e_{ijk}$

Model C er en udvidelse af Model B, hvor BIAS ikke er konstant over hele perioden, men kan variere fra år til år. Der tages altså højde for, at MIKE ikke rammer lige præcist alle år.

- Model D: Fuld kombination af indikator og MIKE model: $X_{ijk} = \mu_{\text{MIKE}(t)} + \text{month}_i + \text{year}_j + e_{ijk}$

Model D er en udvidelse af Model C, hvor BIAS også kan variere med et fast sæsonmønster. Model D modsvarer derfor Model A med den ene forskel, at i Model A er middelværdien konstant over hele perioden, hvorimod middelværdien er erstattet af prædiktionen fra MIKE i Model D. Model D vil forventeligt være bedre end Model B og C, men forskellen mellem disse tre modeller afhænger af, hvor god MIKE er til at prædiktere sæsonvariationer og år-til-år variationer.

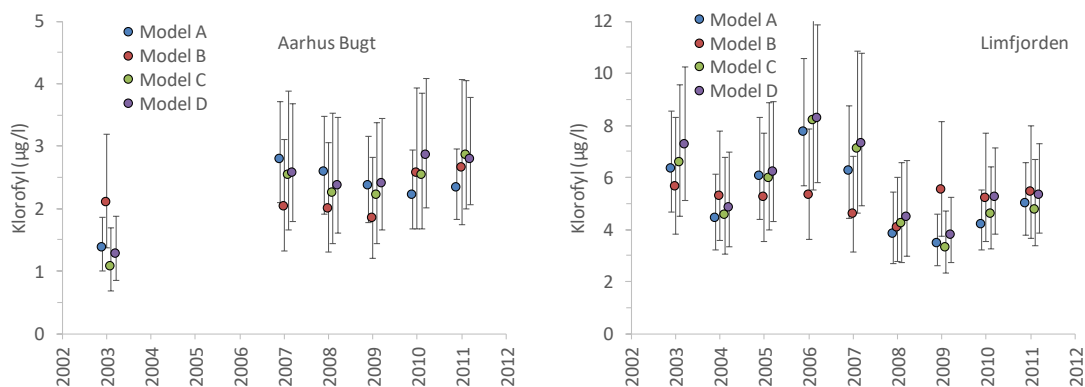
Med de beskrevne modeller foretages en sammenligning af målte overvågningsdata og de tilhørende modellerede resultater, hvilket betyder, at variationer i målinger og modeller skal matche for overvågningstidspunkterne for at give den mest optimale beskrivelse. I det følgende præsenteres resultaterne af de fire forskellige modeller. Det skal bemærkes, at alle 4 modeller er bestemt på log-transformerede målinger af klorofyl og næringsstoffer, idet disse variable typisk har større måleusikkerhed ved højere værdier.

4.1.2 Resultater

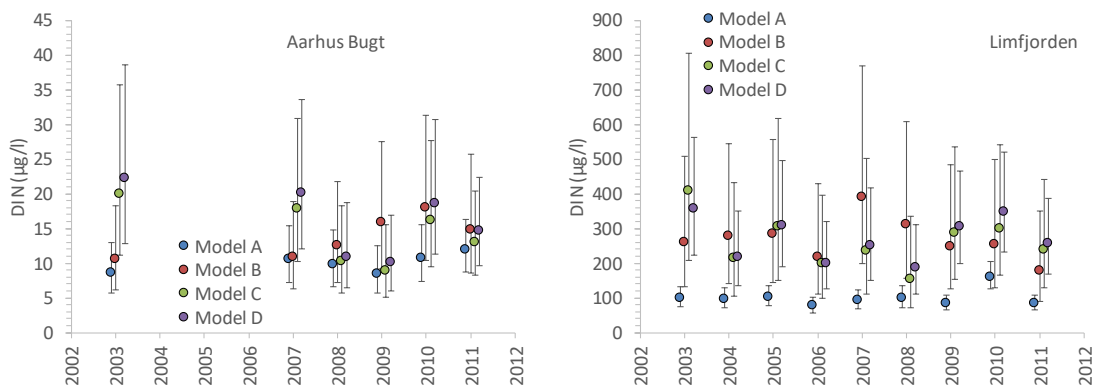
På Figur 4-1 til Figur 4-5 er vist resultaterne per år for de enkelte modeller, mens tidserier fra de enkelte modeller og overvågningsstationer er inkluderet i Bilag A. I Bilag A vises både resultater fra overflade og bund, mens der i det følgende udelukkende analyseres på resultater fra overfladen.

På Figur 4-1 til Figur 4-5 er resultaterne af de enkelte modeller vist. Model A er altså en relativt simpel model, og en model, som i dag allerede benyttes i havrapporterne til at beskrive udviklingen over tid, mens model D på forhånd forventes at være den model, som vil give det bedste estimat under inddragelse af modelresultater.

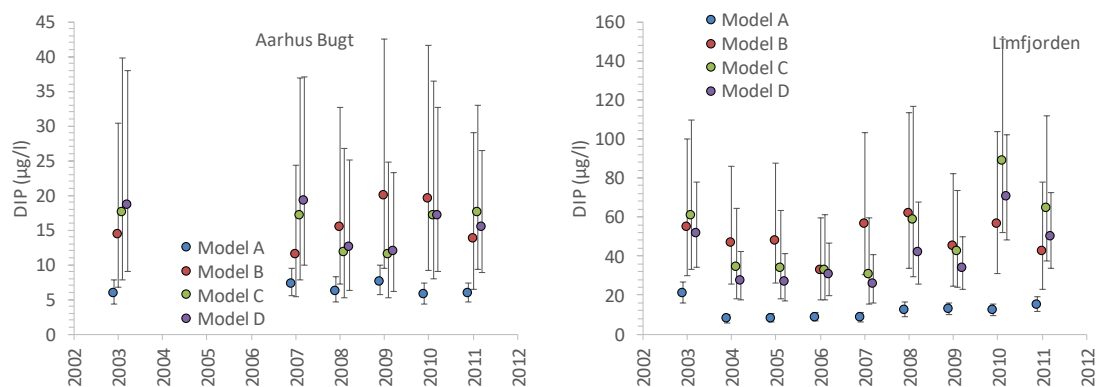
Det skal understreges, at denne analyse er foretaget med målinger og samtidige modelresultater, og der er ikke inddraget viden fra modellen om variationer mellem måletidspunkter. Dermed får den præcise 'timing' af eventuelle hændelser/variationer stor betydning. Som en næste skridt i denne her sammenhæng henvises til dataassimilering, dvs. at modelresultater løbende tilpasses de målte data. Dataassimilering er et centralt forskningsområde, som både DHI og AU deltager i under innovationsprojektet SeaStatus (<http://seastatus.dhigroup.com/>).



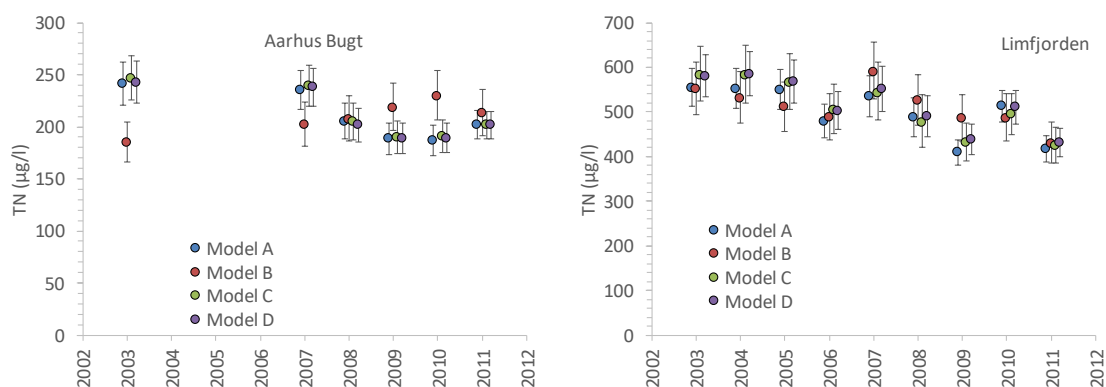
Figur 4-1 Estimat af indikatoren klorofyl-a i Aarhus Bugt (venstre) og Limfjorden (højre) for de fire forskellige modeller.



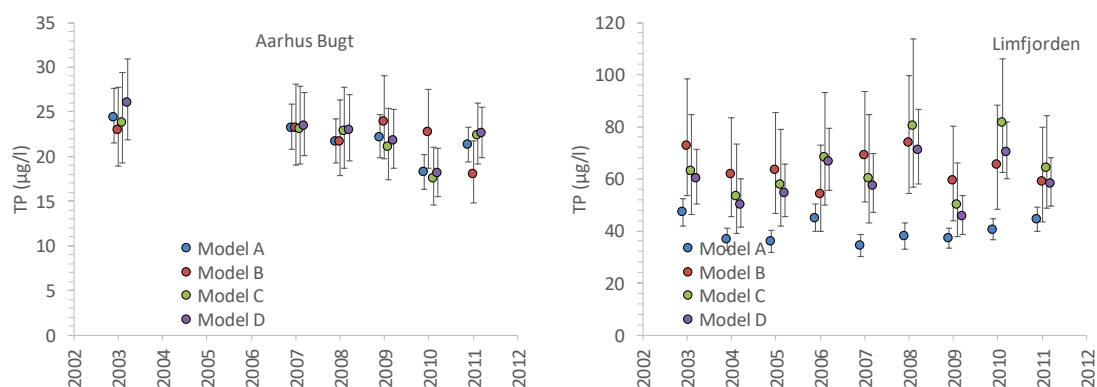
Figur 4-2 Estimat af støtteparameteren DIN i Aarhus Bugt (venstre) og Limfjorden (højre) for de fire forskellige modeller.



Figur 4-3 Estimat af støtteparameteren DIP i Aarhus Bugt (venstre) og Limfjorden (højre) for de fire forskellige modeller.



Figur 4-4 Estimat af støtteparameteren TN i Aarhus Bugt (venstre) og Limfjorden (højre) for de fire forskellige modeller.



Figur 4-5 Estimat af støtteparameteren TP i Aarhus Bugt (venstre) og Limfjorden (højre) for de fire forskellige modeller.

Udover resultaterne vist i ovenstående figurer er standardafvigelsen for residualerne (e_{ijk}) for de fire modeller bestemt, se Tabel 4-1. I udgangspunktet er det modellen med den laveste residual-standardafvigelse, som er den 'bedste' model. Af tabellen fremgår det entydigt, at Model A har de mindste residual-standardafvigelser, hvilket indikerer, at resultater beregnet med en relativt simpel model og en model, som allerede benyttes i havrapporterne til at beskrive udviklingen

over tid, beskriver overvågningsdata bedre, end hvis MIKE-simuleringerne benyttes til tidslig interpolation.

Overordnet ser det altså ud til, at introduktion af MIKE-modelresultater (med nuværende kalibrering) øger variationen af data og dermed usikkerheden på en eventuel tilstandsvurdering.

Tabel 4-1 Residual-standardafvigelsen, dvs. $\text{StDev}(e_{ijk})$ i modelbeskrivelsen (se afsnit 4.1.1). Røde tal indikerer den mindste residual-standardafvigelse.

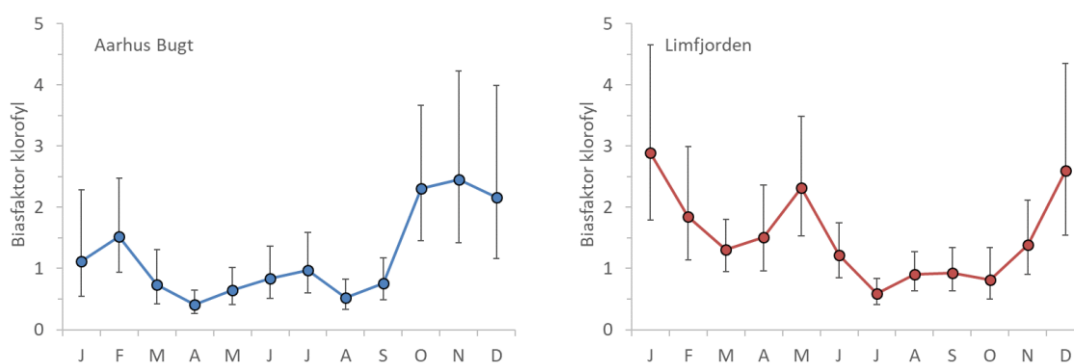
Område	Variabel	Model A	Model B	Model C	Model D
Aarhus Bugt	Chla	0.641	0.994	0.973	0.817
Aarhus Bugt	DIN	0.869	1.296	1.258	1.151
Aarhus Bugt	DIP	0.624	1.770	1.774	1.493
Aarhus Bugt	TN	0.182	0.244	0.187	0.173
Aarhus Bugt	TP	0.246	0.451	0.430	0.343
Limfjorden	Chla	0.792	1.022	0.999	0.910
Limfjorden	DIN	0.709	1.773	1.771	1.184
Limfjorden	DIP	0.675	1.593	1.585	1.091
Limfjorden	TN	0.201	0.284	0.278	0.214
Limfjorden	TP	0.296	0.795	0.793	0.455

4.1.3 Systematiske afvigelser

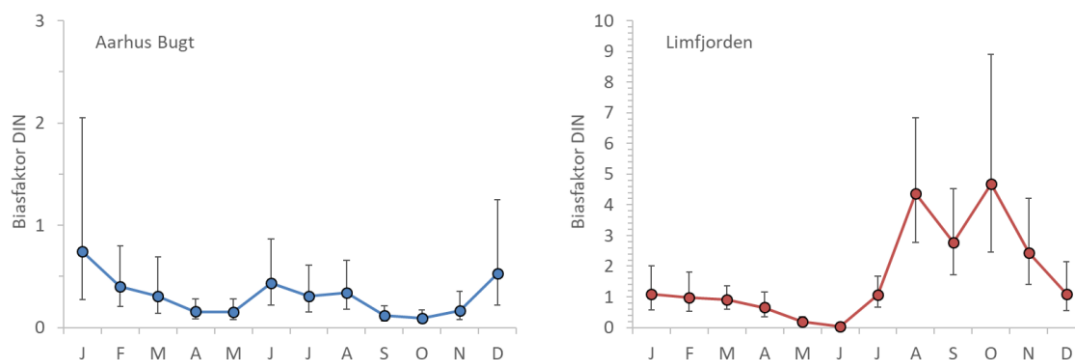
Som en opfølgning på ovenstående analyse er der foretaget en analyse af, om der er systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger. Denne analyse er foretaget ved at pulje alle afvigelser mellem modelresultater og målinger fra de to overvågningsstationer måned for måned, og på Figur 4-6 til Figur 4-10 er resultaterne af denne analyse vist.

Bemærk, at data er normaliseret, så faktoren 1 betyder, at der ikke er systematiske afvigelser, mens en faktor > 1 betyder, at modellen underestimerer i forhold til målingerne, mens en faktor < 1 betyder, at modellen overestimerer i forhold til målingerne. Tidsserier af modelresultater og målinger er i Bilag A.

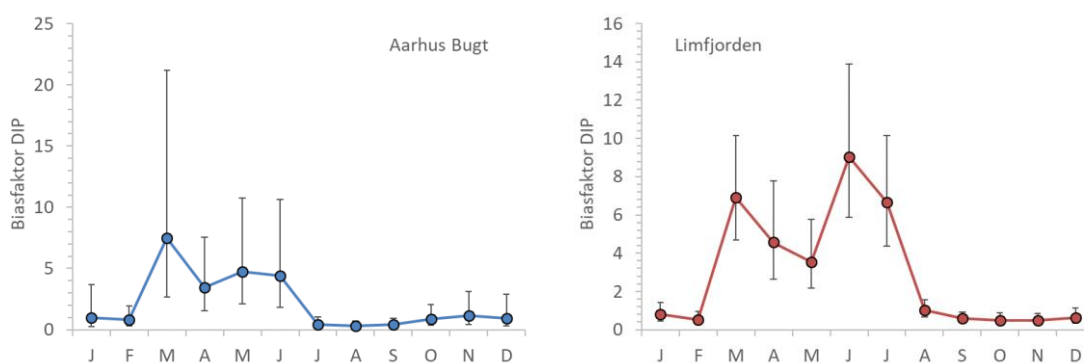
Bemærk, at data, der indgår i denne analyse, dækker perioden 2002-2011, mens data vist på figurerne i forrige afsnit dækker 2014 og 2015. Det betyder, at der kan være forskelle mellem konklusionerne fra forrige afsnit og analyserne i dette afsnit. Derudover dækker resultaterne i dette afsnit både én station i IDF-modellen, og én station i Limfjordsmodellen, hvor alle resultater i forrige afsnit stammer fra IDF-modellen.



