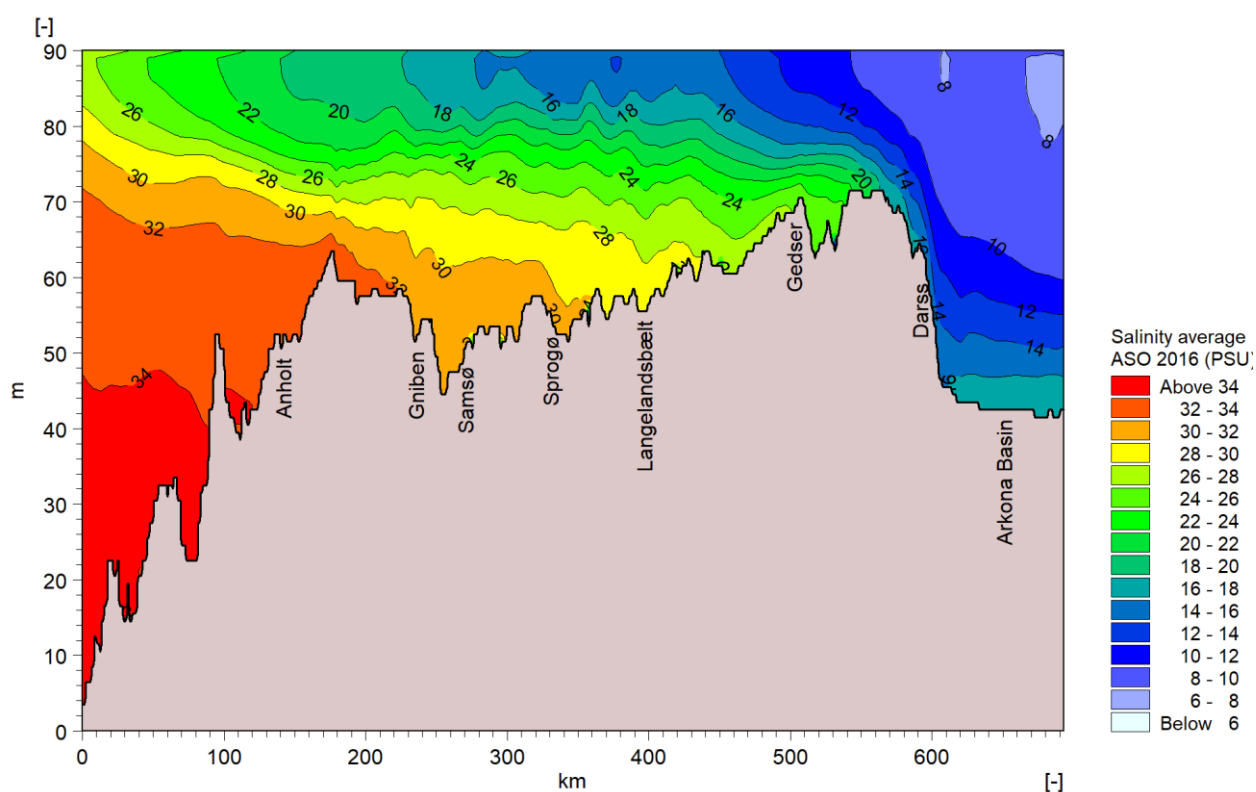


Modellering som supplement til til- standsvurderinger og hydrografisk for- tolkning af fysisk-kemiske og biologiske parametre præsenteret i den marine NOVANA-rapport

Afsluttende rapport



Miljøstyrelsen

Rapport

December 2020

Modellering som supplement til til- standsvurderinger og hydrografisk for- tolkning af fysisk-kemiske og biologiske parametre præsenteret i den marine NOVANA-rapport

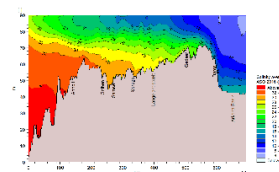
Afsluttende rapport

Udarbejdet for

Miljøstyrelsen, Fyn

Repræsenteret ved

Mikael Hjort Jensen, Biolog



Salinitets transekt ned
igennem Storebælt, 2016

Projektdeltagere	Trine Cecilie Larsen (DHI), Anders Chr. Erichsen (DHI), Jens Würgler Hansen (DCE), Jacob Carstensen (DCE), Karen Timmermann (DCE), Jørgen Hansen (DCE)
Kvalitetssikring	Anders Chr. Erichsen (DHI), Jens W. Hansen (DCE), Anja Skjoldborg Hansen (DCE)
Projektnummer	11823492
Godkendelsesdato	Januar 2021
Klassifikation	Åben



INDHOLDSFORTEGNELSE

1	Introduktion	1
1.1	Motivation	1
2	Modeller	3
2.1	Hydrodynamiske modeller (HD)	4
2.1.1	Udvikling og opsætning	4
2.1.2	Resultater	5
2.2	Mærkning af vandmasser i vandsøjlen	13
2.2.1	Udvikling og opsætning	13
2.2.2	Resultater	13
2.3	Biogeokemiske modeller	15
2.3.1	Udvikling og opsætning	15
2.4	Biogeokemiske rater	15
2.5	Bundtracermødelles	21
3	Hydrografisk prøvekapitel	22
3.1	Anbefalinger til anvendelse og udvikling af hydrografiske indikatorer for miljøforhold i de indre danske farvande	22
4	Tilstandsværdier for sommer klorofyl-a	25
4.1	Baggrund	25
4.2	Metode	27
4.2.1	Bias-korrektion	28
4.2.1.1	Vægtning af bias-faktoren	30
4.2.1.2	Estimerede tilstandsværdier	30
4.2.2	Vandområde 6: Nordlige Øresund	31
4.2.3	Vandområde 28: Sejerø Bugt	33
4.2.4	Vandområde 38: Guldborgsund	36
4.2.5	Vandområde 45: Grønsund	39
4.2.6	Vandområde 56: Østersøen, Bornholm	42
4.2.7	Vandområde 57: Østersøen, Christiansø	45
4.2.8	Vandområde 95: Storebælt SV	47
4.2.9	Vandområde 96: Storebælt NV	50
4.2.10	Vandområde 104: Als Sund	53
4.2.11	Vandområde 122: Vejle Fjord, ydre	56
4.2.12	Vandområde 127: Horsens Fjord, ydre	59
4.2.13	Vandområde 138: Høvring Bugt	62
4.2.14	Vandområde 139: Anholt	65
4.2.15	Vandområde 140: Djursland Øst	68
4.2.16	Vandområde 154: Kattegat, Læsø	71
4.2.17	Vandområde 205: Kattegat, Nordsjælland >20m	75
4.2.18	Vandområde 208: Femerbælt	77
4.2.19	Vandområde 224: Nordlige Lillebælt	80
4.2.20	Vandområde 225: Nordlige Kattegat, Ålbæk Bugt	83
4.2.21	Vandområde 231: Lillebælt, Snævringen	85
4.2.22	Vandområde 233: Kås Bredning og Venø Bugt	88

5	Web-værktøj.....	91
6	Referenceliste	94
Bilag	96	
A	Sammendrag fra Årlig Modelafvikling 2017 / 2018	96
B	Hydrografisk prøvekapitel.....	97
B.1	Metoder og datagrundlag.....	100
B.2	Vandudveksling mellem Østersøen og Nordsøen	100
B.3	Stoftransporter	101
B.4	Transporter	102

FIGURER

Figur 1-1	Danske vandområder og vandkemiske målestationer.....	1
Figur 2-1	Bathymetry for UKNS2: Dækker Nordsøen inklusive farvandene omkring de britiske øer og Skagerrak og Kattegat.	3
Figur 2-2	Bathymetry for IDF/DKBS2: Dækker Østersøen og de indre danske farvande inklusive Skagerrak og Kattegat. Skagerrak og Kattegat er således dækket af både UKNS2 og DKBS.	4
Figur 2-3	Markering af tværsnit til beregning af transporter af vand og salt mellem farvandsafsnit.	6
Figur 2-4	Årlig nettovandføringer (ud af Østersøen) over Arkonabassinet gennem Øresund, over Darss-tærsklen, gennem Storebælt, Lillebælt N og ud af Kattegat-Skagerrak. I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige vandføring for perioden 2000-2017, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 x standardafvigelse og de stiplede linjer ± 2 x standardafvigelse.	7
Figur 2-5	Årlig nettotransport af salt (ud af Østersøen) på tværs over Arkonabassinet, gennem Øresund, over Darss-tærsklen, gennem Storebælt, Lillebælt N, og ud af Kattegat. I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige vandføring for perioden 2000-2017, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 x standardafvigelse og de stiplede linjer ± 2 x standardafvigelser.....	8
Figur 2-6	Sæsonvariation i nettovandføring (ud af Østersøen) på tværs over Arkonabassinet gennem Øresund, over Darss tærsklen, gennem Storebælt, Lillebælt N, og ud af Kattegat. I hver figur repræsenterer den blå bjælke gennemsnittet måned for måned for perioden 2000-2017, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelser, og de orange pletter angiver vandføringen i 2018.	9
Figur 2-7	Sæsonvariation i nettotransport af salt (ud af Østersøen) på tværs over Arkonabassinet gennem Øresund, over Darss tærsklen, gennem Storebælt, Lillebælt N, og ud af Kattegat. I hver figur repræsenterer den blå bjælke gennemsnittet måned for måned for perioden 2000-2017, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelser, og de orange pletter angiver saltransporten i 2018.	10
Figur 2-8	Samlet årlig nettotransport af vand (ud af Østersøen) igennem Lillebælt S (venstre) og opdelt i overflade- (midt) og bundtransporter (nederst). I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige vandføring for perioden 2000-2017, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 x standardafvigelse og de stiplede linjer ± 2 x standardafvigelser. I højre kolonne vises tilsvarende sæsonvariationer. I hver figur repræsenterer den blå bjælke den gennemsnitlige vandføring måned for måned for perioden 2000-2017, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelser, og de orange pletter angiver saltransporten i 2018.	11
Figur 2-9	Afgrænsning af de indre danske farvande, hvor gennemsnitlig temperatur og saltholdighed er beregnet for hele vandmassen.....	12