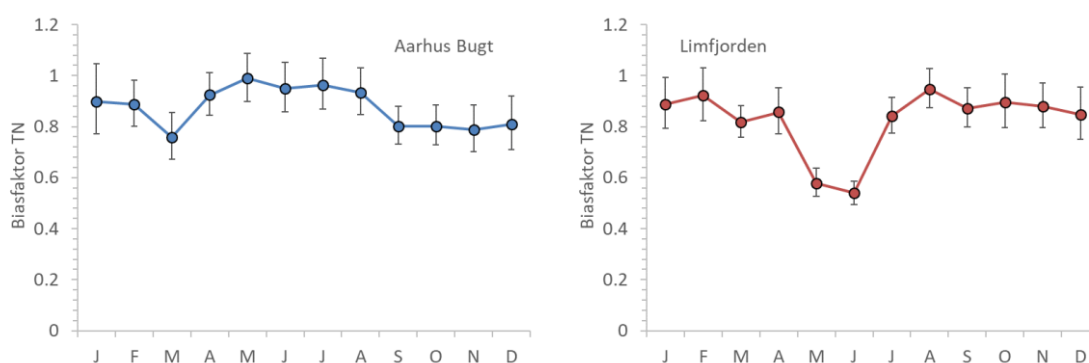
Figur 4-6 Analyse af systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger for klorofyl-a i Aarhus Bugt (ARH170117) og Limfjorden (3708-1).



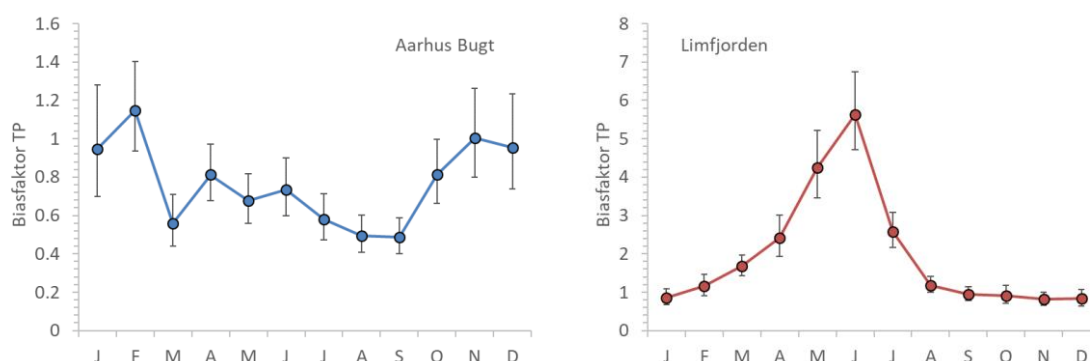
Figur 4-7 Analyse af systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger for DIN i Århusbugt (ARH170117) og Limfjorden (3708-1).



Figur 4-8 Analyse af systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger for DIP i Aarhusbugt (ARH170117) og Limfjorden (3708-1).



Figur 4-9 Analyse af systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger for TN i Aarhus Bugt (ARH170117) og Limfjorden (3708-1).



Figur 4-10 Analyse af systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger for TP i Aarhus Bugt (ARH170117) og Limfjorden (3708-1)

4.1.4 Konklusion

I ovenstående analyse er det vurderet, hvorvidt modelresultater kan integreres med målinger efter samme princip som beskrevet i /1/ og dermed forbedre datagrundlaget for at beskrive den tidlige udvikling mellem målingerne. Den umiddelbare konklusion på denne analyse er, at det ikke er tilfældet med de modeller, som er afviklet over mange år uden nogen form for tilpasning til målinger undervejs. Ved at integrere disse modelresultater og målinger introduceres faktisk mere variation og dermed større usikkerhed på en eventuel tilstandsvurdering end ved brug af den relativt simple model, der i dag allerede benyttes i havrapporterne til at beskrive udviklingen over tid. Denne analyse kan ændres med forbedrede modeller og/eller ved at introducere dataassimilering.

Det hører dog med til denne analyse, at modelresultater og målinger udelukkende vurderes på de tidspunkter, hvor der er foretaget målinger, og dermed betyder den præcise timing af modelresultaterne forholdsvis meget. Dette er dog ikke hele forklaringen på afvigelserne mellem modelresultater og målinger, da der også er systematiske afvigelser, som ikke kan forklares med dette. Derudover er der også forskel på det vandvolumen, som sammenlignes, idet målingen repræsenterer et mindre vandvolumen (en prøveflaske på 1-2 liter), mens modelresultaterne repræsenterer et volumen på 45.000 m³ til 125.000 m³.

Der er også gennemført en analyse af eventuelle systematiske afvigelser mellem modelresultater og målinger, som viser, at der er systematiske afvigelser for en række parametre på de to undersøgte overvågningsstationer. De systematiske afvigelser varierer mellem stationer, parametre og tidspunkt på året. Disse afvigelser kan dels skyldes forskel i timing, dels gradienter i området, hvor modelresultater ikke nødvendigvis repræsenterer det samme vandvolumen som overvågningsstationen. De systematiske afvigelser vil fremadrettet blive benyttet til at vurdere, hvor og hvordan modellen kan optimeres frem mod VOP III.

De mekanistiske modeller, som indgår i analysen i dette afsnit, er afviklet for perioden 2002-2011. Modellen beskriver altså udviklingen over 10 år, uden at resultaterne på noget tidspunkt korrigeres/assimileres med målinger. Modellerne er i stedet opstillet og afviklet med henblik på at gengive de overordnede udviklinger og sæsonmæssige variationer i målingerne. Dette er en helt klassisk modeltilgang, og denne type modeller benyttes oftest til afviklinger af modelscenarier. I denne analyse af, om modellen med fordel vil kunne supplere målingerne, er konklusionen, at det ikke umiddelbart er tilfældet. DHI, AU og MST indgår på nuværende tidspunkt i et innovationsprojekt (<http://seastatus.dhigroup.com/>), hvor dataassimilering, dvs. det at modelresultater løbende tilpasses de målte data, er et centralt forskningsområde. Forhåbningen er, at dataassimilerede resultater kan forbedre den tidlige interpolation og dermed tilstandsvurderingerne.

4.2 Rumlig ekstrapolering

En anden, og måske mere oplagt, brug af modelresultater sammen med målinger, er at kombinere den modellerede variation i et vandområde med de eksisterende målinger og derigennem estimere en parameterværdi, som er mere repræsentativ for vandområdet end en værdi alene baseret på overvågningsdata. Denne metode blev også benyttet under forberedelserne til VOP II. Derudover er der også åbne vandområder helt uden måledata, hvor modellerede data kan udnyttes, fx ved brug af områdegennemsnit og evt. relationer til målte og modellerede resultater for naboområder.

Det er ikke i denne rapport vurderet, om IDF-modellen kan benyttes til at forbedre den rumlige interpolation; men det anbefales, at dette vil blive vurderet fremadrettet. Eksempelvis er der (DHI 2018) afprøvet en metode, hvor modelresultater af klorofyl-a (koncentrationer og variationskoefficienter) blev benyttet til at vurdere, hvilke stationer der bedst repræsenterer hvilke områder (similaritetsanalyse).

Modelresultater viser, at der er vandområder, hvor der er forskel på den modellerede koncentration af klorofyl-a i et punkt (overvågningsstation) og det modellerede områdegennemsnit. I Erichsen & Timmermann 2017 viser en overordnet analyse en forskel på modelresultaterne på de enkelte overvågningsstationer (både IDF- og lokalmodeller) og det vandområdespecifikke gennemsnit på 17% for klorofyl-a (StDev = 24%), mens de tilsvarende forskelle i de åbne farvande er noget lavere (5%; StDev = 6%).

Modelresultaterne indikerer derfor, at det potentielt vil være fordelagtigt at anvende et korrigeret vandområdegennemsnit ved tilstandsvurderinger. For at komme videre med en eventuel rumlig interpolation anbefales det derfor at foretage en nærmere analyse af gradienter i modellen, som sammenholdes med målinger.

5 Årlig afvikling af marine modeller til understøttelse af marin NOVANA-rapportering

Med udgangspunkt i modelresultater fra 2014 og 2015 foruden konklusionerne fra den indledende workshop (se Bilag B) og det arbejdspapir, som DHI efterfølgende fremsendte, se Bilag C, vises i nedenstående afsnit eksempler på de resultater, som eventuelt kan indgå som input til fremtidige havrapporter.

I dette afsnit er der lagt vægt på de delbeskrivelser, som på nuværende tidspunkt forventes at kunne have værdi for den fremadrettede havrapportering. I arbejdet med at bearbejde modeldata og i de efterfølgende workshops har det vist sig, at behov for data og forklaringer vil variere fra år til år og være afhængigt af, hvilke biogeokemiske forhold der ikke alene lader sig forklare af de målinger, som allerede er til rådighed gennem NOVANA.

I det følgende er præsenteret nogle modeldata, som potentielt kan øge forståelsen af målinger og forskelle mellem årene.

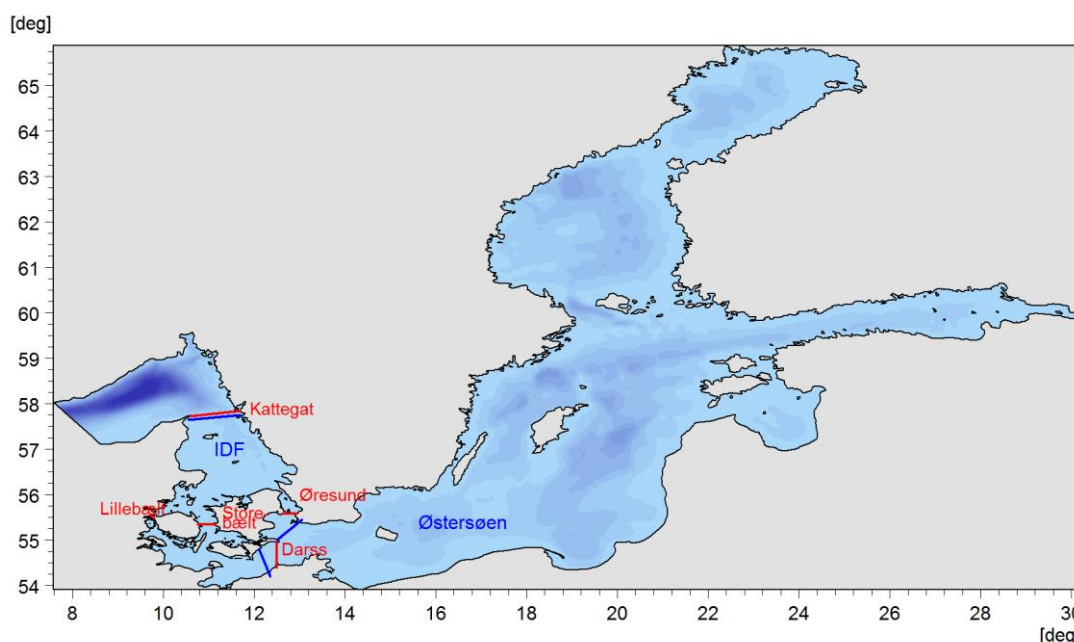
5.1 Modeldata fra fysisk model

Som beskrevet i Bilag C er der i det følgende vist eksempler fra IDF-modellen på massebudgetter (Q), Østersø-indbrud (Major Baltic Inflows og Minor Baltic Inflows) og stratificering af vandsøjlen.

I udgangspunktet er der udtrukket modeldata med henblik på at se på forskelle mellem år, som forventes at have betydning for koncentrationen af ilt i bundvandet. Disse forskelle er i udgangspunktet beskrevet ud fra massebudgetter (Q), Østersø-indbrud (Major Baltic Inflows og Minor Baltic Inflows) og stratificering/lagdeling.

I Tabel 5-2 er vist en oversigt over de overordnede massebudgetter af vand (Q) og salt. Som det fremgår af tabellen, løber der netto omkring 500 km³ ud af Østersøen per år, dette stemmer overens med værdier oplyst i litteraturen [7].

Der er til gengæld stor forskel på salt-transporterne mellem årene, da der i 2014 transporteres knapt 2×10⁹ tons salt ind i området, mens der transporteres ca. samme mængde ud året efter. En stor del af det salt, der transporteres ind i Østersøen, løber gennem Storebælt og Øresund, mens der er en nettotransport af salt ud gennem Lillebælt.



Figur 5-1 Stregerne angiver de forskellige linjer, som benyttes i Tabel 5-2. Røde streger udgør linjer, som der er foretaget transportberegninger over, mens blå streger udgør afgrænsninger, hvor der er foretaget massebudget beregninger.

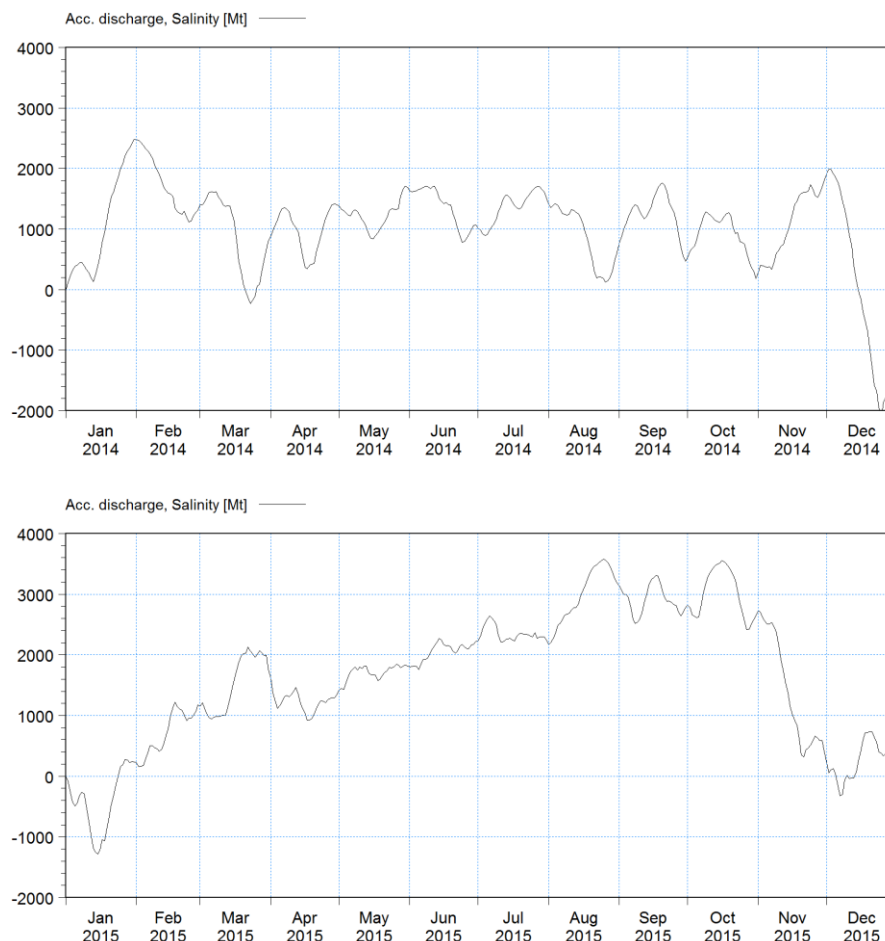
Tabel 5-2 Eksempel på massebudgetter (netto) for vand (Q) og salt for hele Østersøen samt for delområder. Tallene i den blå sektion er beregnet på baggrund af et massebudget for Østersøen, tallene i den lyserøde sektion er fra transportlinjerne med samme navn og de grønne tal er fra massebudgettet for IDF (inkl. vand fra Nordsøen) (se Figur 5-1 for de forskellige linjer og navne). Positive tal betyder en nettotransport ud af området, mens negative tal betyder nettotransport ind i området.

		2014		2015	
		Vand	Salt	Vand	Salt
		(km ³)	(1e9 ton)	(km ³)	(1e9 ton)
Østersøen	Floder	470	0	468	0
	Nedbør/fordampning	18	0	26	0
	Transport ved Arkona	487	-1.9	503	2.1
IDF	Øresund	228	-0.7	211	0.7
	Darss	259	-1.1	296	1.3
	Storebælt	220	-2.3	255	0.9
	Lillebælt	44	0.8	45	0.9
	Vandløb, Limfjorden	50	0.2	51	0.3
	Nedbør/fordampning	3	0	6	0
	Transport ved Skagen	543	-2	556	3

På Figur 5-3 vises den tidlige variation af salttransporten over Darss-tærsklen angivet som akkumuleret transport. Mens der i 2014 var en relativt neutral salttransport det meste af året, var der i 2015 en tendens til en transport ud af Østersøen gennem det meste af året.

I slutningen af 2014 ses en relativt pludselig transport af salt ind i Østersøen. Dette er et såkaldt "Major Baltic Inflow" som også er beskrevet i <https://www.io-warnemuende.de/baltic-inflow-of-december-2014.html>.

I forhold til den årlige havrapportering er de større Østersø-indbrud af salt potentielt interessante, men derudover viser figuren også en række mindre inflows gennem det meste af året på måske 1.000 M tons salt, og frekvensen og størrelsen af disse har en betydning for iltindholdet i eksempelvis Arkona-bassinet. Derfor vil viden om disse indbrud potentielt kunne bidrage til beskrivelsen af udviklingen af ilt ved bunden i dette område.

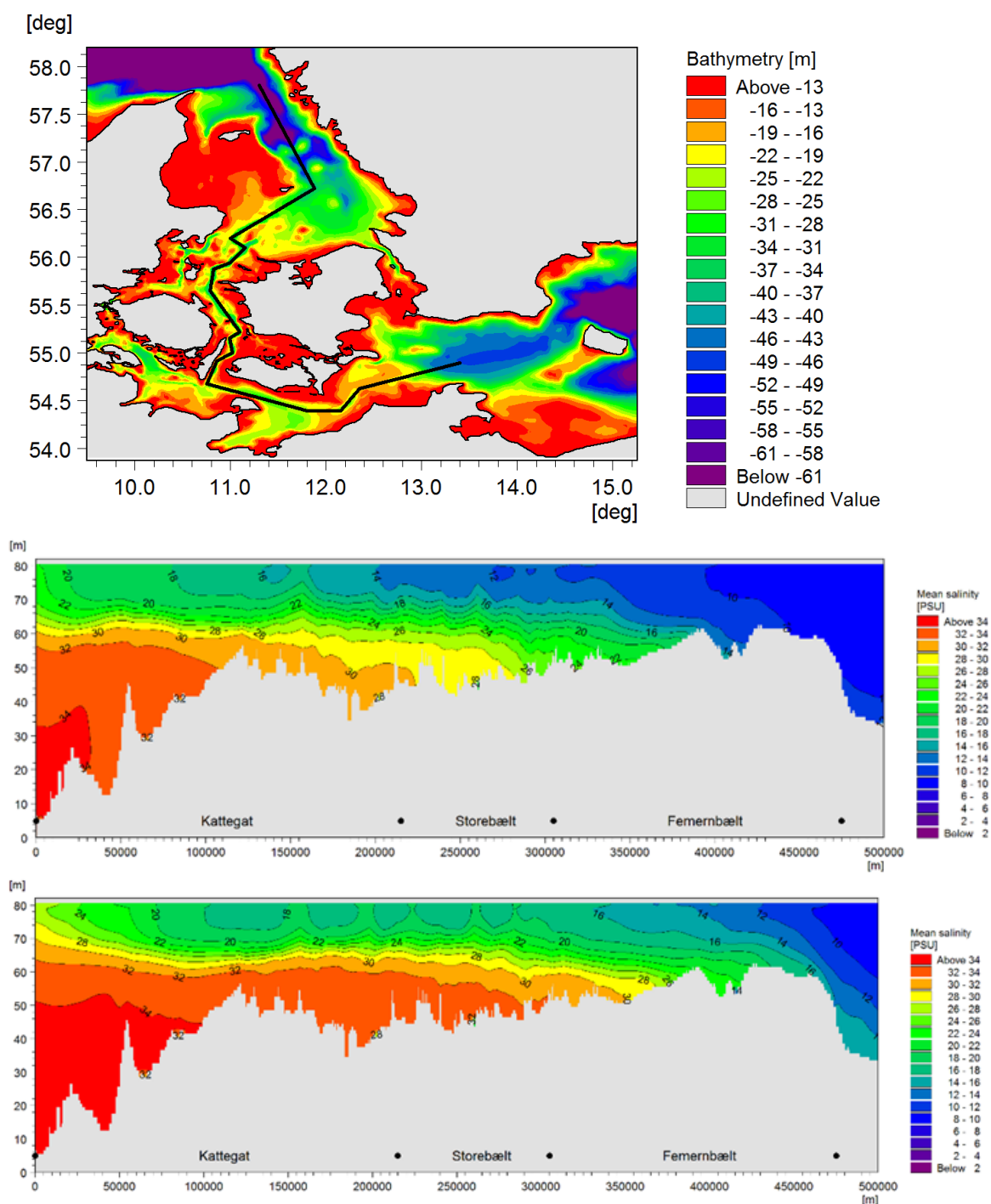


Figur 5-3 Akkumuleret salttransport over Darss-tærsklen for 2014 (øverst) og 2015 (nederst). Perioder, hvor kurven er stigende, betyder akkumuleret transport ud af Østersøen, mens perioder, hvor kurven er faldende, betyder transport af salt ind i Østersøen.

I Bælthavet, og især i Storebælt, vil en modelleret beskrivelse af stratificering og transport af saltholdigt vand fra Skagerrak potentielt kunne forklare nogle variationer i iltkoncentrationer mellem år.

I Figur 5-4 er vist et transekt af salt begyndende i den nordlige del af Kattegat og med afslutning omkring Arkona Bassinet (august begge år).

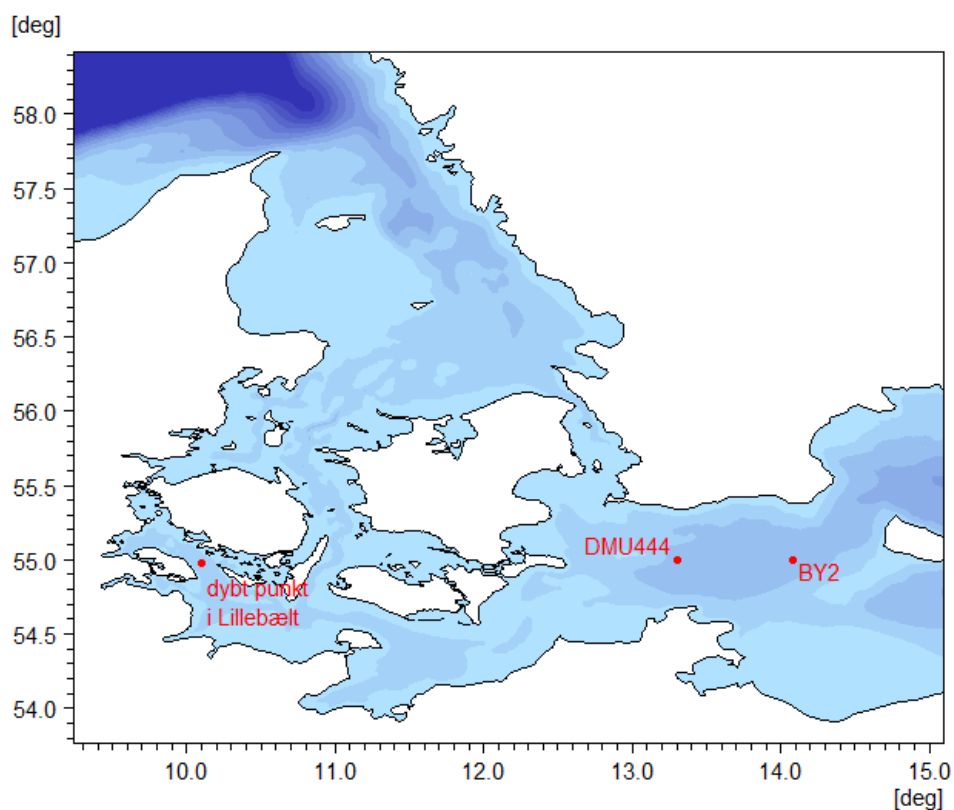
Der er tydelig forskel mellem de to år, og i 2015 når det salte bundvand væsentligt længere ind i Storebælt sammenlignet med 2014.



Figur 5-4 Stratificering (salinitet) for august 2014 (midt) og august 2015 (nederst) langs transekt (øverste figur) fra den nordlige grænse af Kattegat gennem Storebælt til Arkona Bassinet.

5.2 Modeldata fra biogeokemisk model

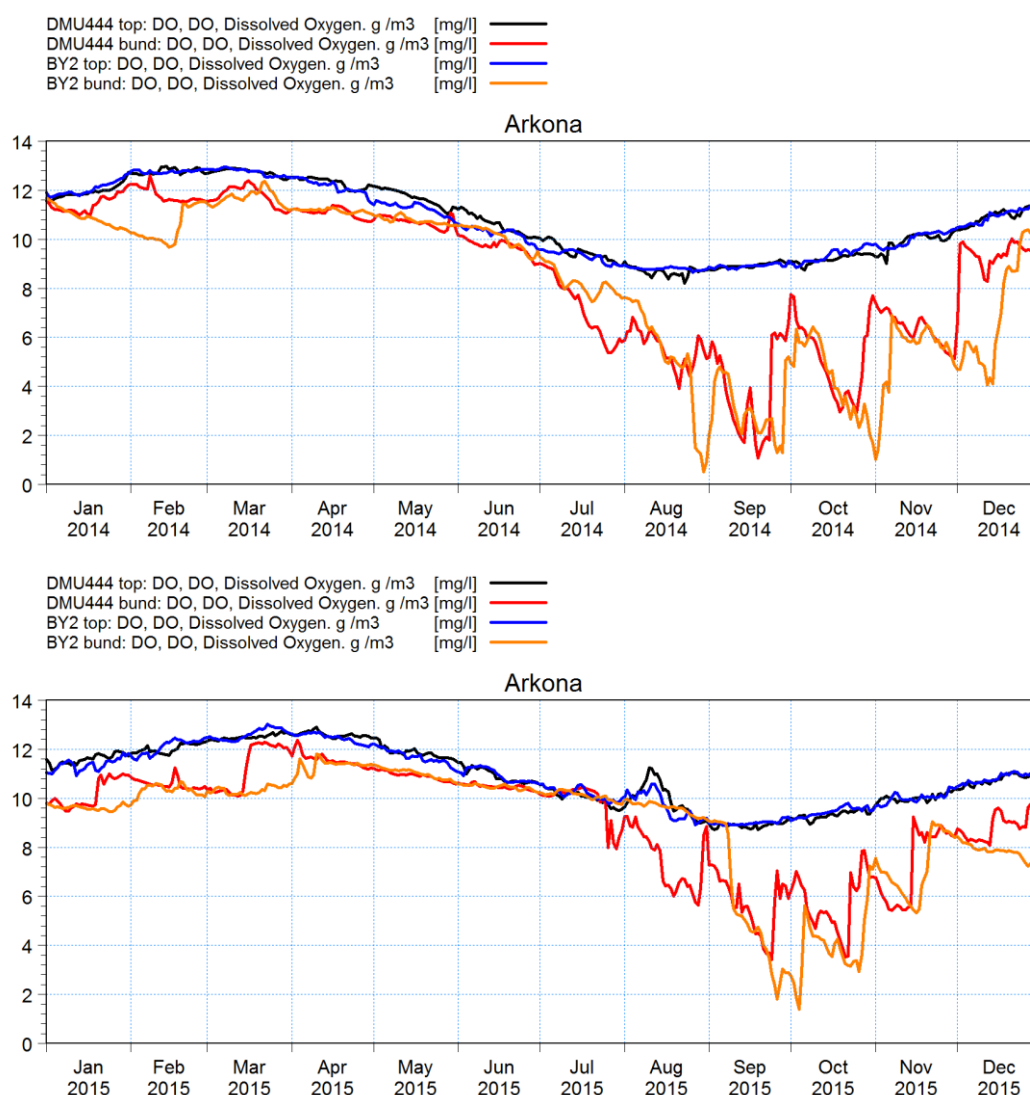
For at eksemplificere nogle af de ovenstående analyser er der i Figur 5-6 til Figur 5-8 inkluderet modellerede koncentrationer af iltkoncentrationer omkring Arkona Bassinet og i det sydlige Lillebælt. De respektive modelresultater er vist på lokaliteter, hvor der i dag også er monitoringsstationer, se Figur 5-5.



Figur 5-5 Modelresultater fra lokaliteter, hvor der i dag også er monitoringsstationer. DMU444 og BY2 benyttes her som indikation på koncentrationerne i Arkona Bassinet.

Som det fremgår af Figur 5-6, sam-varierede de modellerede koncentrationer af bundilt på de to monitoringsstationer DMU444 og BY2. De generelle 'spring' i iltkoncentrationer gennem sensommeren skyldes de indstrømninger (transport af salt ind i Østersøen) afbildet i Figur 5-3. Derudover fremgår det af Figur 5-6, at der med visse markante undtagelser går nogle dage, måske op til en uge eller mere, før de 'spring', der ses på station DMU444, når frem til BY2.

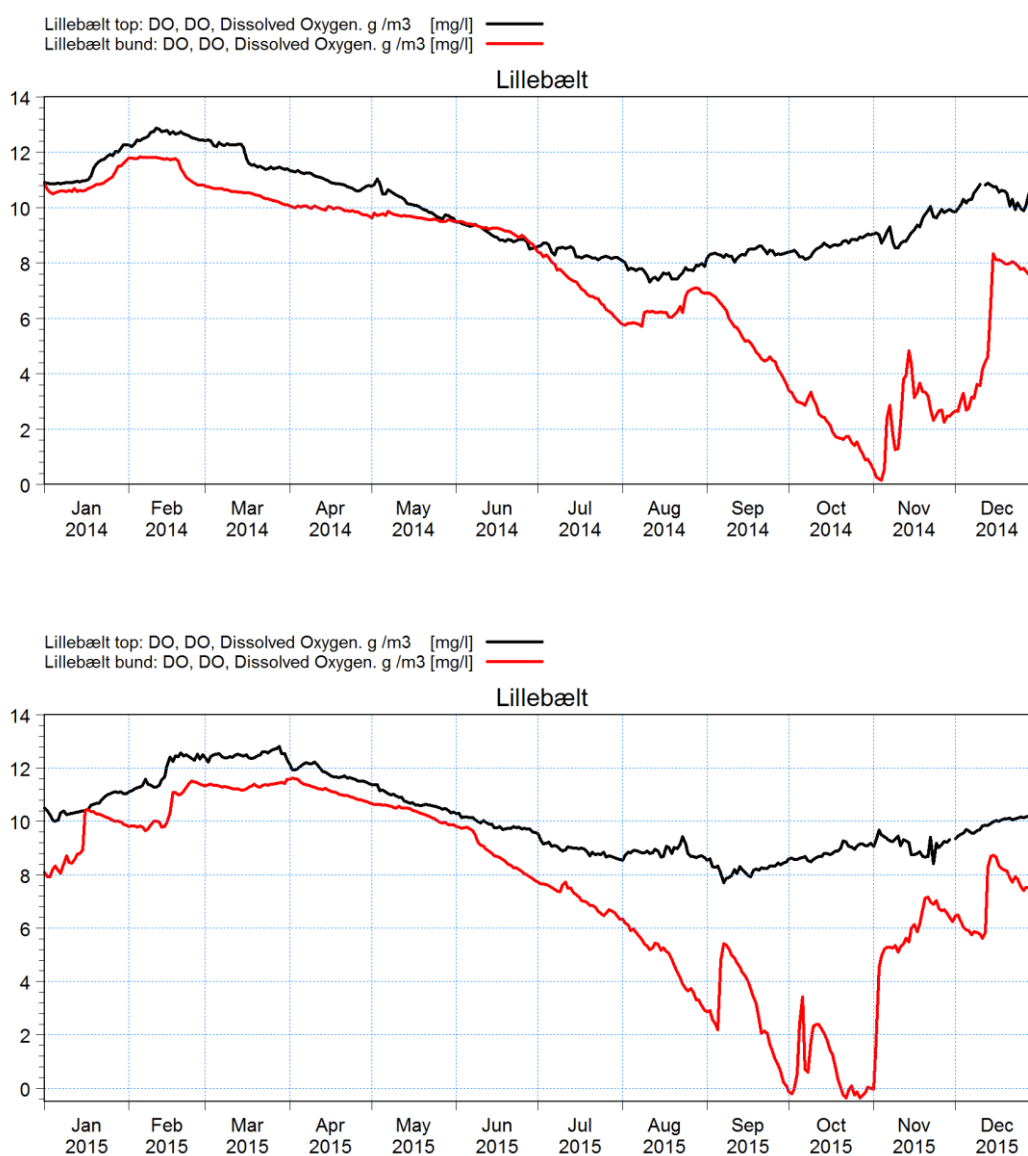
Figuren viser også, at der var lidt større variation i 2014 end i 2015, og at modellen beskriver mindre iltsvind i 2015 end i 2014. Sammenlignet med iltsvindsrapporterne for de samme år kunne dette godt være tilfældet (iltsvindsrapporter kan findes her: <http://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/havet/havmiljoe/iltsvind/>). Modellen indikerer også, at der er lange perioder over sommeren, hvor der ikke er iltsvind, og at der skal relativt præcise målinger (timing) til at fange alle hændelser.