Figur 2-10	Varmebalance i de indre danske farvande. Venstre graf: Den gennemsnitlige årsmiddel for perioden 2000-2017 er angivet ved den kraftigt optrukne blå linje, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 standardafvigelse, og de stiplede linjer repræsenterer ± 2 standardafvigelser. De orange firkanter angiver middeltemperaturen for de enkelte år. Højre graf: Sæsonvariation i vandtemperaturen, de blå bjælker repræsenterer månedsmidlen som gennemsnit for perioden 2000-2017, barerne repræsenterer henholdsvis én og to standardafvigelser fra gennemsnittet, og de orange pletter viser månedsmidlerne for 2018.	12
Figur 2-11	Saltbalancen i de indre danske farvande. Venstre graf: årsmiddel for perioden 2000-2017 angivet ved den kraftigt optrukne blå linje, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 standardafvigelse, og de stiplede linjer repræsenterer ± 2 standardafvigelser. De orange firkanter angiver middelsaliniteten for de enkelte år. Højre graf: Sæsonvariation i salinitet, de blå bjælker repræsenterer månedsmidlerne for perioden 2000-2017, barerne repræsenterer henholdsvis én og to standardafvigelser, og de orange pletter viser månedsmidlerne for 2018.	13
Figur 2-12	Vandmasserne i overfladevandet efter mærkningen af vandmassen siden 2000 ved den sydvestlige atlantehavsrands/Engelske Kanal, som fordelingen ser ud den 01-01-2018 (venstre) og 01-01-2019 (højre), baseret på UKNS2 (øverst) og DKBS2 (nederst).	14
Figur 2-13	Vandmasserne i overfladevandet efter mærkningen af vandmassen siden 2000 ved den vestlige atlantehavsrands, som fordelingen ser ud den 01-01-2018 (venstre) og 01-01-2019 (højre), baseret på UKNS2 (øverst) og DKBS2 (nederst).	14
Figur 2-14	Gennemsnitlige nettotransporter over transektet Skagen-Gøteborg beregnet med DKBS2-modellen. Til venstre er vist nettotransporten af ferskvand fra floder og åer med udmunding i Nordsøen, mens nettotransporten af vandmasser fra den sydvestlige atlantehavsrands/Engelske Kanal er vist til højre. De blå bjælker viser månedlige gennemsnit fra perioden 2000-2017, mens barerne viser henholdsvis én og to standardafvigelser. Orange pletter viser månedlige gennemsnit for 2018. Negative værdier viser nettotransport ind i Kattegat, mens positive værdier viser nettoudstrømning til Skagerrak.	15
Figur 2-15	Opdeling af Østersøen i HELCOM-områder. Område nummer 13 udgør Kattegat, mens område nummer 11 udgør Bornholm-bassinet (kopi fra https://web.archive.org/web/20071023052150/http://www.baltic.vtt.fi/demo/baltmap.htm).	16
Figur 2-16	Årlig primærproduktion (øverst) og årligt iltforbrug (nederst) i Kattegat (venstre kolonne) og Bornholm-bassinet (højre kolonne). I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige værdi for perioden 2010-2016, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 x standardafvigelse og de stiplede linjer ± 2 x standardafvigelser.	17
Figur 2-17	Årlig sedimentflux af N (øverst), P (midterst) og årlig denitrifikation (nederst) i Kattegat (venstre kolonne) og Bornholm-bassinet (højre kolonne). I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige værdi for perioden 2010-2016, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 x standardafvigelse og de stiplede linjer ± 2 x standardafvigelser.	18
Figur 2-18	Årlig N-fiksering i Kattegat (venstre kolonne) og Bornholm-bassinet (højre kolonne). I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige værdi for perioden 2010-2016, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 x standardafvigelse og de stiplede linjer ± 2 x standardafvigelser.	19
Figur 2-19	Sæsonvariation i primærproduktion (øverst) og sedimentets iltforbrug (nederst) i Kattegat (venstre) og Bornholm-bassinet (højre). I hver figur repræsenterer den blå bjælke månedsmidlerne for perioden 2010-2016, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelser, og de orange pletter angiver månedsværdierne i 2016.	19
Figur 2-20	Sæsonvariation i sedimentflux af N (øverst) og P samt denitrifikation (nederst) i Kattegat (venstre) og Bornholm-bassinet (højre). I hver figur repræsenterer den blå bjælke månedsmidlerne for perioden 2010-2016, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelser, og de orange pletter angiver månedsværdierne i 2016.	20
Figur 2-21	Sæsonvariation i N-fiksering i Kattegat (venstre) og Bornholm-bassinet (højre). I hver figur repræsenterer den blå bjælke månedsmidlerne for perioden 2010-2016, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelser, og de orange pletter angiver månedsværdierne i 2016.	20

Figur 3-1	Transporter, der foreslås anvendt som indikatorer. 1) beskriver nettoudstrømningen fra Østersøen gennem overfladelaget (vandvolumen), 2) nettoindstrømningen af bundvand under springlaget ved Kattegat-Skagerrak fronten, 3) blanding på tværs af springlaget i Kattegat og Bælthavet, 4) indstrømning af bundvand over Darss-tærsklen i Femern Bælt.	23
Figur 4-1	Oversigt over sommer klorofyl-a i vandområder i danske farvande. Skraverede vandområder mangler tilstandsværdier baseret på målinger: Figuren viser modelleret sommer klorofyl-a (gennemsnit over 2012-2016) og bias-faktor på de enkelte målestationer. Bias-faktoren indikerer, forholdet mellem modelresultaterne (gennemsnit 2002-2016) og målingerne (2002-2016). En station, der er angivet ved en trekant, der peger op, indikerer, at modellens værdi samlet set er lavere end målt klorofyl-a i det punkt, og en trekant, der vender nedad, indikerer, at modellens klorofyl-a i det punkt er større, mens en cirkel indikerer overensstemmelse inden for 10 %.	26
Figur 4-2	Målinger (grønne cirkler) sammenlignet med modellerede koncentrationer (sort linje) af klorofyl-a. Øverst er vist et eksempel fra NOR409 (Kattegat), nederst er vist et eksempel fra SJYKKF5 (Flensborg Fjord, ydre).	28
Figur 4-3	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 6 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	32
Figur 4-4	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	33
Figur 4-5	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 28 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	35
Figur 4-6	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	36
Figur 4-7	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 38 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	38
Figur 4-8	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	39
Figur 4-9	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 45 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	41
Figur 4-10	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	42
Figur 4-11	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 56 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	44
Figur 4-12	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	45
Figur 4-13	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 57 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	46
Figur 4-14	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	47
Figur 4-15	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 95 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	49
Figur 4-16	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	50
Figur 4-17	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 96 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede biasfaktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	52
Figur 4-18	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	53
Figur 4-19	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 104 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	55
Figur 4-20	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	56
Figur 4-21	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 122 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	58
Figur 4-22	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	59

Figur 4-23	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 127 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	61
Figur 4-24	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	62
Figur 4-25	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 138 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	64
Figur 4-26	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	65
Figur 4-27	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 139 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	67
Figur 4-28	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	68
Figur 4-29	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 140 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	70
Figur 4-30	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	71
Figur 4-31	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 154 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	73
Figur 4-32	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	74
Figur 4-33	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 205 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	76
Figur 4-34	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	77
Figur 4-35	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 208 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	79
Figur 4-36	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	80
Figur 4-37	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 224 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	82
Figur 4-38	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	83
Figur 4-39	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 225 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	84
Figur 4-40	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	85
Figur 4-41	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 231 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.	87
Figur 4-42	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	88
Figur 4-43	Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 233 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området.	89
Figur 4-44	Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.	90
Figur 5-1	Model Performance: Plot af modelleret salinitet vist sammen med målinger for FYN6300044 beliggende i det sydlige Lillebælt.	91
Figur 5-2	Model Exploration: Plot af den modellerede fladeudbredelse af salinitet t i Limfjorden.	92
Figur 5-3	Årlige gennemsnit af salinitet i overfladevandet og i bundvandet i Det Sydfynske Øhav. Orange cirkler udgør gennemsnit af modelresultater, mens røde firkanter udgør gennemsnit af målinger (uden hensyntagen til antallet af målinger). Foruden gennemsnit er inkluderet standardafvigelser for både målinger og modelresultater.	93
Figur B- 1	Dybdekorrekturer i de indre danske farvande. Den sorte streg indikerer området af de indre danske farvande.	97
Figur B- 2	Profil af temperatur og saltholdighed gennem vandsøjlen (CTD-profil) i Øresund 21. april 2008. Springlaget (pycnoklinen) ligger i 12 m dybde. Her ændres saltholdigheden 20 promille og temperaturen 1,5 grader over et dybdespænd på få meter.	98

Figur B- 3	Profiler af næringsstoffer, ilt og klorofyl før (februar, venstre) og efter (april, højre) forårsopblomstringen i Kattegat og Bælthavet 2008 (udtrykt som gennemsnit for 32 stationer). Grønne symboler = klorofylkoncentrationen i $\mu\text{g/l}$ (øverste akse). Blå symboler = iltkoncentrationen (ml/l , nederste akse), sorte og pink symboler = henholdsvis nitrat- og silikatkoncentrationen ($\mu\text{M/l}$). Klorofylmaksimum omkring springlaget i ca. 17 meters dybde skyldes ikke vækst men det forhold, at forårsopblomstringen er slut, og at algebiomassen er ved at synke ud af vandsøjlen.....	99
Figur B- 4	Gennemsnitlig saltholdig i 2016 langs et tværsnit gennem de indre danske farvande fra Skagerrak til Bornholm. Bemærk, at springlaget forekommer mindre skarpt end i Figur B-3. Det skyldes, at springlaget i årets løb flytter sig et par meter op og ned, og derfor fremstår saltgradienten mindre skarp, når der anvendes gennemsnitlige værdier.	101
Figur B- 5	Modellerede årlige nettotransporter i perioden 2000 – 2018 af vand (venstre kolonne) og salt (højre kolonne) ud af Østersøen gennem Øresund, Storebælt og Lillebælt. Vandrette linjer angiver middelværdi og henholdsvis én og to standardafvigelser.	103

TABELLER

Tabel 4-1	Vandområder som mangler en målt tilstandsværdi i vandområdeplanerne 2021-2027.....	27
Tabel 4-2	Beregnete tilstandsværdier	30
Tabel 4-3	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 6. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	33
Tabel 4-4	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 28. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	36
Tabel 4-5	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 38. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	39
Tabel 4-6	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 45. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	42
Tabel 4-7	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 56. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	45

Tabel 4-8	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 57. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	47
Tabel 4-9	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 95. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	50
Tabel 4-10	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 96. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	53
Tabel 4-11	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 104. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	56
Tabel 4-12	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 122. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	59
Tabel 4-13	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 127. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	62
Tabel 4-14	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 138. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	65
Tabel 4-15	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 139. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	68

Tabel 4-16	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 140. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	71
Tabel 4-17	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 154. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	74
Tabel 4-18	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 205. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	77
Tabel 4-19	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 208. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	80
Tabel 4-20	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 224. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	83
Tabel 4-21	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 225. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	85
Tabel 4-22	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 231. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	88
Tabel 4-23	Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 233. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.	90

Forkortelser

<i>AU</i>	Aarhus Universitet
<i>EU</i>	Eutrofiering / biogeokemisk
<i>HD</i>	Hydrodynamisk
<i>MBI</i>	Major Baltic Inflow
<i>MST</i>	Miljøstyrelsen
<i>DKBS2</i>	Mekanistiske model dækkende de indre danske farvande (IDF) og Østersøen
<i>UKNS2</i>	Mekanistisk model dækkende Nordsøen

1 Introduktion

Denne rapport indeholder modelopsætning, resultatbehandling og analyser for projektet 'Model-
lering som supplement til tilstandsvurderinger og hydrografisk fortolkning af fysisk-kemiske og
biologiske parametre præsenteret i den marine NOVANA-rapporten'.

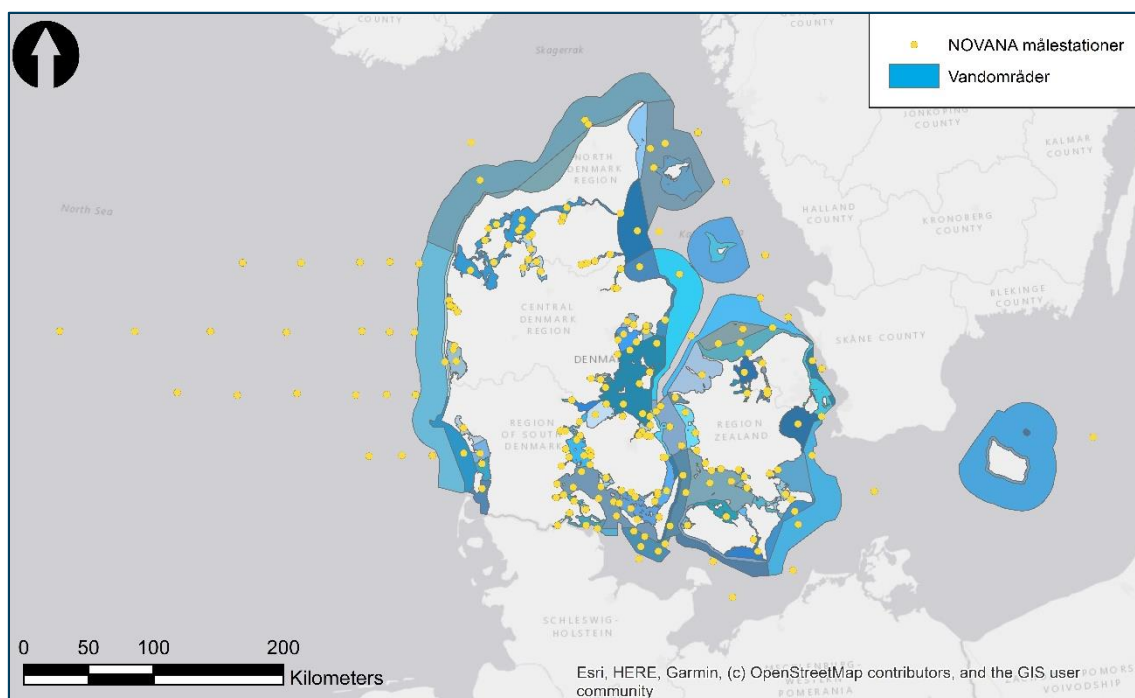
Modellerne er udviklet på baggrund af Erichsen et al. (2018a) og Erichsen et al. (2018b), og re-
sultaterne er analyseret ud fra principperne beskrevet i disse referencer.