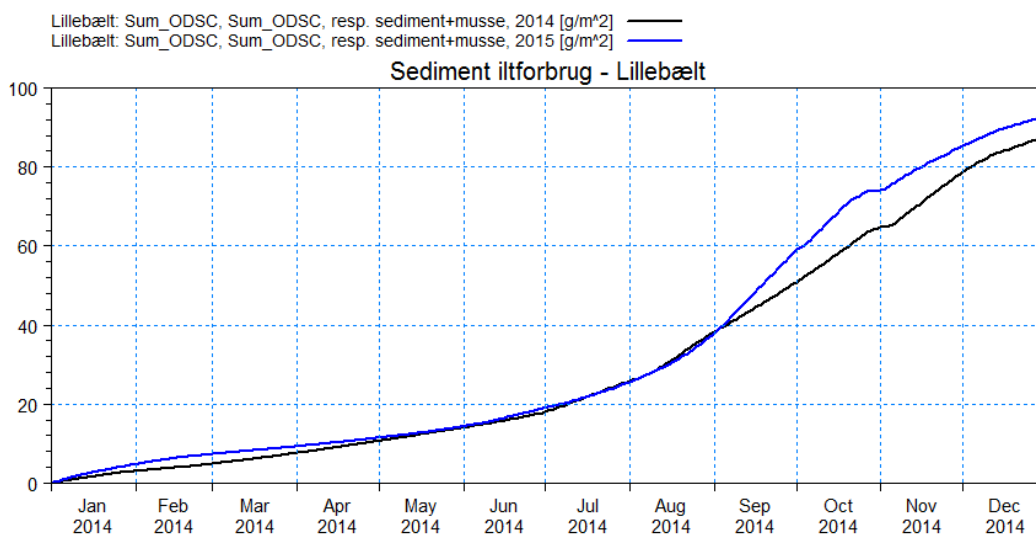
Figur 5-6 Modellerede koncentrationer af ilt i overfladen (blå og sorte linjer) og ved bunden (rød og orange linjer) i 2014 (øverst) og 2015 (nederst). Sort og rød linje er data fra DMU444, mens blå og orange linje er data fra BY2. Modeldata er sammenlignet med målinger i Bilag A.4.

Figur 5-7 viser modellerede iltkoncentrationer i overfladen og ved bunden i et punkt i den dybere del af det sydlige Lillebælt i 2014 og 2015. Modellen viser også her forskelle mellem de to år, men i modsætning til Arkona Bassinet ser det ud til, at iltvindet var større i 2015 end i 2014. Det fremgår af Figur 4-8, at det modellerede iltforbrug i sedimentet i Lillebælt var større i 2015 sammenlignet med 2014 hovedsageligt forårsaget af et større iltforbrug i september.

Der er ikke foretaget en nærmere analyse af forskellene mellem de to år, og det er ikke entydigt det samme billede, som er rapporteret i iltvindsrapporterne, som dog ikke beskriver iltvindets udvikling for den specifikke station anvendt i modelleringen. Der er således indikationer på, at denne slags analyser måske med fordel kunne supplere den årlige havrapportering.



Figur 5-7 Modellerede koncentrationer af ilt i overfladen (sorte linje) og ved bunden (rød linje) på et centralt punkt i det sydlige Lillebælt i 2014 (øverst) og 2015 (nederst).



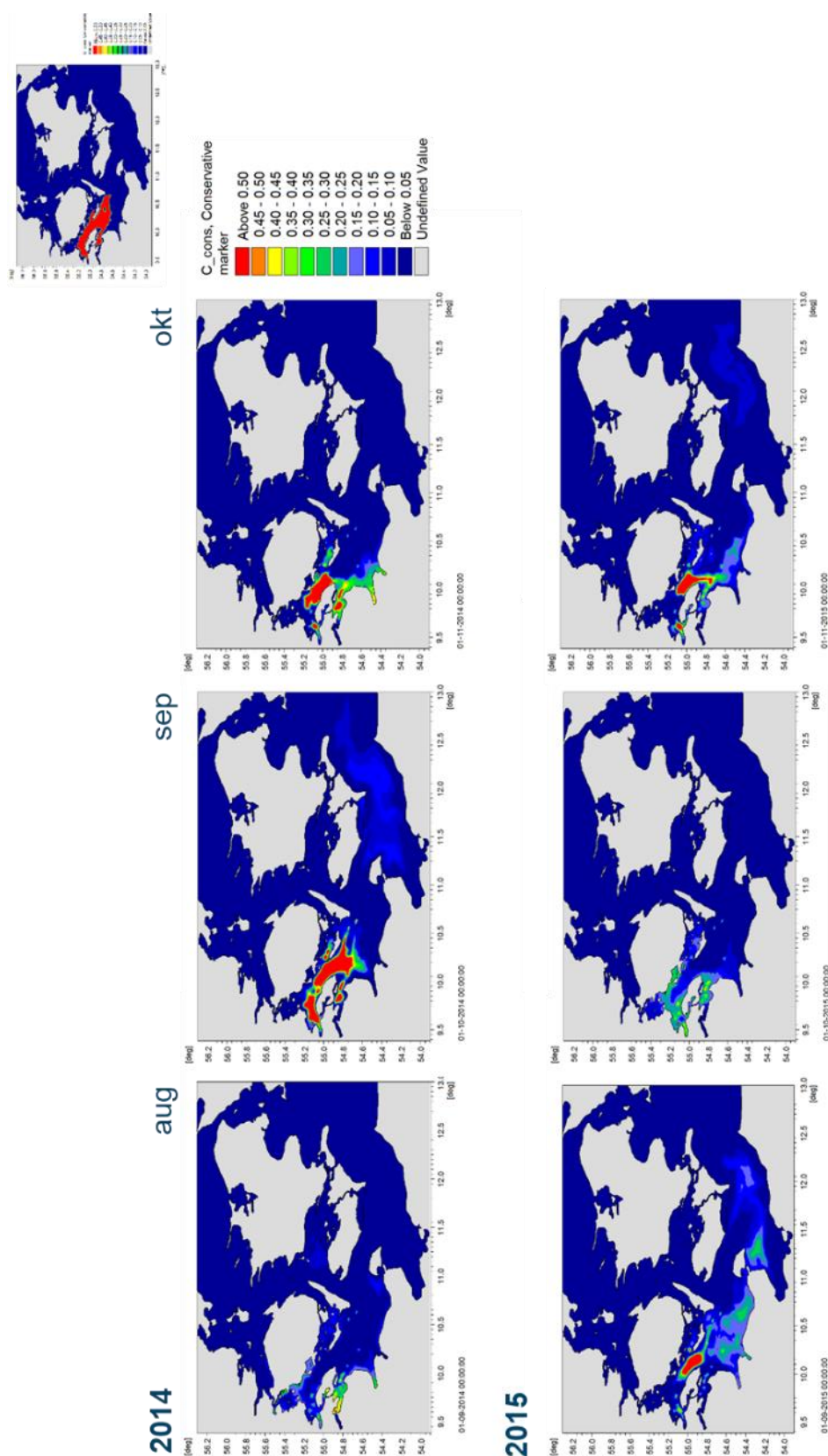
Figur 5-8 Akkumuleret iltforbrug i 2014 (sort linje) og 2015 (blå linje) på et centralt punkt i det sydlige Lillebælt.

5.3 Modeldata fra transportmodel

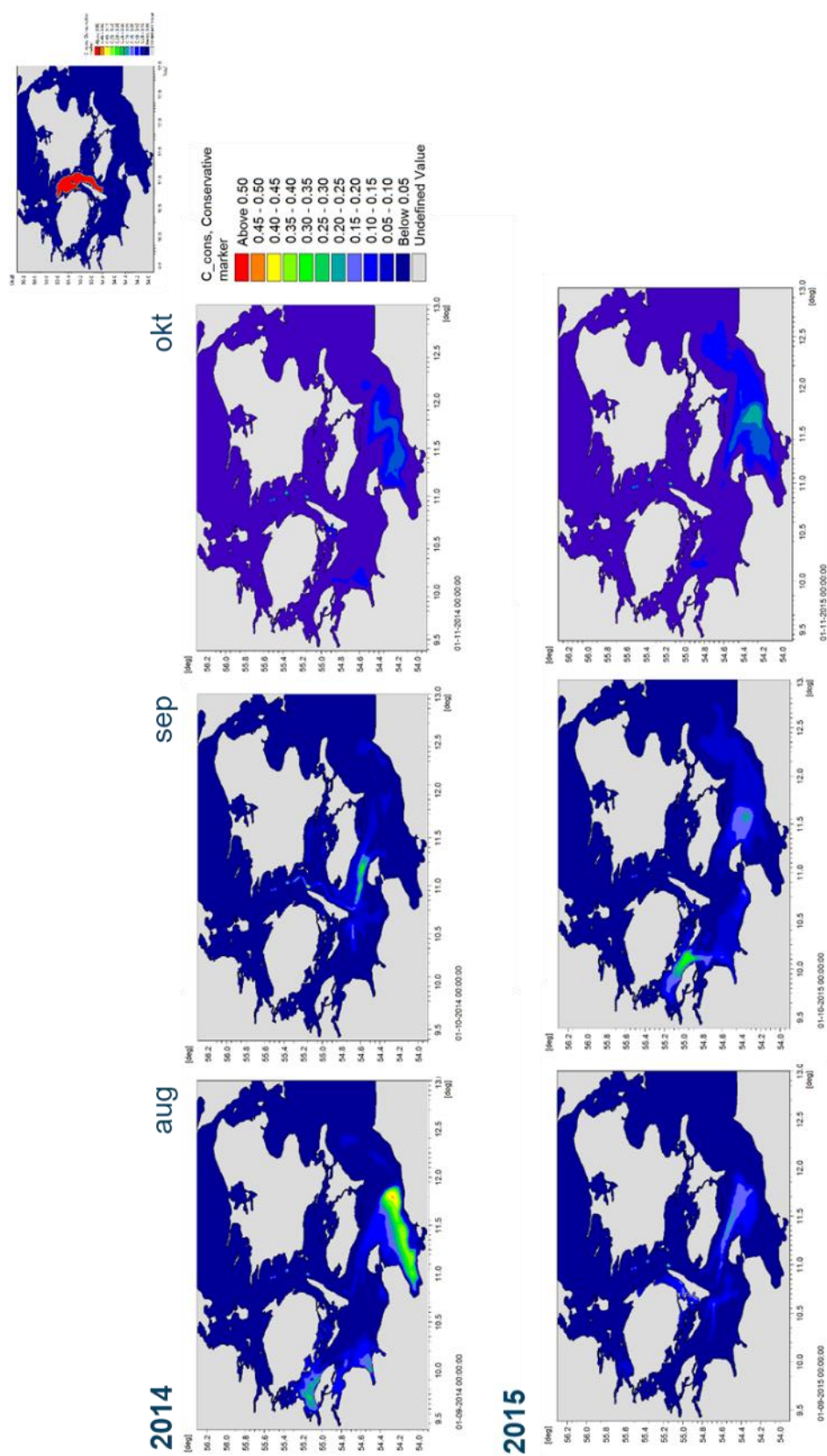
Afslutningsvis er der foretaget transportmodellering af et konservativt stof i forskellige vandområder. Modelleringen er startet den 1. august, 1. september og 1. oktober med et konservativt stof placeret i henholdsvis Lillebælt og Storebælt fordelt på alle dybder større end 15 m. Efterfølgende er modellen afviklet én måned for at vurdere, hvordan blandingen og spredningen af bundvand har været i løbet af den respektive måned. Resultaterne er præsenteret i Figur 5-9 og Figur 5-10.

Som det fremgår af figurerne, er der stor forskel mellem de enkelte måneder og år. I september og oktober 2014 forbliver den største del af bundvandet fra Lillebælt i samme område, mens der er en andel af bundvandet fra Lillebælt, der ender i Femern Bælt området i september 2014. I 2015 er der derimod større transport fra Lillebælt mod Femern Bælt i august og oktober men mindre transport i september. Derudover er der en del af bundvandet fra Storebælt, som ender i Lillebælt i august 2014 og september 2015.

Der er ikke foretaget en mere tilbundsående analyse af blanding og spredning, men denne type resultater kan eventuelt supplere analyser af forskelle mellem år i arbejdet med havrapporterne.



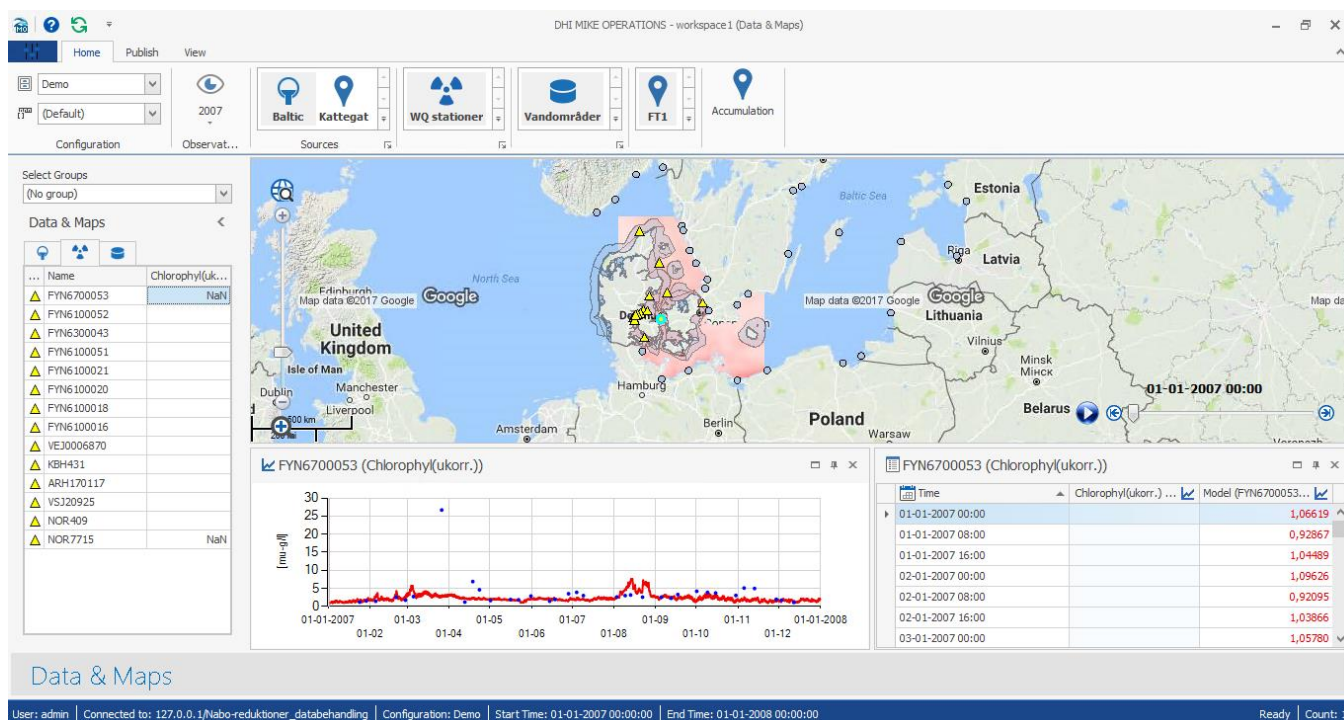
Figur 5-9 Blanding og spredning af bundvand (nederste lag i modellen) i Lillebælt. Initialværdier er vist i øverste højre hjørne, mens resultaterne efter én måneds modelafvikling ved bunden er vist nedenfor. Øverste række af plot er fra år 2014, mens nederste række dækker 2015.



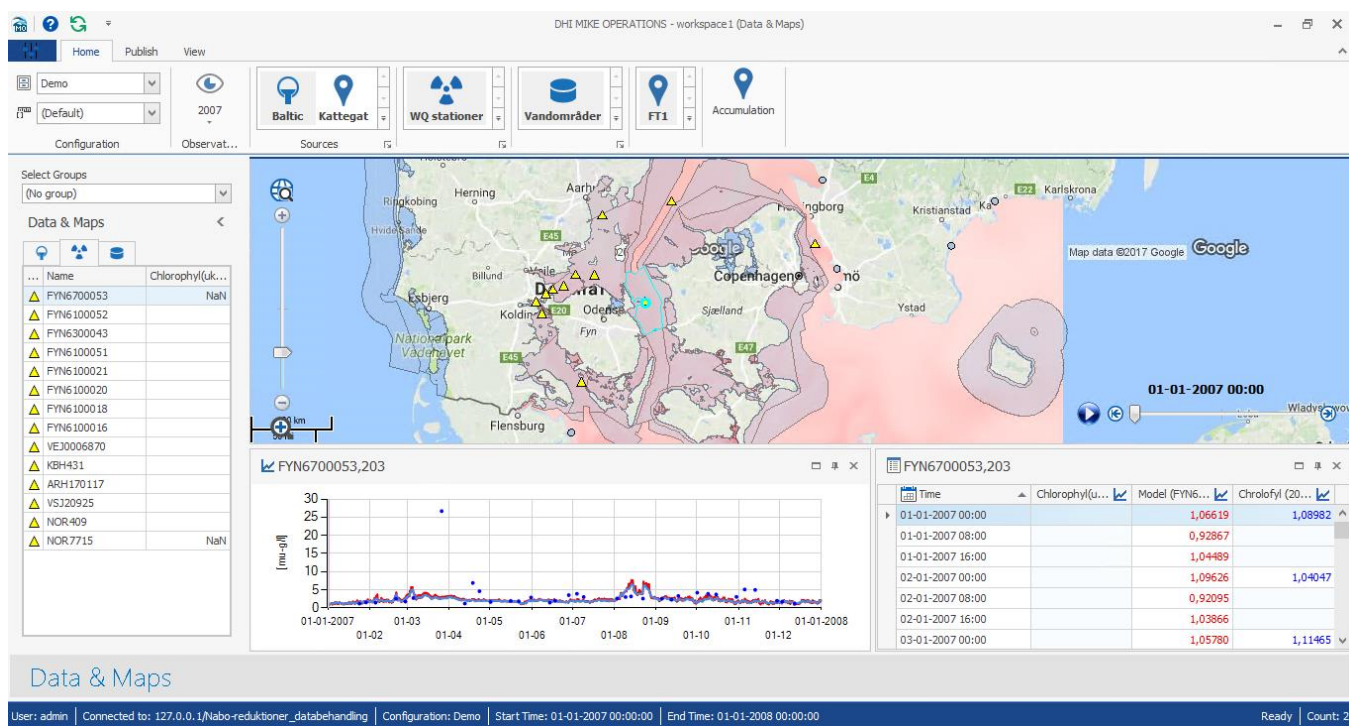
Figur 5-10 Blanding og spredning af bundvand (nederste lag i modellen) i Storebælt. Initialværdier er vist i øverste højre hjørne, mens resultaterne efter én måneds modelafvikling ved bunden er vist nedenfor. Øverste række af plot er fra år 2014, mens nederste række dækker 2015.