Projektet indgår som en del af en udviklingsfase, som på sigt skal understøtte tilstandsvurderin-
ger og de målinger, der danner grundlag for den årlige havrapport. Resultaterne fra dette projekt
vil blive brugt vejledende med henblik på at danne grundlag for en fremtidig brug af mekanisti-
ske modeller i de årlige havrapporter.

Dette dokument inkluderer data for årene 2000 – 2018 men med fokus på de nye resultater fra
modelkørslerne for 2018.

1.1 Motivation

I dag udgør målinger i de danske marine vandområder (Figur 1-1) grundlaget for både tilstands-
vurderinger i henhold til vandrammedirektivet og havstrategien, foruden de årlige NOVANA-
rapporter (herunder havrapporten), der udgives af Aarhus Universitet (AU), som en del af AUs
rammeaftale med Miljøstyrelsen (MST).



Figur 1-1 Danske vandområder og vandkemiske målestationer.

I forhold til tilstandsvurderinger og NOVANA-rapportering er mekanistiske modeller et relativt nyt
værktøj, selv om deres anvendelsesmuligheder er undersøgt igennem en række år, senest i
Erichsen et al (2018b). Dette forudgående arbejde med mekanistiske modeller ligger til grund for
nærværende projekt. Det er hensigten, at modelresultater fremover i højere grad skal supplere
og kvalificere måledata i tilstandsvurderinger og NOVANA-rapportering med henblik på at ud-
nytte modellernes styrke i forhold til at vurdere årsagssammenhænge.

Følgende mål er identificeret for dette projekt:

- Simulering af yderligere to år ved brug af det samme modelgrundlag (Nordsømodellen og IDF), der blev benyttet i Erichsen et al. (2018b). 2017 og 2018 køres for den hydrodynamiske (HD) model (strøm, salinitet, vandtransporter mm), mens tidligere modelberegninger med de biogeokemiske (EU) modeller (phytoplankton, næringsstoffer, ilt mm.) for alle danske marine områder inddrages i nærværende projekt. Derudover skal modellering af en bundtracer undersøges, og muligheden for at bruge denne til at vurdere den generelle vandkvalitet, som for eksempel iltvind, skal afdækkes. Opsætningen og resultaterne heraf er beskrevet i kapitel 2.
- Modelresultaterne inddrages i et hydrografisk prøvekapitel udarbejdet af DCE i samarbejde med DHI og MST med henblik på, at et sådant kapitel fremover kan indgå i den årlige havrapport (kapitel 3).
- Flere vandområder er ikke dækket af det nationale måleprogram (NOVANA). Modelresultater, statistiske analyser og eksisterende data skal danne grundlag for tilstandsvurderinger i disse områder (afsnit 4).
- Web-værktøjet skal opdateres med nye modelresultater samt statistiske analyser af både HD og EU (kapitel 5).

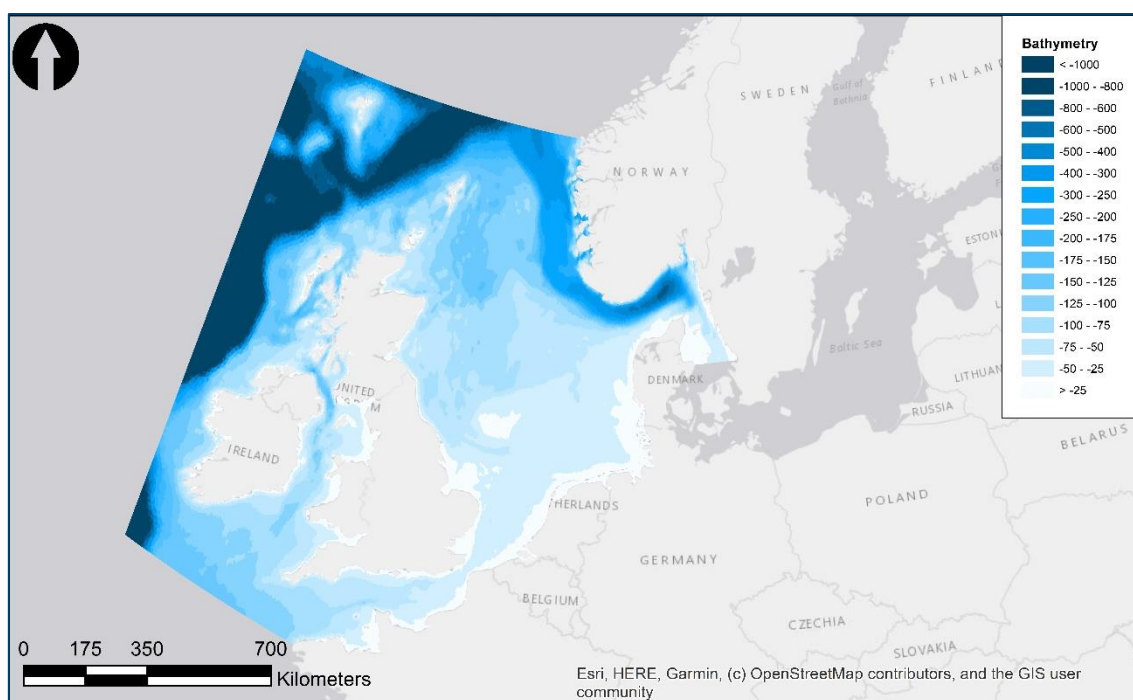
De fire mål er baseret på anbefalinger fra et tidligere projekt beskrevet i Erichsen et al. (2018b). Et kort sammendrag af det projekt er givet i Bilag A.

2 Modeller

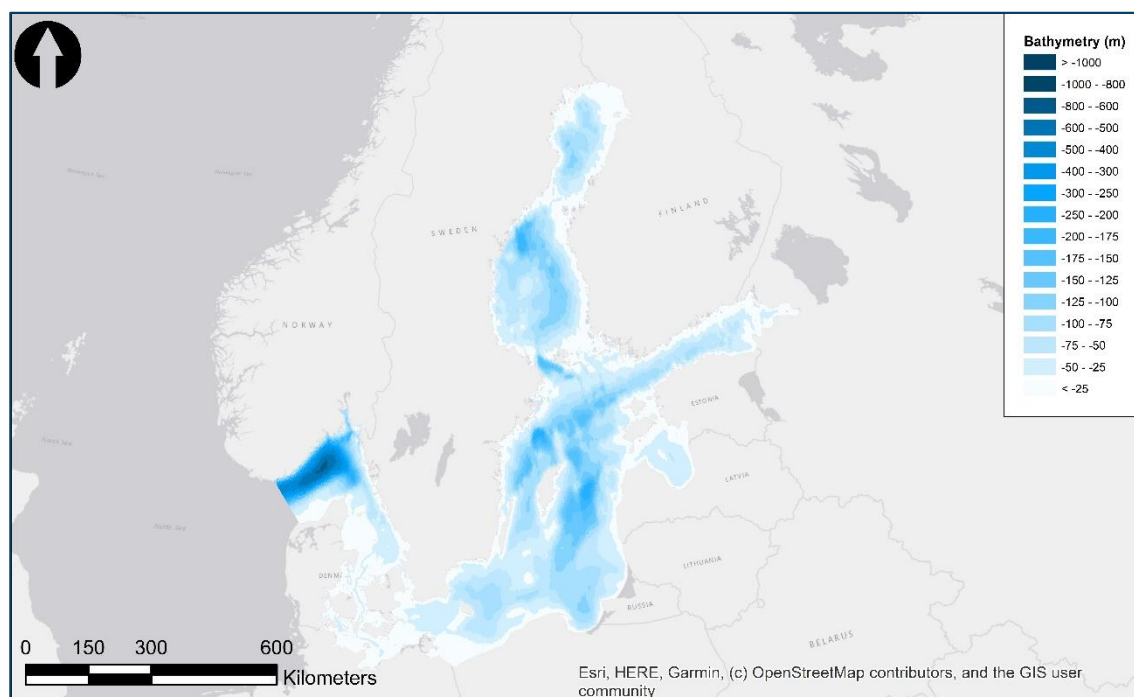
Modellerne, der benyttes i dette projekt, er udviklet af DHI i forbindelse med modelarbejdet under vandområdeplanerne 2015-2021 og er anvendt løbende i de tidligere projekter (Erichsen et al. 2018a og 2018b). Der foretages løbende kvalitetskontrol af både model-setups og resultater, og som en del af modeludviklingen under arbejdet med vandområdeplanerne 2021-2027 er både den underliggende MIKE-software og selve modellerne blevet opdateret.

Modellen for Nordsøen (UKNS2) (Figur 2-1) og modellen for de indre danske farvande (IDF/DKBS2) (Figur 2-2) er anvendt under dette projekt. Den fysiske komponent i disse modeller er for begge områder kørt for både 2017 og 2018 i nærværende projekt. Tidligere har den fysiske modelkomponent været kørt for 2000 – 2016, og resultater fra disse kørsler indgår i analyserne af år-til-år variation i dette projekt.

Derudover er der kørt biogeokemiske modeller for årene 2000-2016, og resultater fra disse modelkørsler er også inddraget i denne rapport.



Figur 2-1 Bathymetry for UKNS2: Dækker Nordsøen inklusive farvandene omkring de britiske øer og Skagerrak og Kattegat.



Figur 2-2 Bathymetry for IDF/DKBS2: Dækker Østersøen og de indre danske farvande inklusive Skagerrak og Kattegat. Skagerrak og Kattegat er således dækket af både UKNS2 og DKBS.

2.1 Hydrodynamiske modeller (HD)

2.1.1 Udvikling og opsætning

Begge HD-modeller indgår i MSTs mekanistiske modelkompleks og er blevet anvendt i flere projekter. De bliver løbende opdateret og forbedret og er senest blevet opdateret i forbindelse med vandområdeplanerne 2021-2027 (DHI 2019a og DHI 2019b). Både UKNS2 og DKBS2 bliver kørt som 3D-modeller i MIKE3FM version 17 Service Pack 2. Dette giver de bedste muligheder for at sammenligne med modelresultater fra tidligere projekter.

UKNS2 dækker et område fra Vågsøy på Norges vestkyst i nord til Færøerne, Irland og den Engelske Kanal mod nordvest, vest og syd. Den østlige rand ligger i det nordlige Kattegat nord for Grenå. Denne model bruges til vandområderne vest for Skagen. Den horisontale opløsning går fra 15-20 km i randområderne ned til 1-2 km i interesseområderne, såsom den jyske vestkyst. Vertikalt er modellen opløst i 13 lag til en dybde af maksimum 61 m, og derefter 10 m lag til 200m. Derefter stiger dybdeintervallerne indtil maksimumdybden er nået. I alt er modellen opløst i 46 vertikale lag.

UKNS2 bliver drevet af data fra 3D-rande mod nord, vest og sydvest, data der bliver brugt i DHIs operationelle vandudsigt (Water Forecast). Den vestlige rand i Kattegat bliver drevet som en vandstandsrand baseret på en global tidevandsmodel.

DKBS2 dækker Østersøen og de indre danske farvande til et tværsnit i Skagerrak fra Hanstholm på Jyllands vestkyst til Norges sydkyst nær Kristiansand. Denne rand bliver drevet af modelresultater fra UKNS2. DKBS2 har en horisontal opløsning på 5-6 km ved randen og i Østersøen og ned til ½-1 km m nær kysterne i de indre danske farvande. Den vertikale opløsning består af en kombination af lagtykkelser. De øverste maksimum 10 m er fordelt i 10 lag 1 m lag. De følgende 210 m er 1 lag, og derfra stiger opløsningen over de sidste 23 lag til bunden.

Begge modeller er drevet af meteorologidata fra globale eller regionale modeller. De eksterne data inkluderer vind, lufttemperatur, relativ fugtighed, solinstråling, skydække, nedbør samt afstrømning fra land.

Modellernes HD-outputs, som indgår i dette projekt, inkluderer salinitet, temperatur, vandstand, strømstyrke og -retning, samt akkumulerede transport/vandføring over specifikke tværsnit. Udover dette anvendes HD-resultaterne til at drive transport- og procesmodeller gennem eksempelvis mærkning af vandmasser i vandsøjlen (afsnit 2.2), de biogeokemiske modeller (afsnit 2.3) og til bundtracer-undersøgelserne (afsnit 2.5).

2.1.2 Resultater

Til understøttelse af den årlige havrapportering er flere aspekter af modelresultaterne blevet analyseret. I de følgende afsnit beskrives resultaterne for både strøm, salinitet og temperatur.

Alle modellerede år (2000 – 2017) indgår i analyserne, men fokus for nærværende projekt ligger i det senest modellerede år, dvs. 2018.

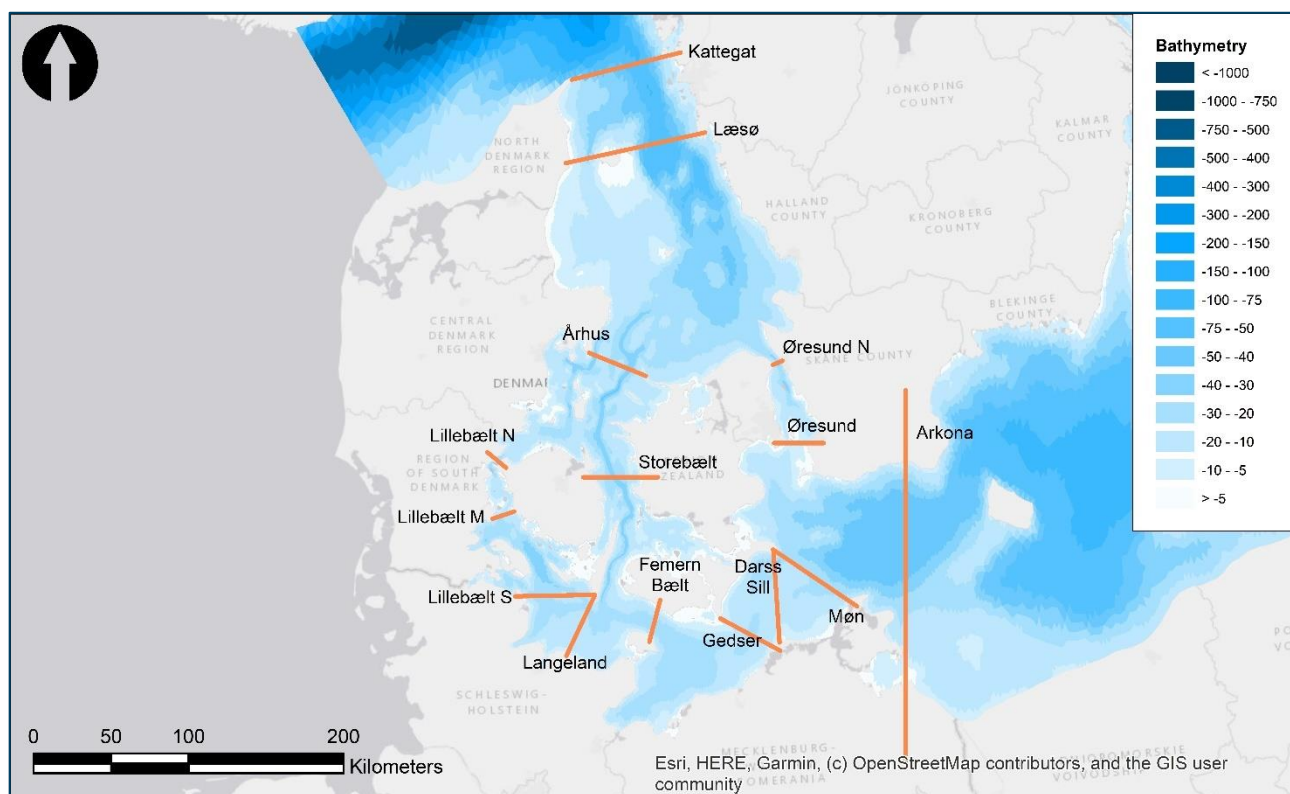
Den akkumulerede varme og de øvrige vandmasse-egenskaber i de åbne indre farvande styres af tilstrømningen af "varmt" Nordsøvand med høj salinitet og tilstrømningen af koldere (vinter og forår) og mindre salt brakvand fra Østersøen sammen med udveksling med luften over vandoverfladen samt solindstråling. Dette skaber en tolagsstruktur i vandsøjlen, som varierer rumligt og tidligt i Kattegat og Bælthavet, hvor både sæsonvariationer og år-til-år variationer er drevet af de meteorologiske forhold. Udveksling af vand mellem Nordsøen og Østersøen sker gennem de indre danske farvande, dvs. gennem Bælthavet (Femern Bælt, Øresund, Storebælt, Lillebælt) og Kattegat.

Overordnet drives udvekslingen af tidevandsstrømme, vind og ferskvandsoverskuddet i Østersøområdet (ca. 400-500 km³/år) samt forskelle i lufttryk, vandstande og vandets densitet mellem Nordsøen og Østersøen. Lavvandede tærskler i det sydlige Øresund (minimumdybde 8 m ved Drogden) og i Femern Bælt (minimumdybde 18 m ved Darss) bremser tilførslen af salt bundvand til den vestlige og centrale del af Østersøen. Lillebælt er langt det snævraste af de tre bæltter og bidrager derfor kun lidt til udveksling af vand. I perioder med stor tilførsel af vand til Østersøen via Kattegat – såkaldte "Major Baltic Inflow" (MBI) – udløst af storme fra vestlige og nordvestlige retninger presses salt bundvand over tærsklerne og strømmer langs bunden ind i Østersøen, hvorved det iltfattige bundvand bliver udskiftet med et stort volumen indstrømmende vand med en større saltholdighed og et højere iltindhold end i det eksisterende bundvand. Store saltindbrud forekommer irregulært, typisk med flere års mellemrum. De seneste store saltindbrud skete i december 2014 og i november 2015. Under en gennemsnitlig MBI-hændelse tilføres der ca. 80-100 km³ vand til Østersøen med en middelsaltholdighed på ca. 20-22 ‰.

I det følgende beskrives de hydrografiske parametre samt udveksling af vand og salt mellem Østersøen og Kattegat for 2018, som sammenholdes med "normalforholdene" defineret ved middelværdierne og standardafvigelser for 2000-2017 for saltholdighed, temperatur samt udveksling af salt og vand gennem Storebælt og Øresund. Både årets (2018) værdier og langtidsmidler (2000-2017) er beregnet ved numerisk modellering. Variationer i de hydrografiske forhold og vandudvekslinger inden for ± 1 x standardafvigelsen anses som "normale"; variationer mellem ± 1 og ± 2 x standardafvigelsen er uden for normalområdet; mens variationer over ± 2 x standardafvigelsen anses som stærkt afvigende.

Udveksling af vand og salt gennem Bælthavet og grænsen mellem Kattegat og Skagerrak

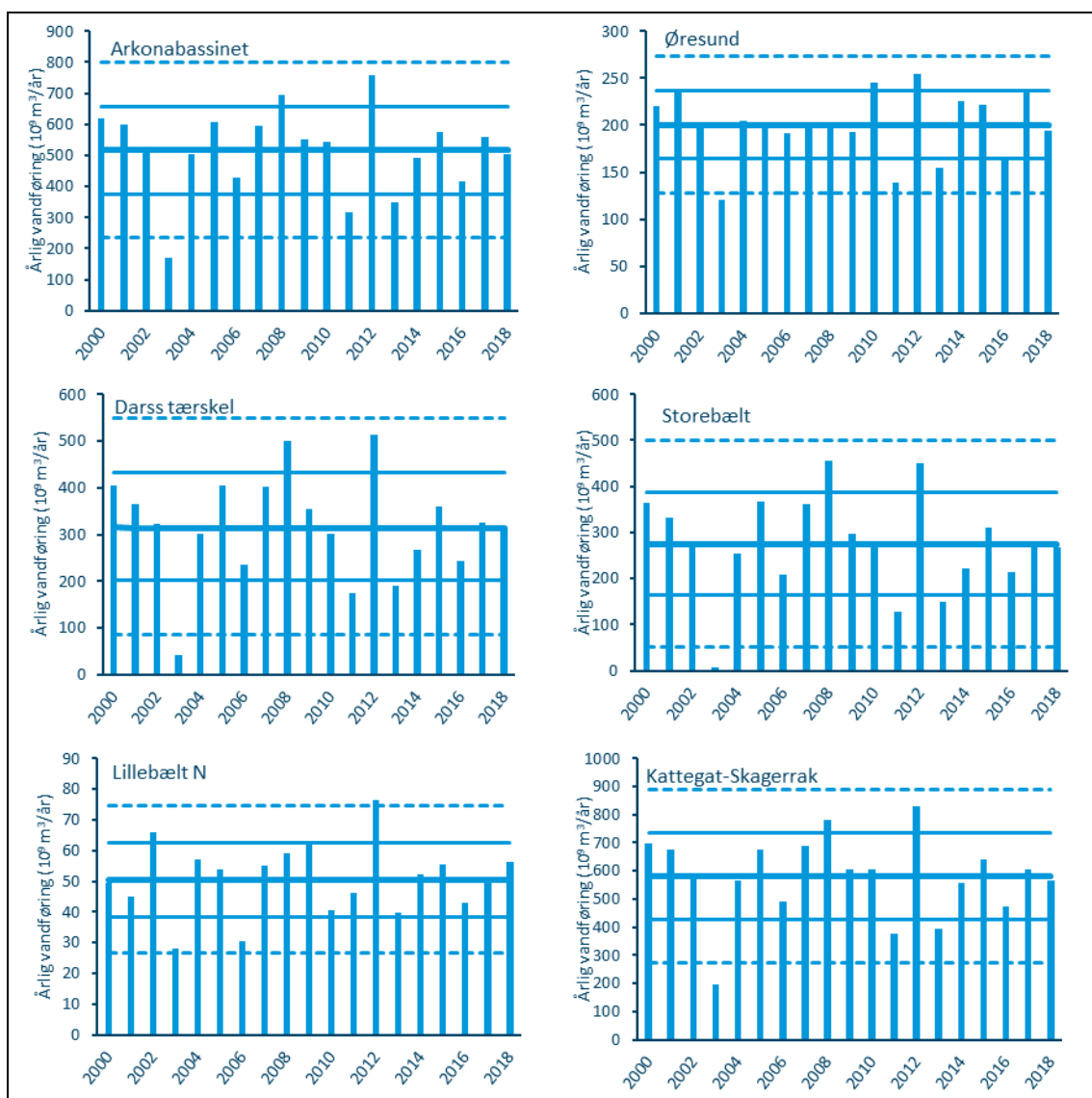
Transporter af vand og salt gennem Storebælt, Øresund (Drogden-tærsklen), Lillebælt, Femern Bælt (Darss-tærsklen), Arkonabassinet og over grænsen mellem Kattegat og Skagerrak er opgjort på måneds- og årsbasis. Modelrandene er vist på Figur 2-3.



Figur 2-3 Markering af tværsnit til beregning af transporter af vand og salt mellem farvandsafsnit.

Den årlige nettoudstrømning af vand fra Østersøen gennem Femern Bælt (Darss-tærsklen) og gennem Øresund (Drogden-tærsklen) i 2018 lå lige under gennemsnittet for perioden 2000-2017. Dette var tilfældet for alle tværsnit, med undtagelse af Lillebælt-tværsnittet hvor vandføringen i 2018 var en lille smule større end gennemsnittet. Den generelle vandføring i Lillebælt var dog relativt lille i forhold til den samlede vandføring gennem de indre danske farvande (Figur 2-4).