6 Interaktivt WEB-værktøj til håndtering af input-/outputdata, behandling af specifikke modelkørsler mm.

Ud over de modelresultater, som evt. kan indgå som en del af tilstandsvurderinger og til understøttning af fremtidige havrapporter, er der aftalt en leverance omkring et interaktivt værktøj til håndtering og præsentation af modeldata. Dette værktøj er beskrevet i flere detaljer i Bilag D. I Figur 6-1 og Figur 6-2 er vist eksempler på brugen af værktøjet.



Figur 6-1 Modelleret og målt klorofyl-a for år 2007 i Storebælt-tabel til højre viser stationer, hvor der er udtrukket modeldata (eller bliver udtrukket data) – pt. klorofyl-a, men værktøjet kan naturligvis udvides til også at vise de andre vandkemiske parametre. Måleresultater er hentet fra overfladevandsdatabasen (ODA).

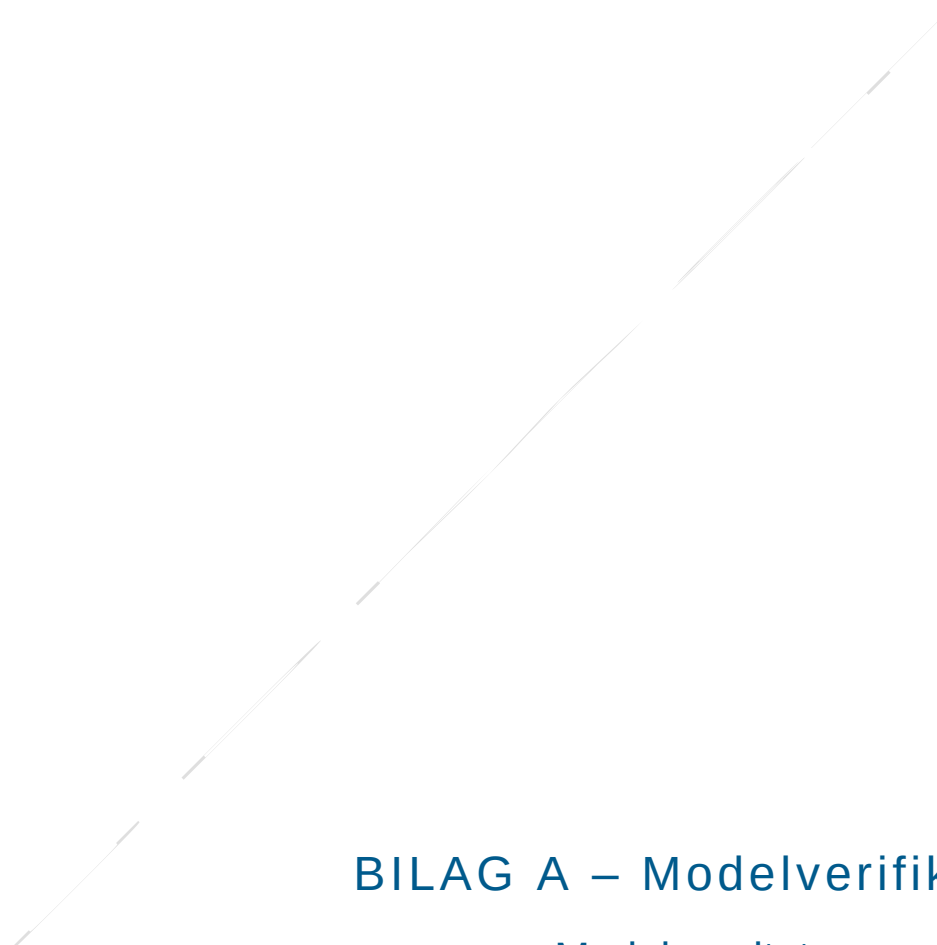


Figur 6-2 Områdegennemsnit for et vandområde i Storebælt (lyseblå afgrænsning) klorofyl-a vist sammen med målinger og modelresultater fra samme lokalitet.

7 Referencer

1. Carstensen, J. (2016). Bilag 1 – Beskrivelse af anvendte indeks og korrektioner for klimatiske variationer, p. 144-147, i Hansen, J.W. (red.) 2016: Marine områder 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 148 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 208; <http://dce2.au.dk/pub/SR208.pdf>
2. Ellermann, T., Bossi, R., Christensen, J., Løfstrøm, P., Monies, C., Grundahl, L. & Geels, C. (2015). Atmosfærisk deposition 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 88 s. – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 163. <http://dce2.au.dk/pub/SR163.pdf>
3. Ellermann, T., Bossi, R., Nygaard, J., Christensen, J., Løfstrøm, P., Monies, C., Grundahl, L. & Geels, C. (2016). Atmosfærisk deposition 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. 70 s. – Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 204. <http://dce2.au.dk/pub/SR204.pdf>
4. Erichsen AC (Ed.), Timmermann K (Ed.), Christensen JPA, Kaas H, Markager S, Møhlenberg F. (2017). Development of models and methods to support the Danish River Basin Management Plans. Scientific documentation. Aarhus University, Department of Bioscience and DHI, 191 pp.
5. DHI (2018). Vurdering af nuværende overvågning af klorofyl-a i den åbne del af Kattegat. Identifikation af positioner der kan styrke nuværende overvågning. Miljøstyrelsen.
6. Herman, P., Newton, A., Schernewski, G., Gustafsson, B. & Malve, O. (2017). International evaluation of the Danish marine models. Miljøstyrelsen.
7. Windolf J, Timmermann A, Kjeldgaard A, Bøgestrand J, Larsen SL, Thodsen H. (2013). Landbaseret tilførsel af kvælstof og fosfor til danske fjorde og kystafsnit, 1990-2011. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 110 s. – Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 31. <http://dce2.au.dk/pub/TR31.pdf>.
8. FEHY (2013). Fehmarnbelt Fixed Link. Marine Water- Impact Assessment. Hydrography, Water Quality and Plankton of the Baltic Sea. Report NoI E1TR0058 Vol I. DHI/IOW Consortium in association with LICEngineering, Bolding & Burchard and Risø DTU.

BILAG



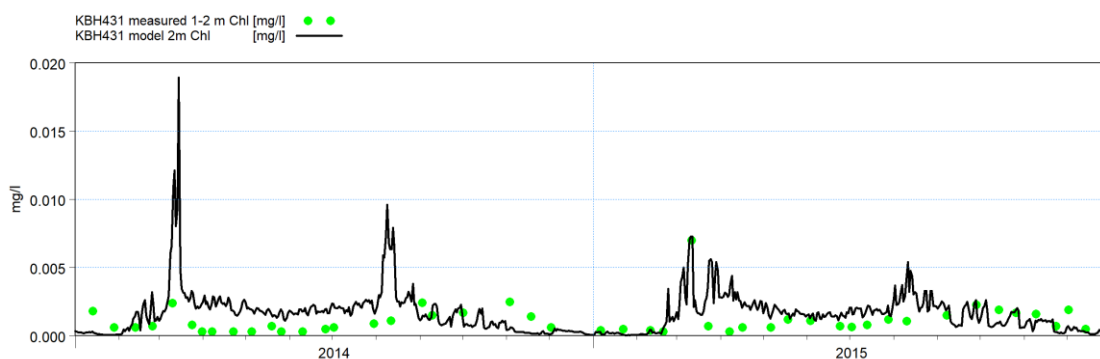
BILAG A – Modelverifikation

Modelresultater og målinger

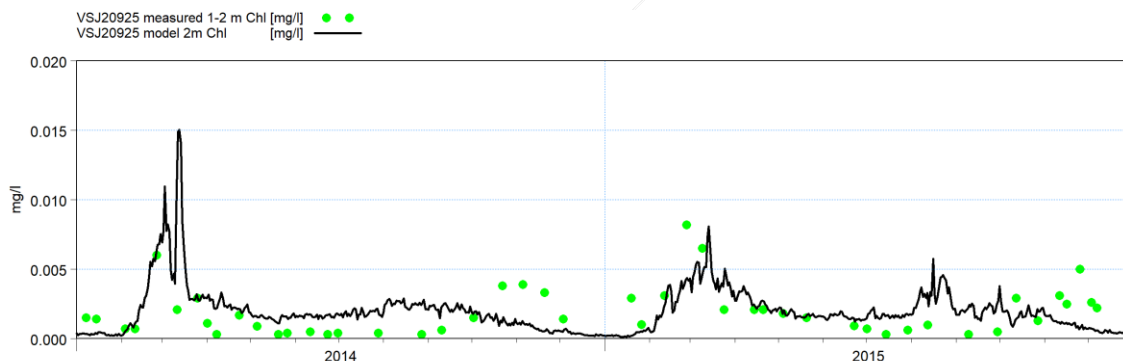
A Modelresultater og målinger

A.1 Model for indre danske farvande, år 2014 og 2015

A.1.1 Klorofyl-a

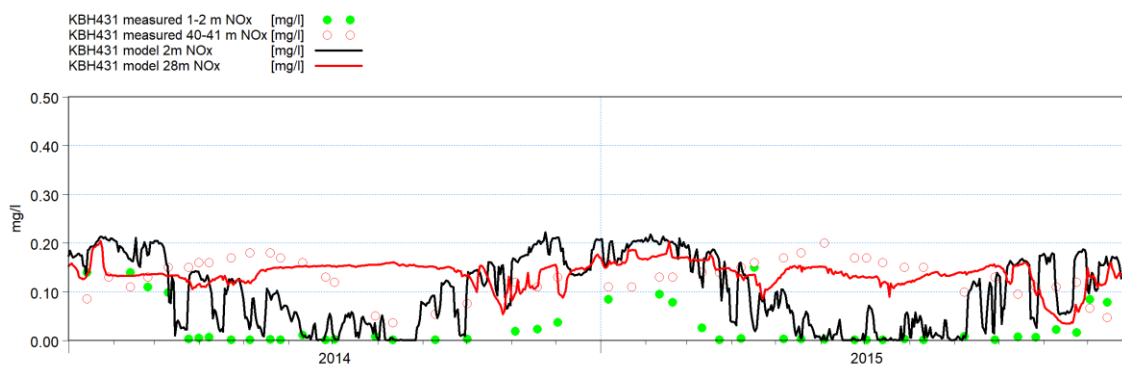


Figur A. 1 Modellerede og målte koncentrationer af klorofyl-a på KBH431. Grønne cirkler viser målte værdier i overfladen og den sorte linje viser de modellerede værdier.

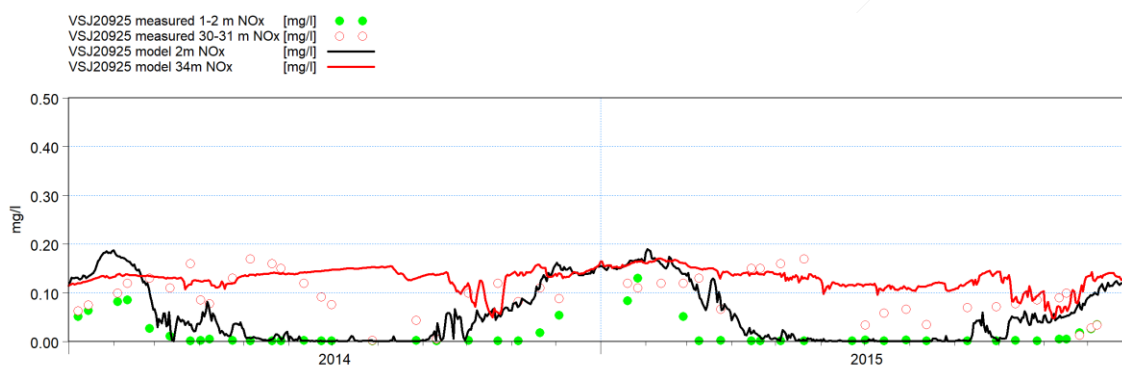


Figur A. 2 Modellerede og målte koncentrationer af klorofyl-a på VSJ20925. Grønne cirkler viser målte værdier i overfladen og den sorte linje viser de modellerede værdier.

A.1.2 Nitrat (NO_x)

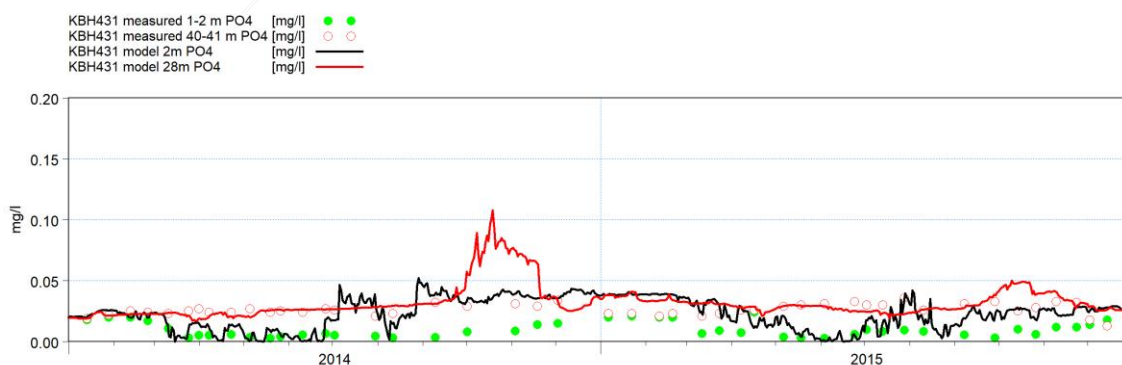


Figur A. 3 Modellerede og målte koncentrationer af nitrat på KBH431. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.