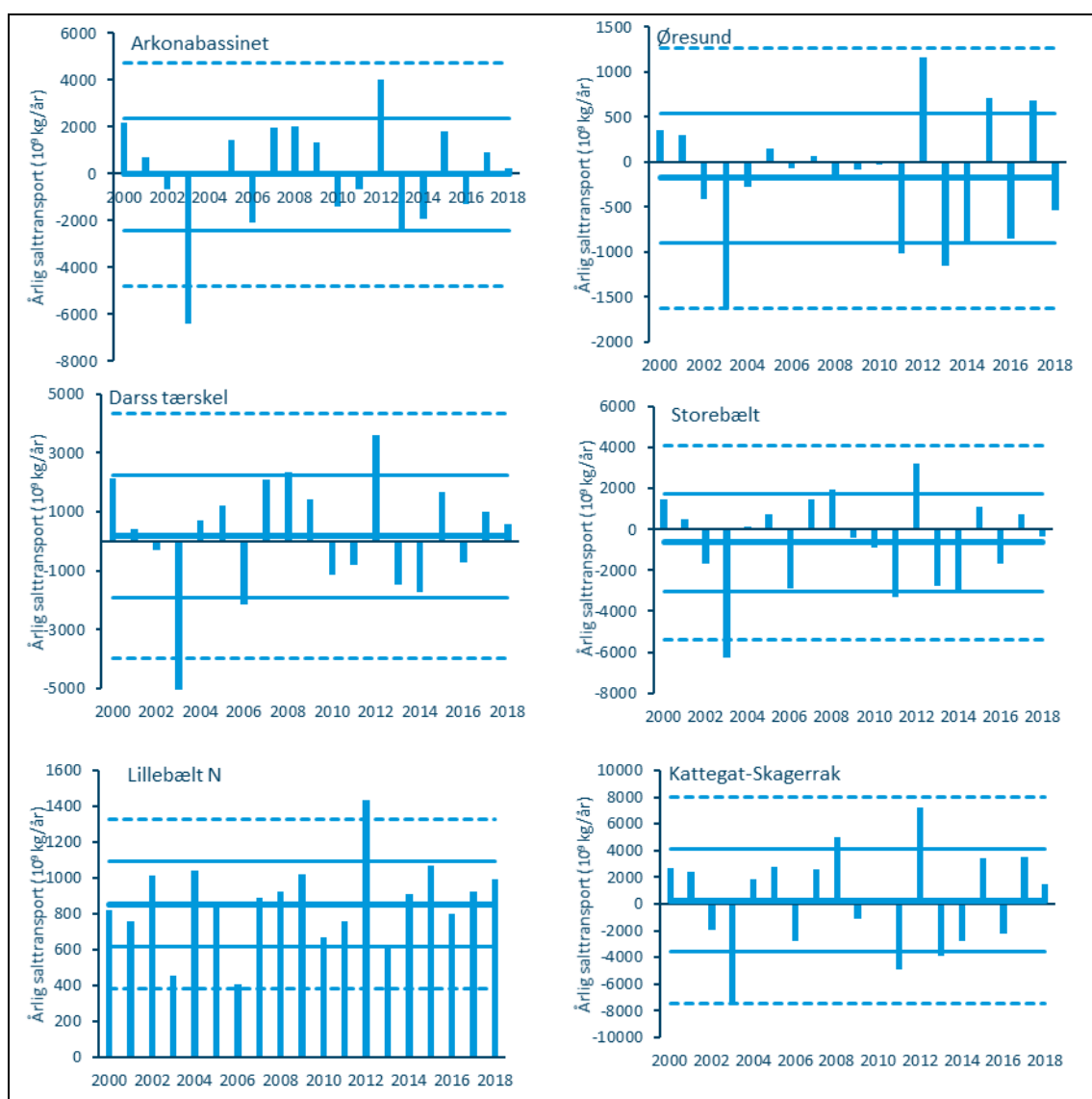
Den årlige nettovandføring steg i 2018 fra et gennemsnit på 516 km³ ved Arkonabassinet til 581 km³ ved grænsen mellem Kattegat og Skagerrak. Forskellen skyldes tilførsel af ferskvand fra nedbør og vandløb/elve i Bælthavet og i Kattegat, primært fra Sverige.



Figur 2-4 Årlig nettovandføringer (ud af Østersøen) over Arkonabassinet gennem Øresund, over Darss-tærsklen, gennem Storebælt, Lillebælt N og ud af Kattegat-Skagerrak. I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige vandføring for perioden 2000-2017, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 x standardafvigelse og de stiplede linjer ± 2 x standardafvigelse.

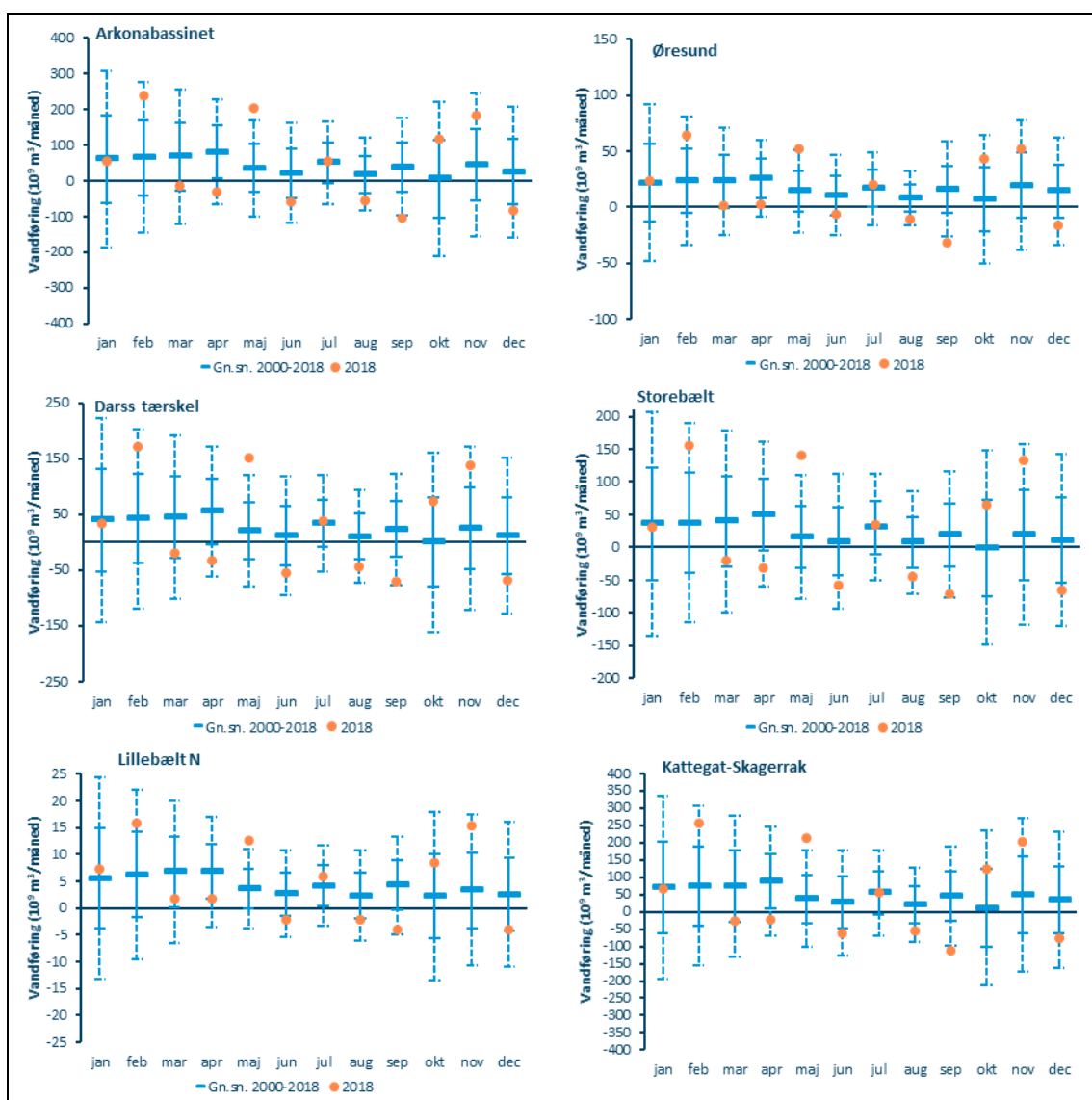
Figur 2-5 viser den gennemsnitlige (2000-2017) salttransport gennem de indre danske farvande. Der var i gennemsnit en nettoimport (sydgående) af salt gennem Storebælt og Øresund, mens der var en nettoeksport (nordgående) af salt gennem Lillebælt. Den gennemsnitlige saltbalance gennem Femern Bælt var svagt positiv men dækker over store år-til-år variationer.

Gennemsnittet for saltbalancen over tværsnittene Kattegat-Skagerrak og Arkonabassinet var tæt på 0.

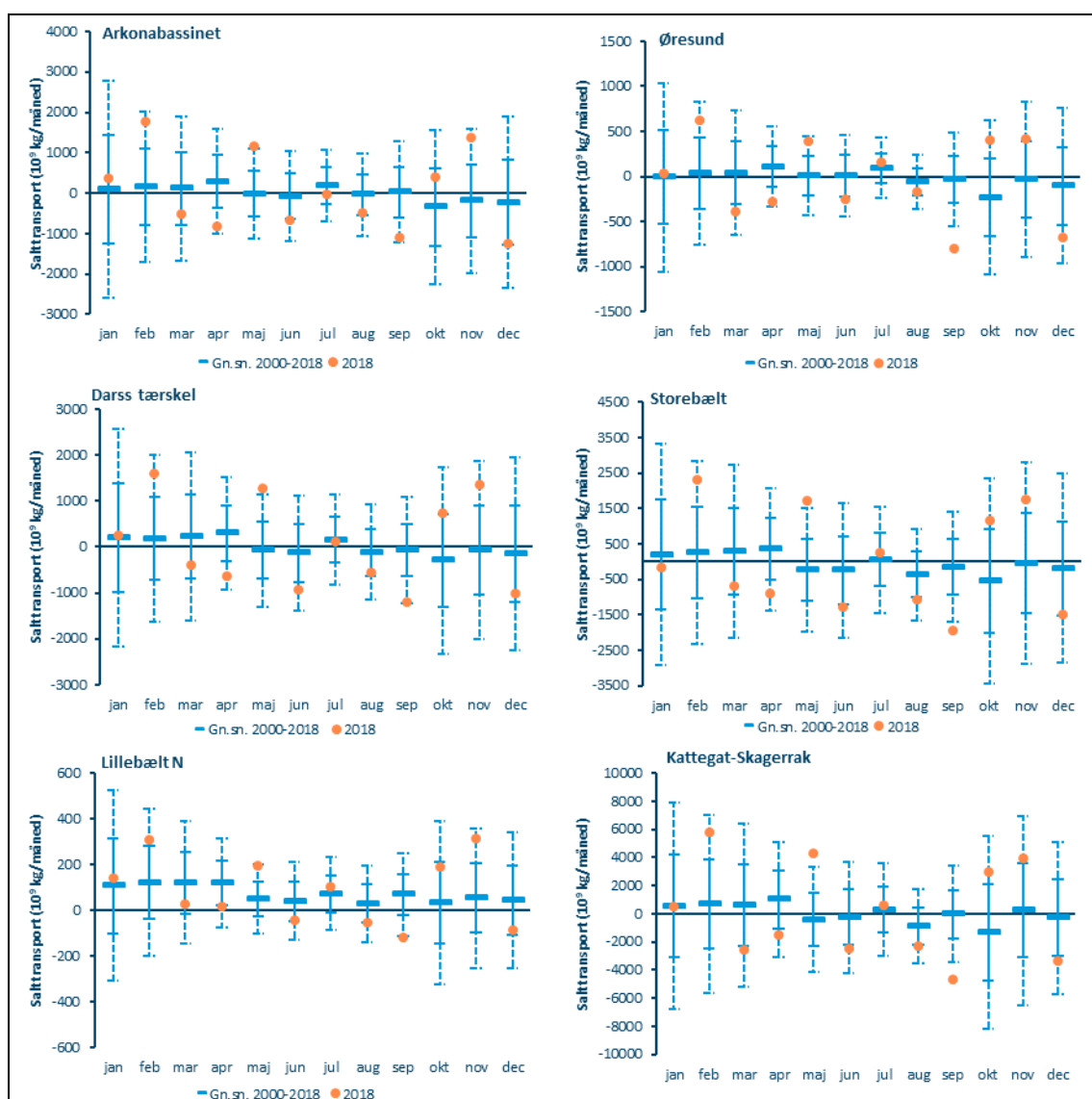


Figur 2-5 Årlig nettotransport af salt (ud af Østersøen) på tværs over Arkonabassinet, gennem Øresund, over Darss-tærsklen, gennem Storebælt, Lillebælt N, og ud af Kattegat. I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige vandføring for perioden 2000-2017, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 x standardafvigelse og de stiplede linjer ± 2 x standardafvigelser.

Transportberegningerne (Figur 2-6 og Figur 2-7) viser en gennemgående sæsonvariation i udstrømningen fra Østersøen med højeste transporter af vand i januar-april. År 2018 afveg fra langtidsmidlen ved højere udstrømning end normalt (> 1 x standardafvigelse) i februar, maj, oktober og november, samt en markant nettoindstrømning (> 1 x standardafvigelse) i september og december. Både maj og september afviger mere end to standardafvigelser fra gennemsnittet.