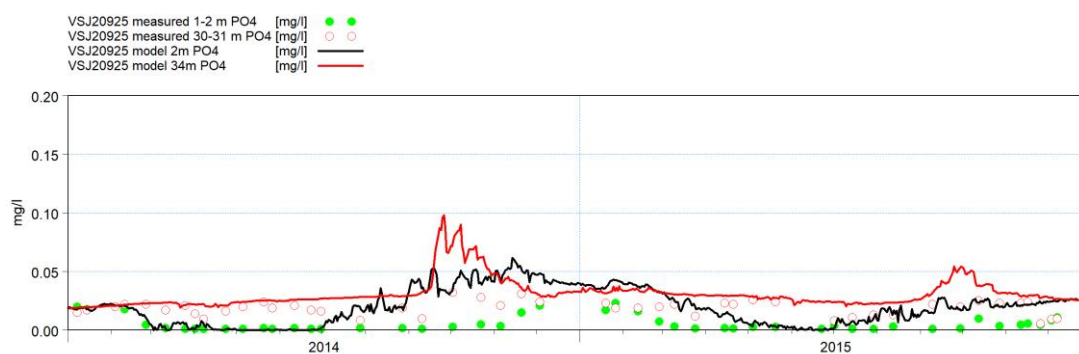
Figur A. 4 Modellerede og målte koncentrationer af nitrat på VSJ20925. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

A.1.3 Opløst fosfor (DIP)



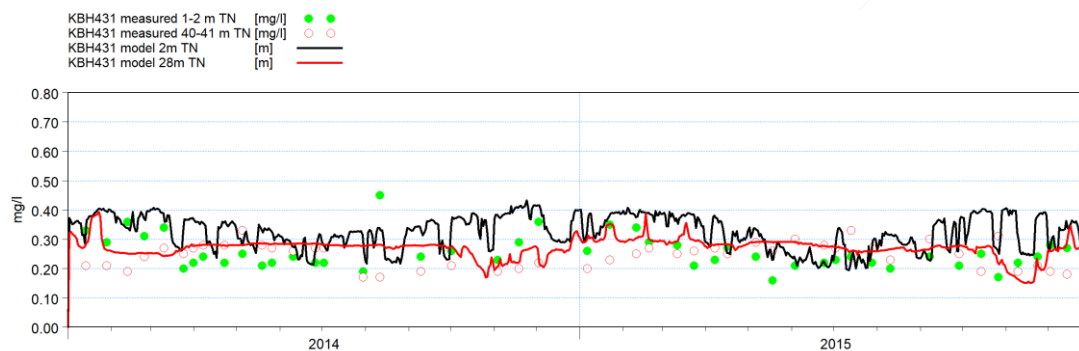
Figur A. 5 Modellerede og målte koncentrationer af DIP på KBH431. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

Modelresultater og målinger

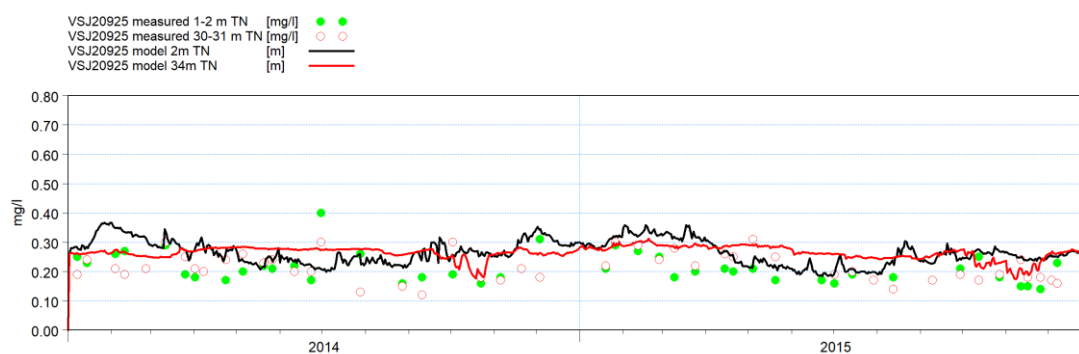


Figur A. 6 Modellerede og målte koncentrationer af DIP på VSJ20925. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

A.1.4 TN

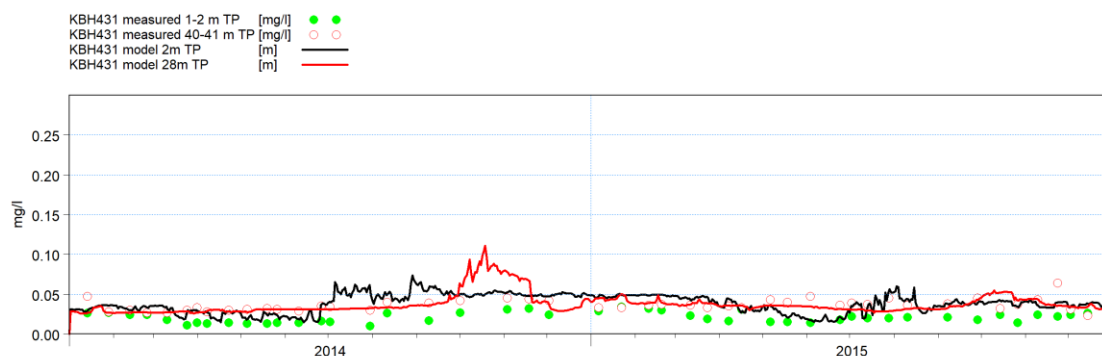


Figur A. 7 Modellerede og målte koncentrationer af TN på KBH431. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

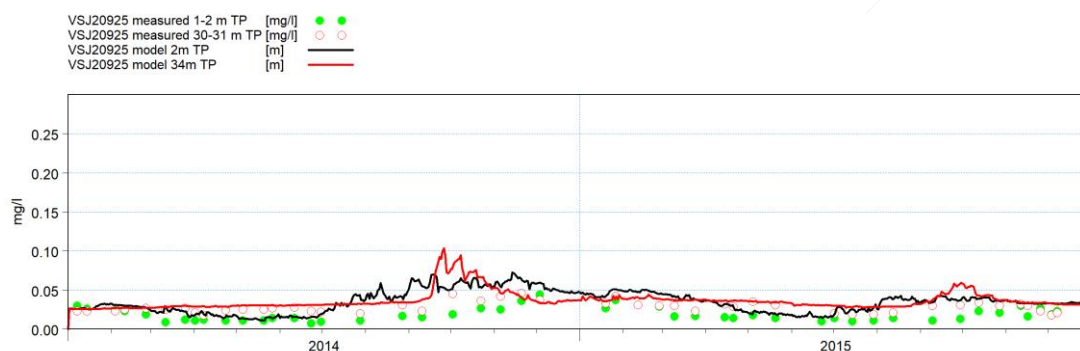


Figur A. 8 Modellerede og målte koncentrationer af TN på VSJ20925. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

A.1.5 TP

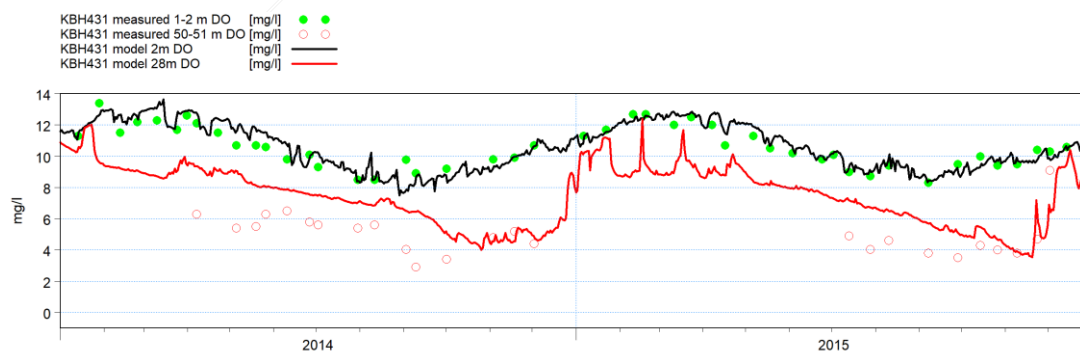


Figur A. 9 Modellerede og målte koncentrationer af TP på KBH431. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

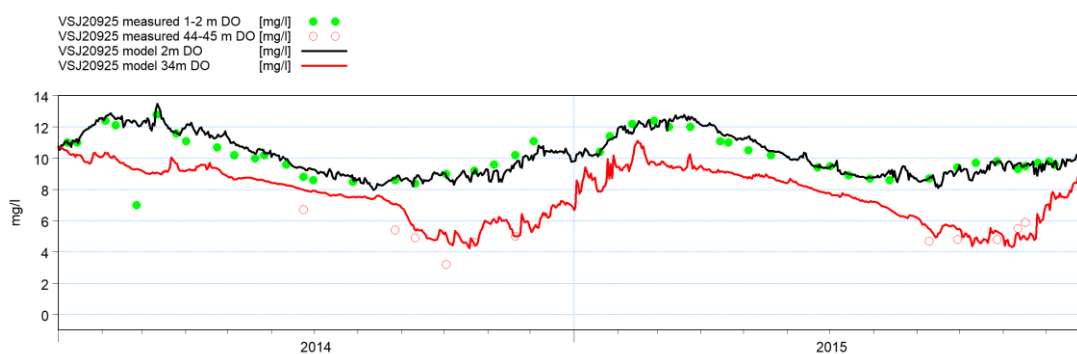


Figur A. 10 Modellerede og målte koncentrationer af TP på VSJ20925. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

A.1.6 Ilt

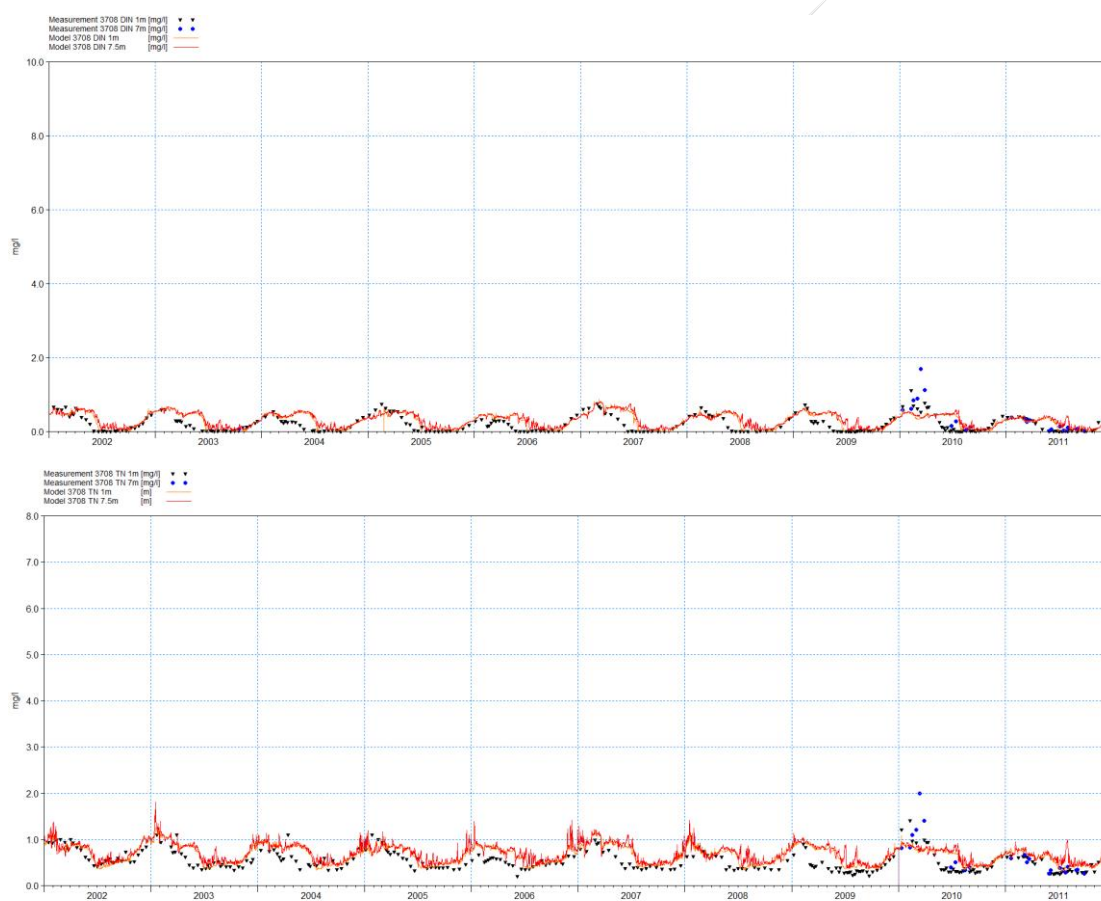


Figur A. 11 Modellerede og målte koncentrationer af ilt på KBH431. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

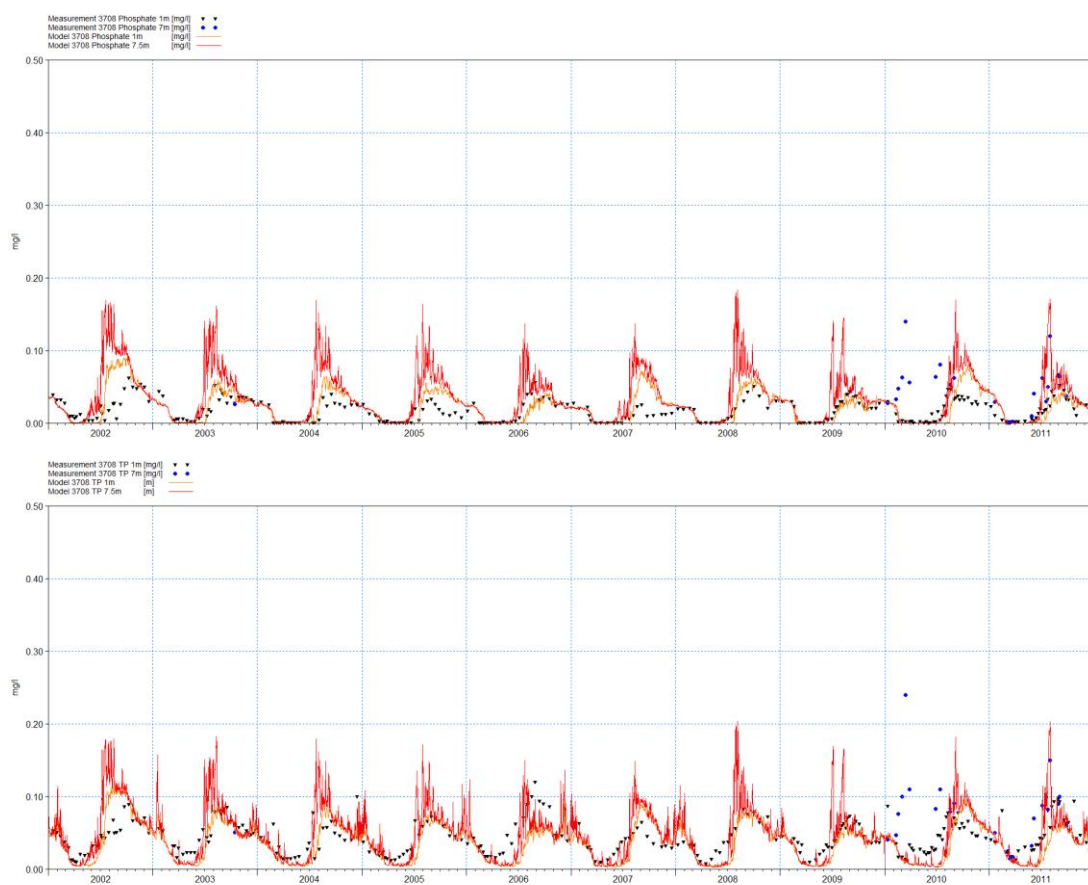


Figur A. 12 Modellerede og målte koncentrationer af ilt på VSJ20925. Åbne røde cirkler viser målte værdier ved bunden, og grønne cirkler viser målte værdier i overfladen. Den røde linje viser de modellerede værdier ved bunden, og den sorte linje viser de modellerede værdier i overfladen.

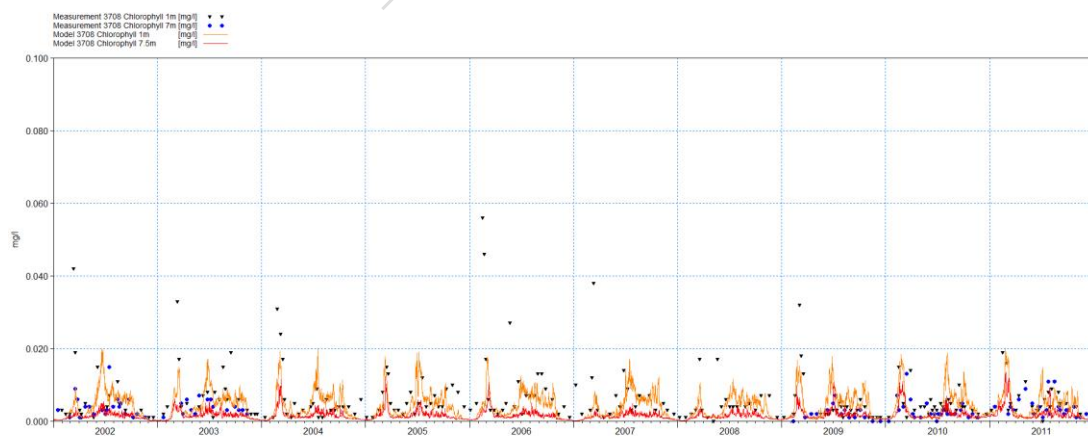
A.2 Limfjorden



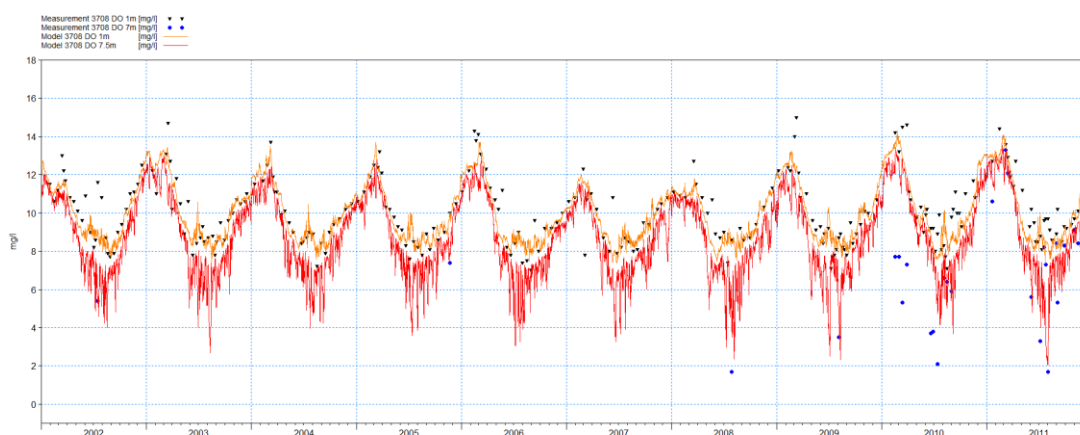
Figur A. 13 Målinger af nitrogen på station 3708-1 i overfladen (sorte punkter) og på bunden (blå punkter) sammenlignet med modelleret nitrogen i overfladen (orange linje) og nitrogen på bunden (rød linje). Øverst vises resultater af målinger og modellering af DIN, og nederst af TN.



Figur A. 14 Målinger af fosfor på station 3708-1 i overfladen (sorte punkter) og på bunden (blå punkter) sammenlignet med modelleret fosfor i overfladen (orange linje) og fosfor på bunden (rød linje). Øverst vises resultater af målinger og modellering af DIP, og nederst af TP.

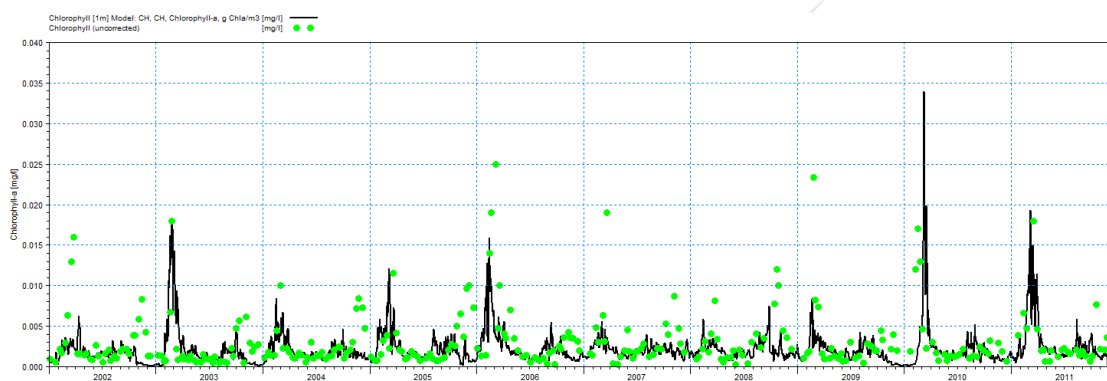


Figur A. 15 Målinger af klorofyl-a på station 3708-1 i overfladen (sorte punkter) og på bunden (blå punkter) sammenlignet med modelleret overflade-klorofyl-a (orange linje) og bund-klorofyl-a (rød linje).

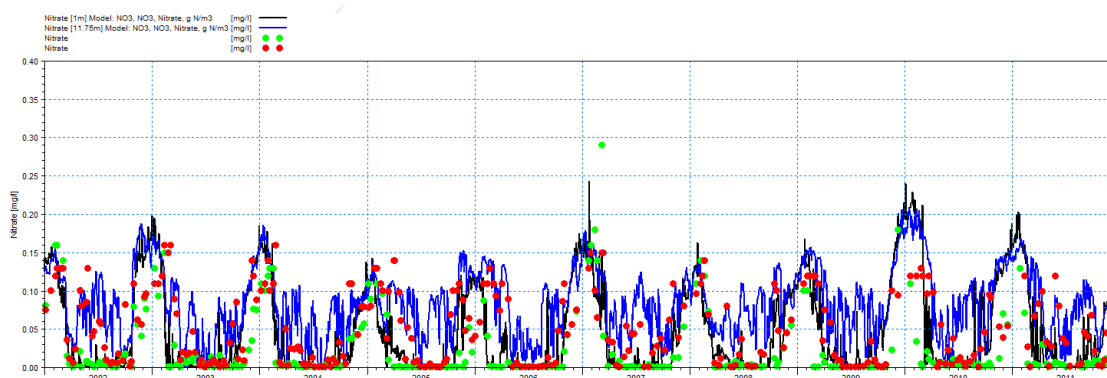


Figur A. 16 Målinger af opløst ilt på station 3708-1 i overfladen (sorte punkter) og på bunden (blå punkter) sammenlignet med modelleret opløst ilt (orange linje) og opløst ilt på bunden (rød linje).

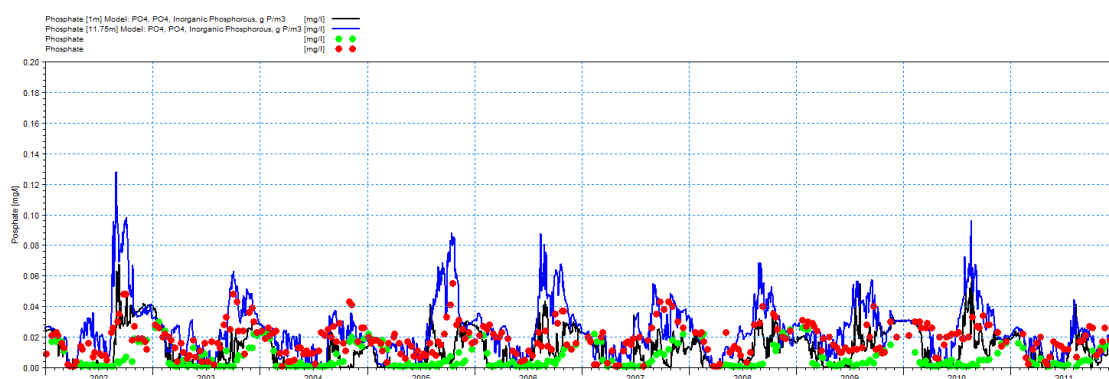
A.3 Aarhus Bugt



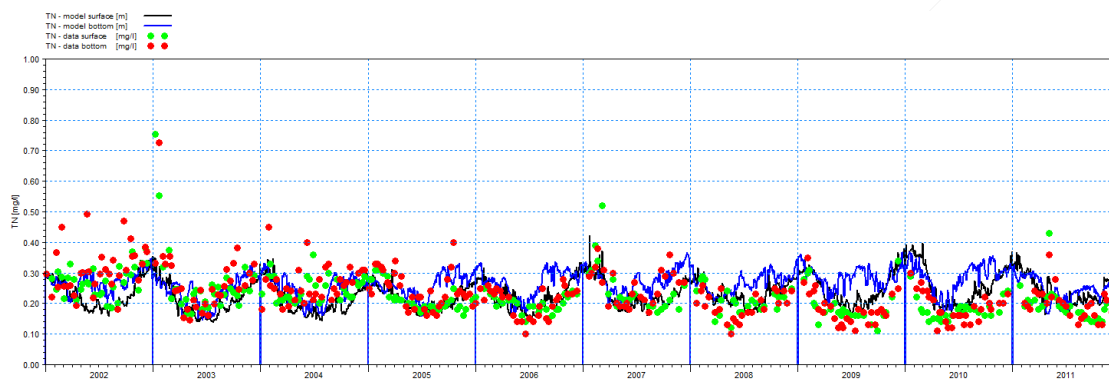
Figur A. 17 Målte koncentrationer af klorofyl-a (grønne punkter) og modellerede koncentrationer (sort linje).



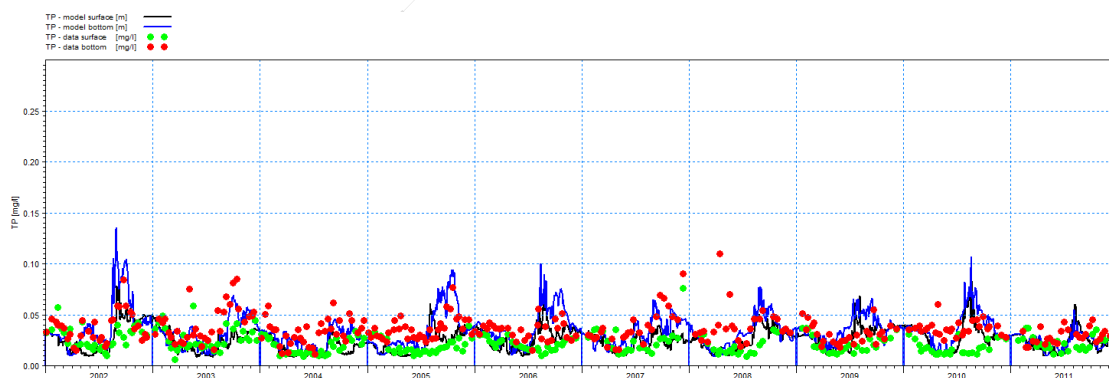
Figur A. 18 Målte koncentrationer af nitrat ved overfladen (grønne punkter) og modellerede koncentrationer (sort linje). Røde punkter viser målinger ved bunden og blå linjer modellerede koncentrationer på bunden.



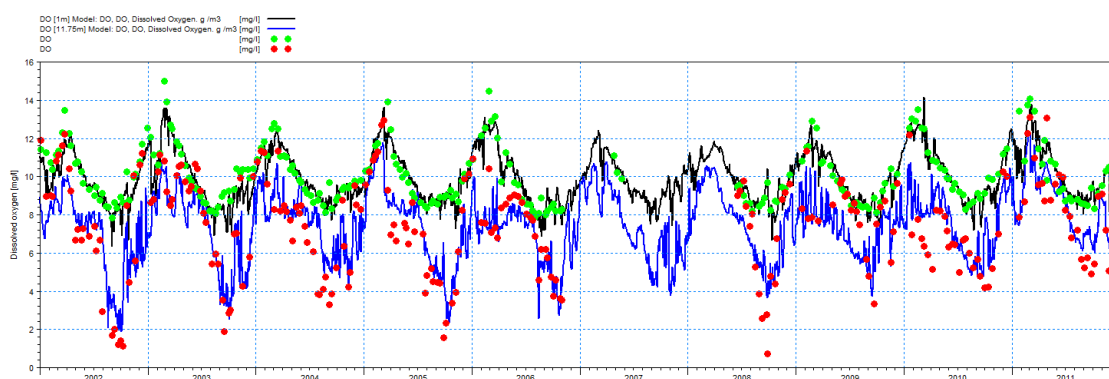
Figur A. 19 Målinger af koncentrationer af fosfor (grønne punkter) i overfladen og modellerede koncentrationer (sort linje). Røde punkter viser målinger ved bunden og blå linje viser modellerede koncentrationer ved bunden.



Figur A. 20 Målinger af koncentrationer af TN (grønne punkter) i overfladen og modellerede koncentrationer (sort linje). Røde punkter viser målinger ved bunden og blå linje viser modellerede koncentrationer ved bunden.

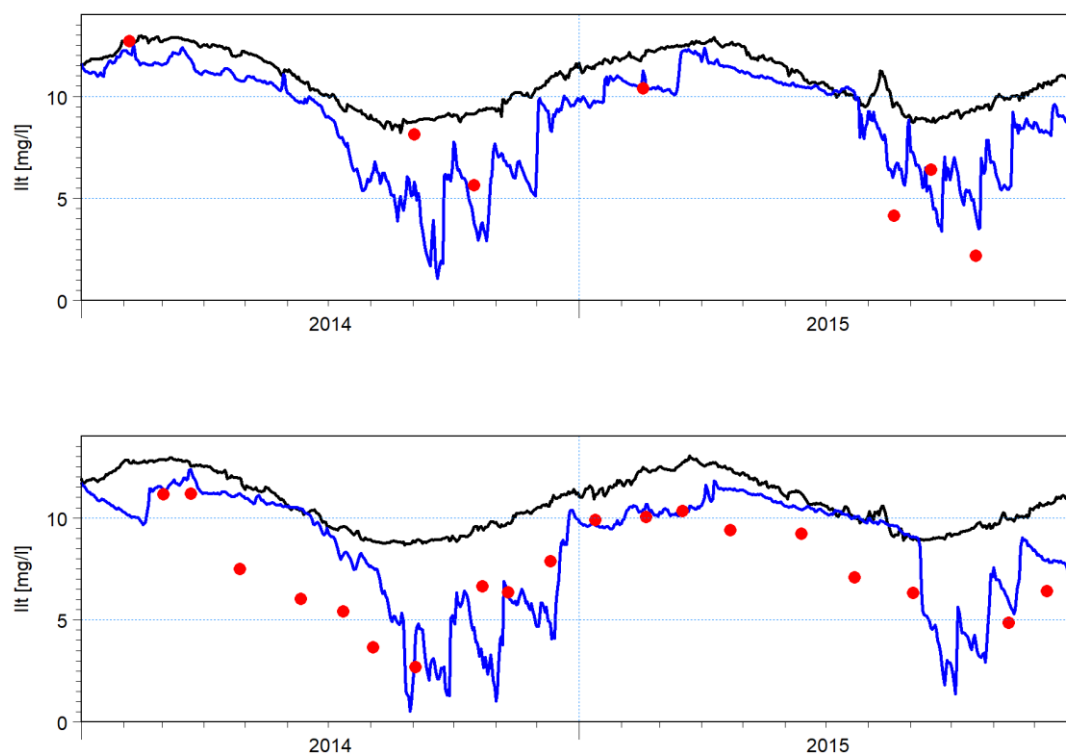


Figur A. 21 Målinger af koncentrationer af TP (grønne punkter) i overfladen og modellerede koncentrationer (sort linje). Røde punkter viser målinger ved bunden og blå linje viser modellerede koncentrationer ved bunden.



Figur A. 22 Målinger af koncentrationer af opløst ilt (grønne punkter) i overfladen og modellerede koncentrationer (sort linje). Røde punkter viser målinger ved bunden og blå linje viser modellerede koncentrationer ved bunden.

A.4 Arkona Bassin



Figur A. 23 Målinger (røde cirkler) af ilt i bundvandet på station DMU444 (øverst) og BY2 (nederst) sammenlignet med modellerede iltkoncentrationer i overfladen (sort linje) og ved bunden (blå linje) for de samme stationer.

BILAG B – Indledende Workshop

Referat

B Workshop referat

Referat fra opstartsmøde, 12. oktober 2017 (AU, Roskilde)

Deltagere: Jens Würgler Hansen, Karen Timmermann, Jacob Carstensen (DCE-AU),

Anders Erichsen (DHI)

Harley Bundgaard Madsen, Stig Eggert Pedersen, Mikael Hjorth Jensen

Diskussioner

Fordele/muligheder og ulemper/udfordringer ved at inddrage modellering i tilstandsbeskrivelser og NOVANA-rapportering blev diskuteret.

Modeldata kan bruges til at kvalificere tilstandsvurderinger og tilstandsbeskrivelser baseret på måledata ved at optimere estimering af parameterværdier i tid og rum (huludfyldning / interpolation / extrapolation), især i områder, hvor der er få eller slet ingen måledata; hertil kommer, at modelberegninger kan udnyttes til vurdering af overvågningsstationers repræsentativitet. Som en del af dataarbejdet knyttet til NOVANA-rapporteringen laves der pt. interpolering i tid og rum baseret på statistiske metoder. Den nuværende statistiske interpolation vil kunne optimeres ved at supplere med en modeltilgang. Den øgede information opnået ved at kombinere modellering og måling giver bedre mulighed for at adskille effekten af ændringer i meteorologi (og anden naturlig variation), klima og belastning (menneskelig påvirkning). Modellering kan således bruges til at lave en mere avanceret klimakorrektion end den nuværende i NOVANA-rapporteringen, som er afgrænset til en normalisering i forhold til ferskvandsafstrømning. Derved kan modeller også bidrage til at isolere effekten af belastning. Mekanistiske modeller vil evt. også kunne supplere og forbedre den nuværende iltsvindsmodeivering, hvis output afhænger af en periodes helt konkrete overvågning.

Modeller er velegnede til relative betragtninger i tid og rum og til at beskrive processer og derigennem give en øget forståelse af årsagssammenhænge.

Hvad angår timing, er det et problem, at nogle af modellens drivdata først er klar sent i forløbet i forhold til rapporteringen. Dette er fx tilfældet for ferskvandsafstrømningen og stoftilførslen. Det er muligt, at beregningen af ferskvandsafstrømningen og den diffuse del af stoftilførslen kan fremskyndes. Med henblik på at få et tidligere estimat af den samlede stoftilførsel, kan modelleringen evt. tage udgangspunkt i foreløbige værdier for ferskvandsafstrømningen, på baggrund af hvilken den diffuse stoftilførsel anslås, mens stoftilførslen fra punktkilder sættes lig værdien fra året før.

Det er vigtigt i projektet hele tiden at holde merværdien ved brugen af modeller for øje. Det skal tilstræbes, at merværdien kvantificeres.

Det skal videre tilstræbes, at det er tydeligt og kan forklares, hvor og hvordan modeldata indgår i tilstandsvurderinger og NOVANA-rapportering - transparens er her et nøgleord

Beslutninger

Modeldata og måledata skal holdes adskilt (data kan i princippet også omfatte en tredje type: modelmodificerede overvågningsdata) – helst ved at de lagres i hver deres database. Denne problemstilling skal indtænkes ifm. udviklingen af et WEB-værktøj, som også indgår i projektet.

DHI går i gang med at anvende IDF-modellen på data for 2014 og 2015. AU melder ind, hvis der ønskes særlig fokus på enkelte parametre. De vigtigste modelresultater gemmes i database/webværktøj.

Case1: Der udvælges et eller få område(r), hvor det for nogle få parametre testes, hvordan modelbeskrivelser kan supplere NOVANA-rapporteringen baseret på målte data (2015).