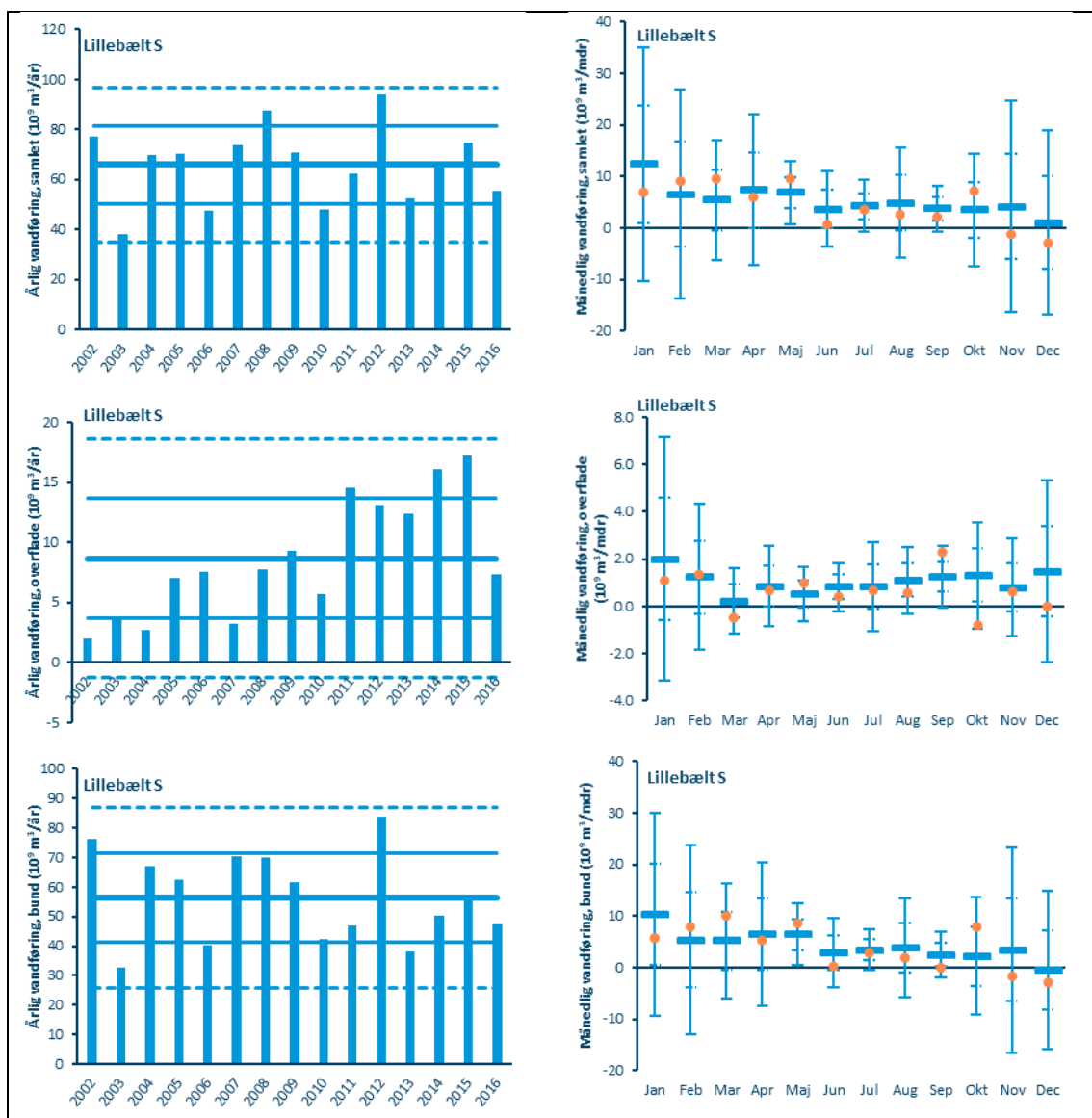
Figur 2-6 Sæsonvariation i nettovandføring (ud af Østersøen) på tværs over Arkonabassinet gennem Øresund, over Darss tærsklen, gennem Storebælt, Lillebælt N, og ud af Kattegat. I hver figur repræsenterer den blå bjælke gennemsnittet måned for måned for perioden 2000-2017, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelse, og de orange pletter angiver vandføringen i 2018.



Figur 2-7 Sæsonvariation i nettotransport af salt (ud af Østersøen) på tværs over Arkonabassinet gennem Øresund, over Darss tærsklen, gennem Storebælt, Lillebælt N, og ud af Kattegat. I hver figur repræsenterer den blå bjælke gennemsnittet måned for måned for perioden 2000-2017, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelser, og de orange pletter angiver salttransporten i 2018.

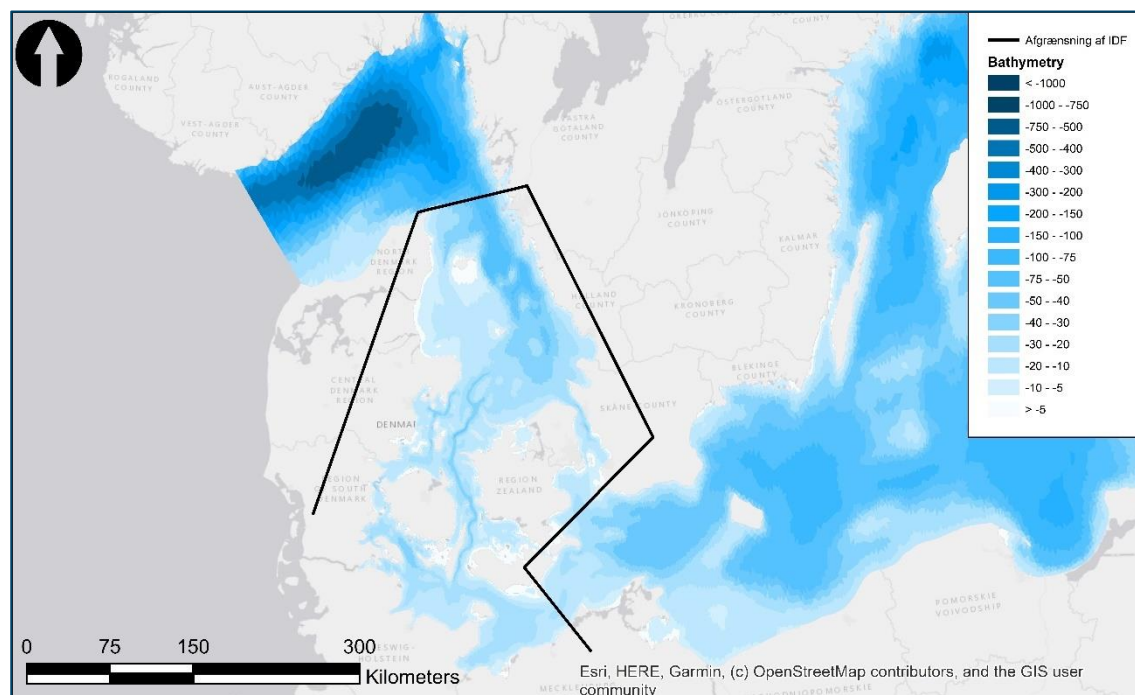
Ovenstående analyse (Figur 2-6 og Figur 2-7) er baseret på totale transporter over de respektive tværsnit. Som en del af projektet har der imidlertid været afholdt møder med henblik på at diskutere modelresultater og brugen af modelresultater i forbindelse med f.eks. havrapporten. En anbefaling (se kapitel 0) fra arbejdet med det hydrografiske prøvekapitel var også at beregne transporter over og under springlag, hvorfor der i nærværende projekt er udviklet en metode, som beregner transporter over og under 15 meters vanddybde. Disse resultater er eksemplificeret i Figur 2-8 for tværsnittet Lillebælt S (Figur 2-3). Vandtransporten er udadgående (ud af Østersøen) for alle år både for den samlede transport og transporterne over og under 15 m.

Den samlede vandtransport i Lillebælt S er også udadgående for alle måneder undtagen november og december. Det samme billede gør sig også gældende i sæsonopgørelsen i bundlaget, vandtransporten er udadgående for alle måneder undtagen november og december. I overfladelaget er vandtransporten derimod udadgående i alle måneder udover marts og oktober, hvor der i overfladen er en modsatrettet transport. Fremover vil denne type af resultater også blive produceret som en del af eventuelle årlige modelafviklinger.



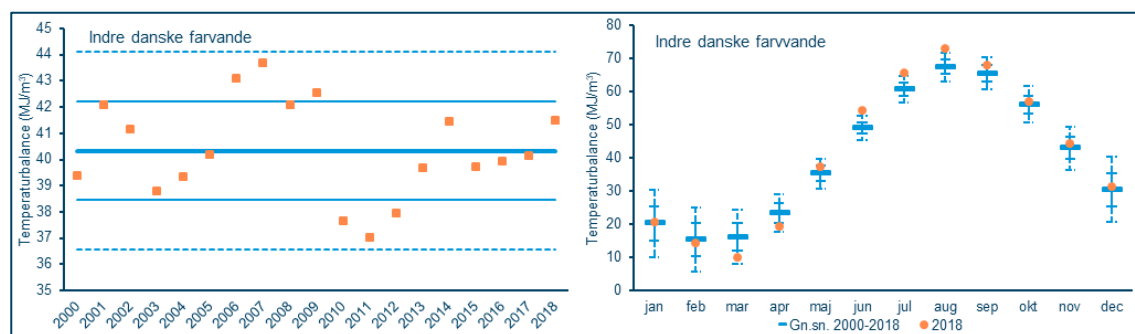
Figur 2-8 Samlet årlig nettotransport af vand (ud af Østersøen) igennem Lillebælt S (venstre) og opdelt i overflade- (midt) og bundtransporter (nederst). I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige vandføring for perioden 2000-2017, de svagt optrukne linjer repræsenterer $\pm 1 \times$ standardafvigelse og de stiplede linjer $\pm 2 \times$ standardafvigelser. I højre kolonne vises tilsvarende sæsonvariationer. I hver figur repræsenterer den blå bjælke den gennemsnitlige vandføring måned for måned for perioden 2000-2017, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelser, og de orange pletter angiver salttransporten i 2018.

Temperatur og saltholdighed i de indre danske farvande



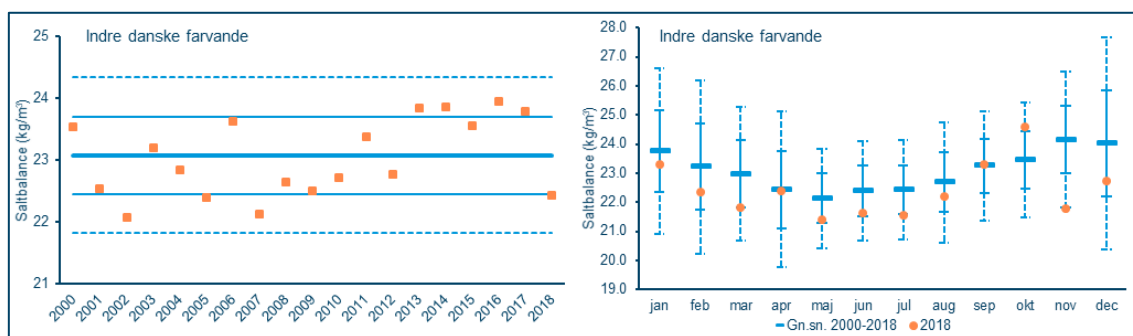
Figur 2-9 Afgrænsning af de indre danske farvande, hvor gennemsnitlig temperatur og saltholdighed er beregnet for hele vandmassen.

Den gennemsnitlige varmebalance (alle vanddybder) for 2018 i de indre danske farvande lå over langtidsmidlen (2000-2017), men stadig inden for en standardafvigelse. I starten af året lå temperaturen under gennemsnittet for årstiden, mens temperaturen resten af året var højere om end omtrent som gennemsnittet i årets afslutning (Figur 2-10).



Figur 2-10 Varmebalance i de indre danske farvande. Venstre graf: Den gennemsnitlige årsmiddel for perioden 2000-2017 er angivet ved den kraftigt optrukne blå linje, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 standardafvigelse, og de stiplede linjer repræsenterer ± 2 standardafvigelser. De orange firkanter angiver middeltemperaturen for de enkelte år. Højre graf: Sæsonvariation i vandtemperaturen, de blå bjælker repræsenterer månedsmidlen som gennemsnit for perioden 2000-2017, barene repræsenterer henholdsvis én og to standardafvigelser fra gennemsnittet, og de orange pletter viser månedsmidlerne for 2018.