Case2 (evt.): Hvor meget bedre bliver en tilstandsbeskrivelse ved at inddrage modeldata? Der udvælges et område med mange måledata. Der ses bort fra en del af måledataene, og status for enkelte parametre beskrives for området ved modellering baseret på de resterende data. Modelresultaterne sammenlignes med resultaterne baseret på den samlede mængde måledata.

Case3 (evt.): Kan umiddelbart ikke-repræsentativt placerede stationer ved modelberegninger 'justeres' til at være repræsentative for et vandområde. Giver en sådan øvelse faglig mening/merværdi?

DHI udarbejder et kort papir, der baseret på mødet (jf. indholdet af dette referat) skitserer og konkretiserer diverse output. Papiret kommenteres af alle parter.

Konkrete ideer til, hvilke modelresultater der kan understøtte havrapport og tilstandsvurdering udveksles, og relevante resultater fra modelleringen fremsendes løbende og diskuteres i gruppen ved mailudvekslinger. Det tilstræbes, at der afholdes et kort midtvejs SKYPE-møde (medio-ultimo november).

I december afholdes en afsluttende WS, hvor resultaterne præsenteres og diskuteres, og hvor struktur og indhold for notat/rapport besluttet. Hvis muligt foreligger der inden workshoppen et papir med resultater og betragtninger udarbejdet i løbet af projektet.

BILAG C – Modeldata som del af tilstandsvurderinger og som supplement til havrapportering

Arbejdsrapport

C Modeldata som del af tilstandsvurderinger og som supplement til havrapportering

Tilstandsvurderinger

For at opnå større repræsentativitet i tilstandsvurderinger er der behov for at omsætte målte værdier i ét punkt til et repræsentativt områdegennemsnit eller omvendt, at omsætte et områdemål til en forventet punktmålingsværdi – begge dele kan være lige gode, men omsættes en målværdi til en lokalitet kan det direkte afgøres, om og hvornår, GES kan opnås, mens en mindre repræsentativ målværdi muligvis vil variere lidt afhængigt vind og vejr (og afstrømning gennem lokale gradienter).

Til metodeudvikling ift. tilstandsvurderinger benyttes to modelindikatorer, der allerede er udviklet (sommer- klorofyl-a og ålegræs-proxyen Kd), og der udvælges tre til fire specifikke vandområder, hvor model-indikatorerne testes.

Metode 1

Med den metode, der er benyttet som en del af grundlaget bag VOP II, er der udelukkende benyttet BIAS (%-afvigelse mellem målt og modelleret værdi) i et specifikt målepunkt til at estimere en vandområde-værdi eller til ekstrapolation fra nabo-overvågningsstation. Denne metode er simpel, men ikke videnskabeligt dokumenteret. Metoden foreslås dog alligevel inkluderet for at undersøge betydningen af dette valg på de endelige resultater. Med denne metode vil flere stationer kunne benyttes til at estimere mere end én værdi for det enkelte vandområde og dermed give en indikation af variabiliteten i det enkelte vandområde.

Metode 2

Med metode 2 udarbejdes BIAS (i %) for en lang række monitoreringsstationer, hvorefter der udarbejdes et 2D BIAS kort. Et sådant kort vil efterfølgende kunne påtrykkes de modellerede værdier og dermed komme med et estimat på klorofyl-a hhv. Kd-værdier i alle de vandområder, der er inkluderet i model-domænet.

Resultaterne herfra kan efterfølgende sammenlignes med Metode 1 og de fastsatte statusværdier, som er udgangspunktet for dagens status-vurdering.

Supplement til havrapport

Modeldata fra fysisk model

Massebudgetter (Q)

Opstilling af massebudgetter for større vandområder som eksempelvis Kattegat, Bælthavet og den sydvestlige Østersø. Massebudgettet baseret på den fysiske model vil kunne give en vurdering af år-til-år variationer i ind- og udstrømning og ferskvandstilførsler (nedbør, floder mm.).

Østersø-indbrud (Major Baltic Inflows og minor Baltic Inflows)

Der er i dag stor fokus på *Major Baltic Inflows* (MBI) på grund af betydningen for især den centrale del af Østersøen, men udover de større hændelser er der en række mindre sommer-skvulp, som betyder noget for både temperatur og iltforhold i Arkona og Bornholm bassinerne. Udover at kunne

udtrække modeldata i forbindelse med evt. MBI vil modellen måske også kunne benyttes til at evaluere på frekvensen/volumen af disse mindre inflows og dermed benyttes til at evaluere på iltkoncentrationen i den del af de danske havområder.

Alder på bundvand

Afhængigt af vind og vejr vil "alderen" (dvs. hvor længe bundvandet har været isoleret fra overfladevandet) af bundvandet i eksempelvis Femern Bælt variere mellem årene. Alderen på vandet er interessant, da ældre vand har en større risiko for at akkumulere iltvind fremfor vand med større udskiftning. Alderen på bundvandet kunne måske bestemmes ved at tilsætte en inert tracer til bundvandet hver 2. uge eller én gang om mdr. for at se, om der er forskel mellem årene, og om denne viden kan benyttes til at evaluere den hydrodynamiske/meteorologiske indflydelse på iltvind i den sydvestlige del af Østersøen.

Upwellingszoner

Upwellingszoner er interessante, da de typisk bringer mere næringsrigt vand til overfladen, og dermed fremmer primærproduktion. Upwelling skyldes dels fremtrædende strømrøtninger og vindretninger. Dermed er der sandsynligvis forskel på både placering og størrelse/styrke af upwelling mellem årene, og det vil muligvis kunne have en betydning for primærproduktionen og/eller fytoplankton/zooplankton i et givet havområde.

Hvordan en upwellingszone defineres er ikke gennemtænkt endnu.

Stratificering

Lagdeling er naturligvis også interessant set ift. både iltvind og udveksling af næringssalte. Det er ikke nødvendigvis den samlede stratificering, men forskellen mellem årene i de forskellige havområder, der her er interessant. I henhold til Riemann *et al.* 2016 har eksempelvis stratificeringen været støt stigende over de sidste godt 25 år. Spørgsmålet er, om der er noget at hente her ift. forklaringsvariable mellem årene?

De styrende mekanismer er forskellige i forskellige havområder, og derfor skal en sådan databehandling nok gribes an lidt forskelligt: Blanding beregnet som eksempelvis Brunt–Väisälä frekvensen (BVF) kunne måske give god mening i det sydlige Lillebælt og den sydlige-vestlige Østersø som en yderligere forklaringsvariabel i forhold til iltvind i disse områder, mens advektionen fra Skagerrak måske vil give mere mening i Kattegat og den nordlige del af Bælthavet. Denne advektion kunne evt. illustreres ved 30 psu isolinjen i en transekt fra Skagen/Gøteborg og ned gennem Kattegat og Storebælt.

Yderligere muligheder

Udover de ovennævnte modelresultater kunne andre specifikke data muligvis være af interesse, herunder:

- Bundtransporter/bundstrøm
- Overfladestrøm
- Andet?

Modeldata fra biogeokemisk model

Resultaterne fra den biogeokemiske model er naturligvis behæftet med større usikkerhed end resultaterne fra den fysiske model. Alligevel foreslås det, at der i denne fase arbejdes med nogle biogeokemiske tilstandsvariable og processer og ses på ændringer mellem år (mere end at se på de absolutte værdier).

Iltsvindskort

Et af de modelresultater, som kan trækkes ud, er iltkoncentrationer ved bunden. Disse resultater kan naturligvis sammenlignes med iltvindskort baseret på målinger, men da der ikke er tale om en valideringsøvelse, skal modeldata mere tænkes som supplement til overvågning. I den forbindelse blev det overvejet, om modellerede iltprofiler kan benyttes i de områder, hvor der mangler data (og hvor det er kendt, at det påvirker iltvindskortet). Da der vil være forskel på model og måling kræver dette, at det vurderes, på hvilke stationer modelleringen generelt er af en kvalitet, som gør det acceptabelt at bruge disse data.

Massebudgetter (TN og TP)

Som for den fysiske model kan der ligeledes udarbejdes massebudgetter for TN og TP. Disse transporter kunne i princippet opdeles på både TN og TP, evt. kunne også laves en vurdering af de mere omsættelige puljer (DIN og DIP og næringsstoffer bundet i partikulært materiale inkl. fytoplankton)

Primærproduktion

Landsdækkende årskort af primærproduktionen kan trækkes ud af modellen. Disse bør naturligvis sammenlignes med målinger på de stationer, hvor der måles, men med modellen kunne der foretages områdedækkende analyser af år-til-år variationer.

Sedimentation

Bundfauna påvirkes af kvaliteten af det materiale, der sedimenterer til bunden. Med modellen er det muligt at se på forskelle mellem år i det materiale, der sedimenterer til bunden, baseret på hvor stor omsætningen er i vandfasen og ændringen i C:N:P forholdet. Eksempelvis har det betydning for infaunaen, hvor stor en del af forårsopblomstringen der når bunden, og hvor stor en del der ikke gør.

Dette er naturligvis en opgørelse, der er behæftet med betydelig usikkerhed, da den ene og alene beror på modelresultater, og er meget afhængig af valg af parametre, men den kunne testes og evalueres på forskelle mellem de år, der inkluderes i analysen.

Iltprocesser

Som for sedimentationen kan der tilsvarende laves iltbudgetter i givne havområder. Dette kunne eksempelvis være budgetter, som dem der var inkluderet i pptx fra DHI (fra workshoppen), men den kunne også udarbejdes på anden vis. Med sådan en analyse vil det (måske) være muligt at komme med supplerende viden ift. år-til-år variationer i områder ramt af iltvind.

BILAG D – Oplæg til udvikling af WEB-værktøj til årlig afvikling af marine modeller til understøttelse af den marine NOVANA- overvågning

Arbejdsrapport



D Oplæg til udvikling af WEB-værktøj til årlig afvikling af marine modeller til understøttelse af den marine NOVANA-overvågning

Som en del af 2017-leverancen under dette projekt beskrives kort et WEB-værktøj. Dette værktøj er tænkt som et supplement i præsentationen af både input- og outputdata. I projektbeskrivelsen står:

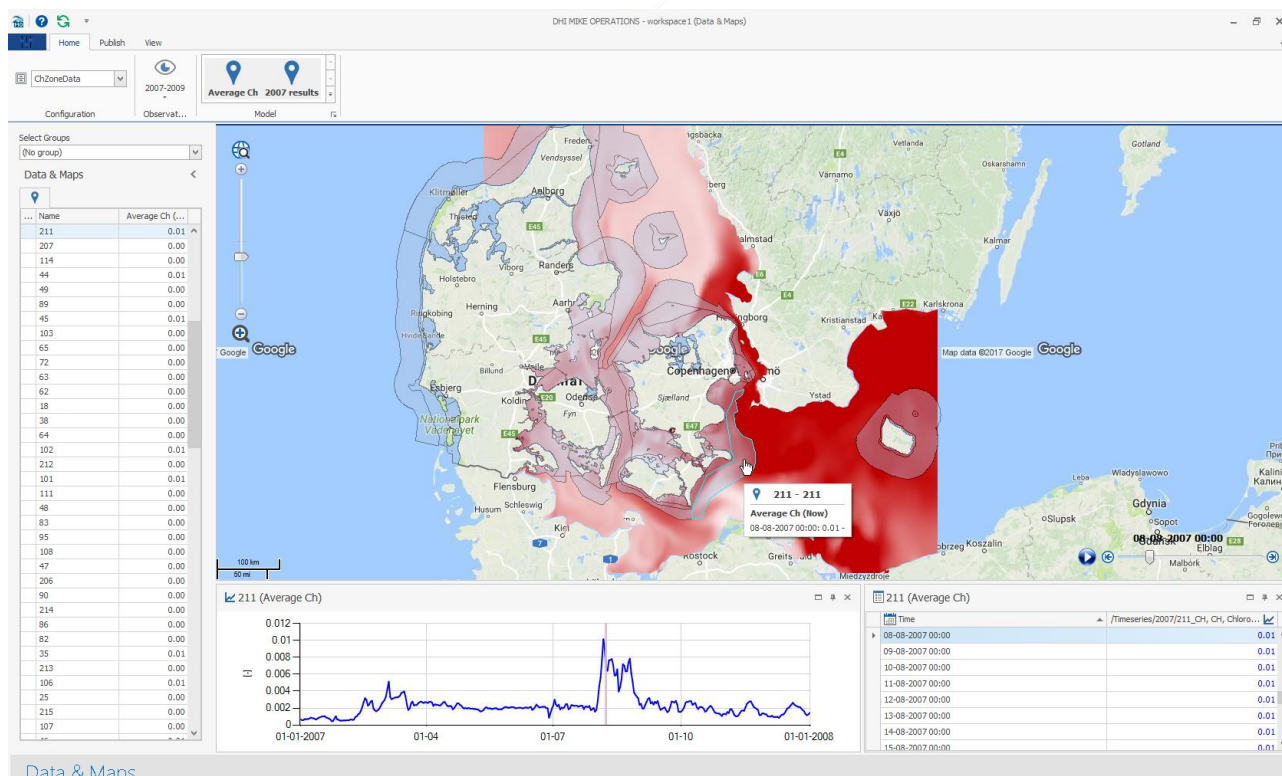
- Interaktivt WEB-værktøj til håndtering af input-/outputdata, behandling af specifikke modelkørsler mm. Omfang og specifikationer er endnu ikke aftalt og vil afhænge af de to workshops og efterfølgende drøftelser med MST.

Som det fremgår af ovenstående, er omfang og specifikationer endnu ikke aftalt, og dette dokument er derfor et oplæg til, hvordan sådan et værktøj kunne sættes sammen.

Nedenstående opdeles værktøjet således i tre grundlæggende udviklingsgrupper, der kan benyttes til at i) automatisere fremtidige årlige modelafviklinger, ii) verificere modelkvalitet og iii) indgå som et værktøj til udarbejdelse af enkelte modelresultater, der efterfølgende kan benyttes til havrapporten og/eller statusvurderinger.

Dette oplæg tænkes i første omgang at være et idekatalog. Der er derfor behov for en efterfølgende prioritering, hvor ressourceforbrug og nødvendighed diskuteres. Der er også behov for en diskussion af, hvordan data skal kunne tilgås - fx skal det være en adgangsbeskyttet ekstern eller intern WEB-løsning. Udviklingen af denne facilitet vil kræve nogle ressourcer, så der generelt behov for en diskussion af muligheder og ambition.

Et eksempel på en desktopløsning er vist i nedenstående figur.



Figur D. 1 Klorofyl i 2007 - geografisk fordeling af sommerkoncentration (øverst) og områdespecifik sæsonvariation af koncentration (nederst).

Automatisering

En stor del af arbejdet med en årlig modelafvikling vil være behandling og forberedelse af model-inputdata. Især behandlingen af belastninger fra land (Q, N og P) er arbejdskrævende. Som en del af automatiseringen vil vi derfor foreslå rutiner, der kan oparbejde netop disse data og klargøre dem til fremtidige modelafviklinger.

Helt specifikt foreslås rutiner der:

1. Kan oparbejde danske afstrømningsdata og forberede dem til brug for modelafviklingen.
2. Kan oparbejde udenlandske afstrømningsdata og forberede dem til brug for ??.
3. Kan oparbejde depositionsdata og forberede dem til brug for modelafviklingen.
4. Tilsvarende forberedelse af meteorologiske data og randværdier.

Da der pt. arbejdes på at opdatere modelgrundlaget bag de danske afstrømninger (Q, N og P), vil der blive lagt mest vægt på de udenlandske kilder, mens landbaserede danske tilførsler ikke vil blive præsenteret som en del af dette værktøj i denne indledende fase.

Verifikation

Som en vigtig del af den fremtidige brug af modeller i forvaltningen er kvaliteten af modellerne vurderet som modellernes evne til at beskrive de målinger, der foretages i de danske havområder i forbindelse med NOVANA-overvågningen. I dag opsamles disse målinger og arkiveres i nationale databaser. Som en del af verifikationsværktøjet skal der udarbejdes en WEB-adgang, hvor MSTs medarbejdere kan tilgå både målinger og modelresultater på en række givne lokaliteter og få resultaterne præsenteret på den samme figur.

Udover visuelt at kunne vurdere modellens kvalitet skal der i værktøjet indarbejdes enkelte statistiske mål på de enkelte lokaliteter eller for givne havområder. Data, der skal indgå i denne del af projektet, er de klassiske biogeokemiske data (DIN, DIP, TN, TP, klorofyl-a og ilt) foruden salinitet og vandtemperatur. Derudover vil Kd og primærproduktion blive inkluderet i det omfang, det er muligt.

Resultatbehandling

Som en del af formålet med metodeudviklingen under dette projekt tænkes modeldata fremadrettet at indgå både ift. tilstandsvurderinger og evt. ift. den årlige havrapport. På nuværende tidspunkt er disse metoder ikke fastlagt, men som udgangspunkt vil det blive forsøgt at inkludere to til tre forskellige modelpræsentationer som en del af den videre WEB-udvikling.