Den modellerede saltholdighed i de indre danske farvande i 2018 var ca. en standardafvigelse lavere end middelværdien for perioden (Figur 2-11). Med undtagelse af april, september og oktober var alle månedsmidlerne under langtidsmidlen (2000-2017) for de respektive måneder.



Figur 2-11 Saltbalancen i de indre danske farvande. Venstre graf: årsmiddel for perioden 2000-2017 angivet ved den kraftigt optrukne blå linje, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 standardafvigelse, og de stiplede linjer repræsenterer ± 2 standardafvigelser. De orange firkanter angiver middelsaliniteten for de enkelte år. Højre graf: Sæsonvariation i salinitet, de blå bjælker repræsenterer månedsmidlerne for perioden 2000-2017, barerne repræsenterer henholdsvis én og to standardafvigelser, og de orange pletter viser månedsmidlerne for 2018.

2.2 Mærkning af vandmasser i vandsøjlen

Mærkningen af vandmasser i Nordsøen er inkluderet med henblik på at beskrive dynamikken af vandmasserne fra Tyske Bugt op mod Skagen (Den Jyske Kyststrøm), men også med henblik på at trække randdata ud af Nordsømodellen i Skagerrak og efterfølgende benytte disse randdata til at fortsætte mærkningen ind i de indre danske farvande.

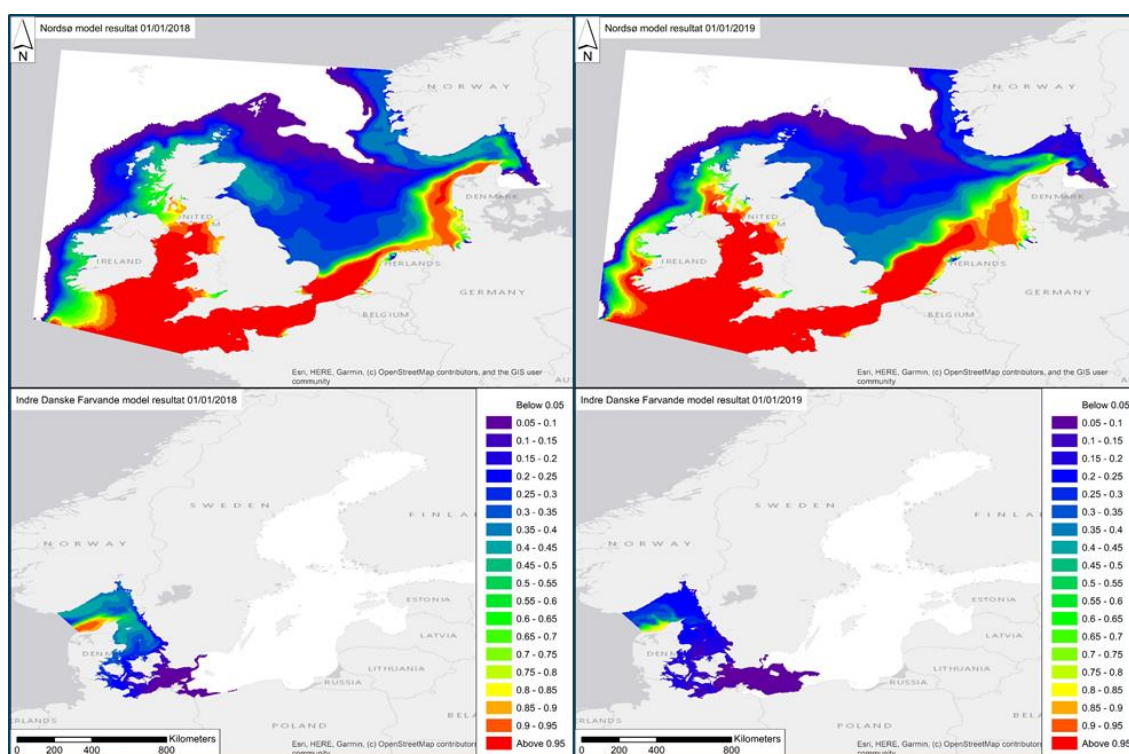
2.2.1 Udvikling og opsætning

Mærkningen er foretaget ved at tilføre en enhedskoncentration på de tre atlantiske rande i Nordsømodellen (Figur 2-1) foruden randen i den centrale del af Kattegat og i ferskvandskilderne til Nordsøen fra henholdsvis Danmark og Sverige syd for Skagen.

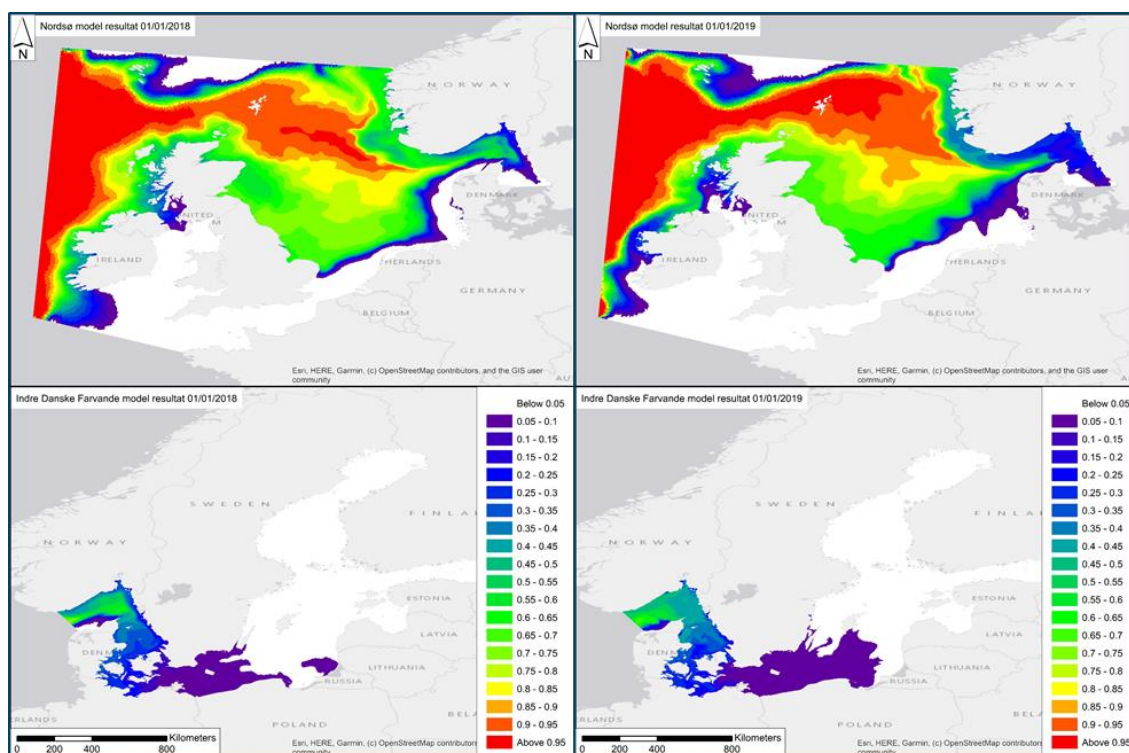
2.2.2 Resultater

Figur 2-12 og Figur 2-13 viser modelresultater for de to mest betydende vandmasser i den centrale del af Nordsøen og langs den jyske vestkyst. Figurerne viser, hvordan de to vandmasser efterfølgende transporteres og fordeles i de indre danske farvande. Modellerne er afviklet fra 2000 til og med 2018, og på figurerne er vist data for henholdsvis 01-01-2018 og 01-01-2019.

Modelresultaterne viser alene vandmasserne, og der er ikke taget højde for fx de næringsstofniveauer, der er indeholdt i de enkelte vandmasser. F.eks. er andelen af ferskvand fra floder og åer i Nordsøen lille (mindre end 10 %), mens koncentrationerne af næringsstoffer i dette vand er måske 5-10 gange større end det vand, som oprinder fra Atlanterhavet, hvorfor en mindre vandmasse kan være betydende for næringsstofbalancen.



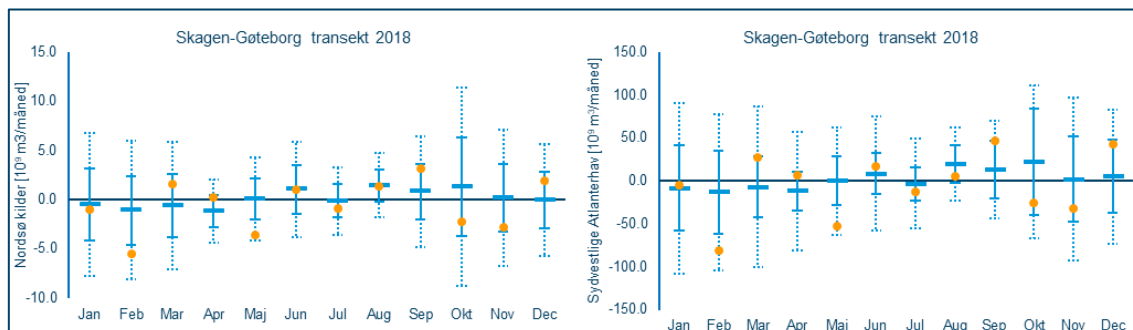
Figur 2-12 Vandmasserne i overfladevandet efter mærkningen af vandmassen siden 2000 ved den sydvestlige atlantehavsrand/Engelske Kanal, som fordelingen ser ud den 01-01-2018 (venstre) og 01-01-2019 (højre), baseret på UKNS2 (øverst) og DKBS2 (nederst).



Figur 2-13 Vandmasserne i overfladevandet efter mærkningen af vandmassen siden 2000 ved den vestlige atlantehavsrand, som fordelingen ser ud den 01-01-2018 (venstre) og 01-01-2019 (højre), baseret på UKNS2 (øverst) og DKBS2 (nederst).

I Figur 2-14 er opgjort de månedlige nettotransporter af vand, som oprinder fra floder og åer i Nordsøen, og som strømmer med Den Jyske Kyststrøm ind gennem Skagerrak og ind over

tværsnittet Skagen-Gøteborg. Alle værdier for 2018 ligger inden for maksimalt to standardafvigelser fra gennemsnittet for perioden 2000-2017. I februar ses en relativt stor indstrømning af Nordsøvand, hvilket også fremgår af havrapporten (Marine Områder 2018 (Hansen og Høgs-lund 2019)).



Figur 2-14 Gennemsnitlige nettotransporter over transektet Skagen-Gøteborg beregnet med DKBS2-modellen. Til venstre er vist nettotransporten af ferskvand fra floder og åer med udmundning i Nordsøen, mens nettotransporten af vandmasser fra den sydvestlige atlantehavsrand/Engelske Kanal er vist til højre. De blå bjælker viser månedlige gennemsnit fra perioden 2000-2017, mens bærerne viser henholdsvis én og to standardafvigelser. Orange pletter viser månedlige gennemsnit for 2018. Negative værdier viser nettotransport ind i Kattegat, mens positive værdier viser nettoudstrømning til Skagerrak.

2.3 Biogeokemiske modeller

2.3.1 Udvikling og opsætning

De biogeokemiske modeller, som indgår i modelkomplekset for Nordsøen (UKNS2) og de indre danske farvande (DKBS2), er blevet opdateret og genkalibreret i forbindelse med vandområdeplanerne 2021-2027 (DHI 2020a og DHI 2020b). Disse modeller er ikke rapporteret endnu, men modelresultater fra årene 2002-2016 indgår i denne rapport med henblik på at vurdere år-til-år variationer i en række biogeokemiske procesrater (fx primær produktion, sedimentets iltforbrug, denitrifikation og kvælstoffiksering). Denne type modelresultater har ikke tidligere været præsenteret men inddrages her med henblik på at vurdere, om de fremadrettet kan bidrage til de årlige havrapporter. Derudover bliver modelresultaterne brugt til analyse af tilstandsvurderinger af sommer klorofyl-a (kapitel 4) og vil blive inkluderet i web-værktøjet.

2.4 Biogeokemiske rater

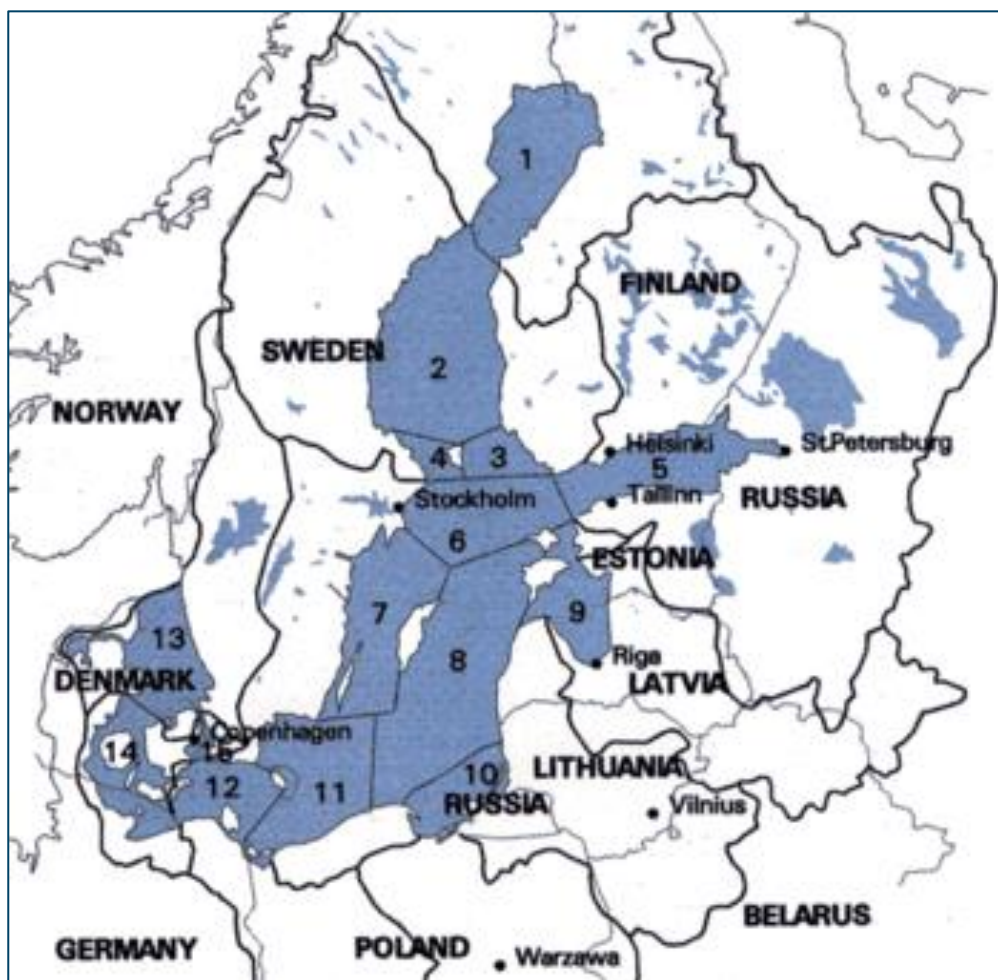
Beregningen af koncentrationer i den biogeokemiske model består dels af et transport- og blandingsled og dels af en række processer, som for hvert tidsskridt opgøres og integreres. Disse processer styres af en række forskellige forhold såsom tilgængelighed af næringsstoffer, vandtemperaturer mm. Det er derfor interessant at analysere på disse parametre for at se, om der er år-til-år variationer, der kan indgå i forståelsen af det marine havmiljø og måske over tid komme til at spille en rolle i de årlige havrapporter.

I det følgende er vist en række modelresultater. Listen af data er ikke udtømt med disse resultater, men er her inkluderet som eksempler på procesdata, der indgår i modellen. Der præsenteres modelresultater for HELCOM- områderne Kattegat og Bornholm-bassinet (se Figur 2-15 for præcis udstrækning) for processerne:

- Primærproduktion: Primærproduktionen skal forstås som bruttoproduktion. I modellen er inkluderet primærproduktion fra tre algegrupper: Kiselalger, flagellater og cyano-bakterier.

- **Iltforbrug i sedimentet:** Iltforbruget i sedimentet dækker her over mineralisering af organisk materiale i sedimentet, nitrifikation og reduktion af sulfid i sedimentet.
- **N-flux i sedimentet:** Denne proces beskriver netto-udvekslingen af totalt kvælstof (N) mellem sediment og vandfase og udgør derfor en sedimentation af partikulært organisk N foruden en udveksling mellem indholdet af ammonium og nitrat i vandfasen og sedimentets porevand.
- **P-flux i sedimentet:** Denne proces beskriver netto-udvekslingen af total fosfor (P) mellem sediment og vandfase og udgør derfor en sedimentation af partikulært organisk P foruden en udveksling mellem indholdet af uorganisk fosfor (DIP) i vandfasen og sedimentets porevand.
- **Denitrifikation:** Her har vi inkluderet den samlede denitrifikation, det vil sige denitrifikationen i vandfasen og i sedimentet.
- **Kvælstoffiksering:** Cyanobakterier i Østersøen kan fiksere N fra atmosfæren. Denne proces indgår også i modellen.

For en mere fyldestgørende beskrivelse af processerne henvises til DHI (2014). En del af ovenstående rater indgår ikke i måleprogrammet NOVANA. I Erichsen & Timmermann (2017) er inkluderet eksempler på modellernes evne til at modellere primærproduktion og denitrifikation.



Figur 2-15 Opdeling af Østersøen i HELCOM-områder. Område nummer 13 udgør Kattegat, mens område nummer 11 udgør Bornholm-bassinet (kopi fra <https://web.archive.org/web/20071023052150/http://www.baltic.vtt.fi/demo/baltmap.htm>).

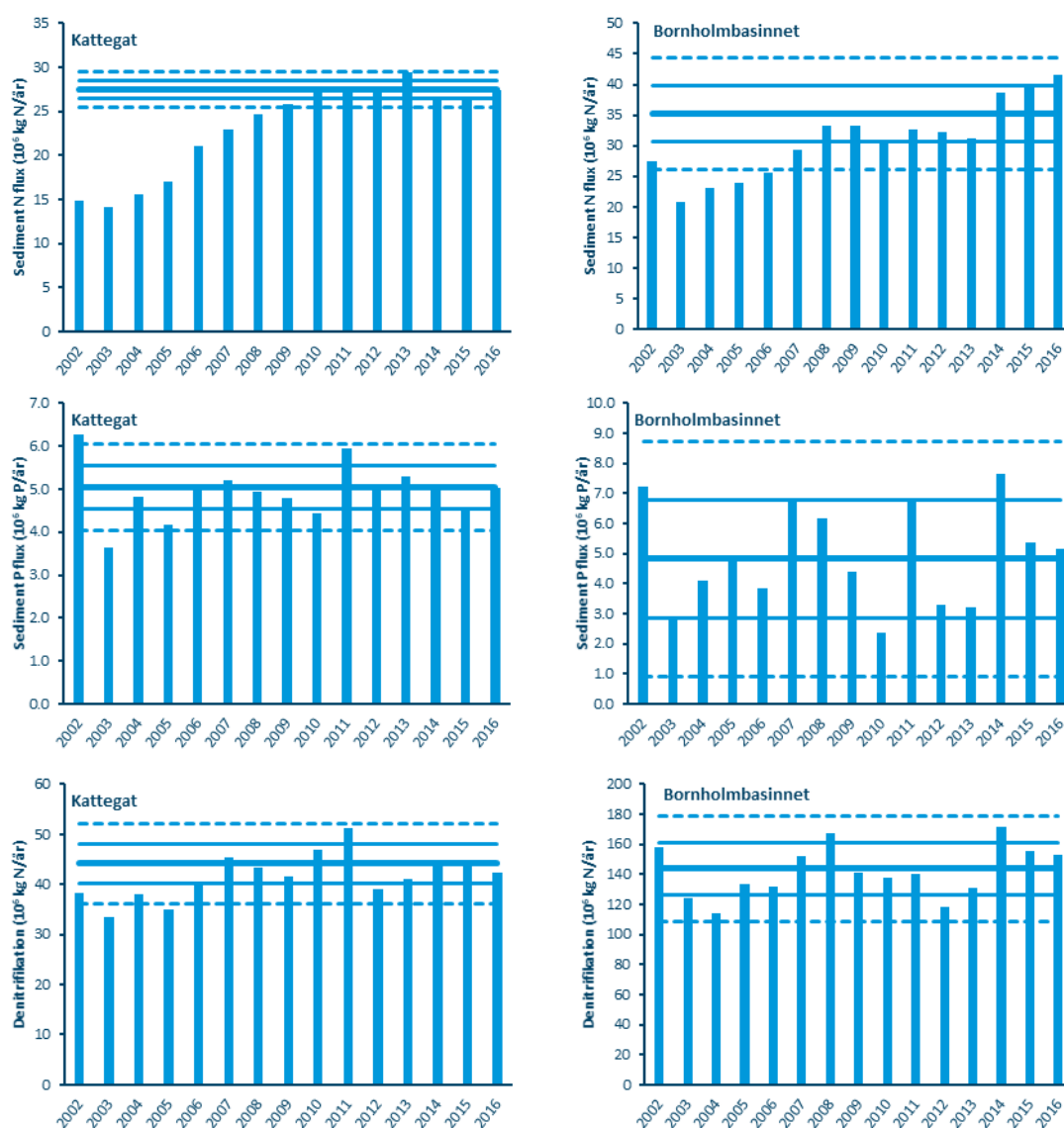
Som en del af udviklingen af de biogeokemiske modeller (DHI 2019a og DHI 2019b) er der arbejdet med årene 2002-2016, og det er derfor alene modelresultater fra disse år, der indgår i

rapporten. I Figur 2-16, Figur 2-17 og Figur 2-18 er resultaterne af de årlige opgørelser af de enkelte viste processer.

Under udviklingen af de biogeokemiske modeller er det forsøgt at sikre, at modellerne er i ligevægt ved start, men som det fremgår af denne opgørelse, er dette ikke helt tilfældet. Det er mest tydeligt ved sediment N-fluxen i Kattegat (Figur 2-17), hvor de årlige processer bygger op over de første op til 8 år, hvilket også fremgår af nogle af de andre opgørelser (fx Figur 2-16). Det skal der arbejdes med fremadrettet. I figurerne er inkluderet data for 2002-2016, men til beregning af gennemsnit og standardafvigelser er alene benyttet data fra årene 2010-2016, så der kun inkluderes data fra en periode, hvor modellen er i ligevægt.

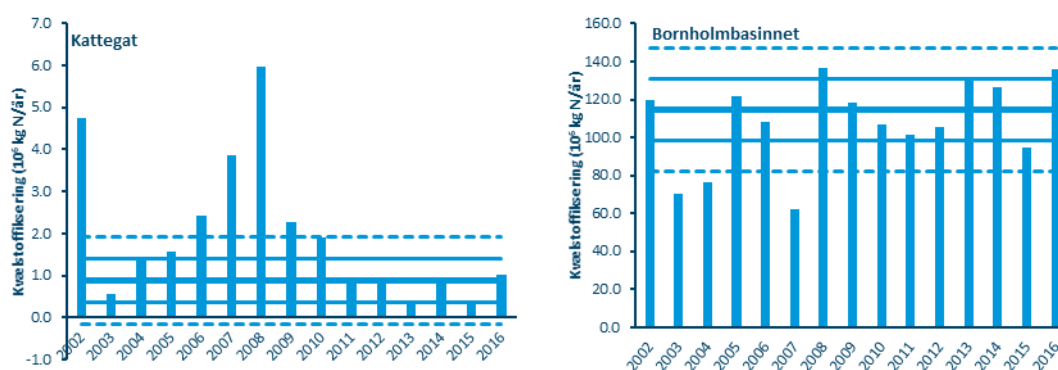


Figur 2-16 Årlig primærproduktion (øverst) og årligt iltforbrug (nederst) i Kattegat (venstre kolonne) og Bornholm-bassinnet (højre kolonne). I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige værdi for perioden 2010-2016, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 x standardafvigelse og de stiplede linjer ± 2 x standardafvigelser.



Figur 2-17 Årlig sedimentflux af N (øverst), P (midterst) og årlig denitrifikation (nederst) i Kattegat (venstre kolonne) og Bornholm-bassinnet (højre kolonne). I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige værdi for perioden 2010-2016, de svagt optrukne linjer repræsenterer ± 1 x standardafvigelse og de stiplede linjer ± 2 x standardafvigelse.

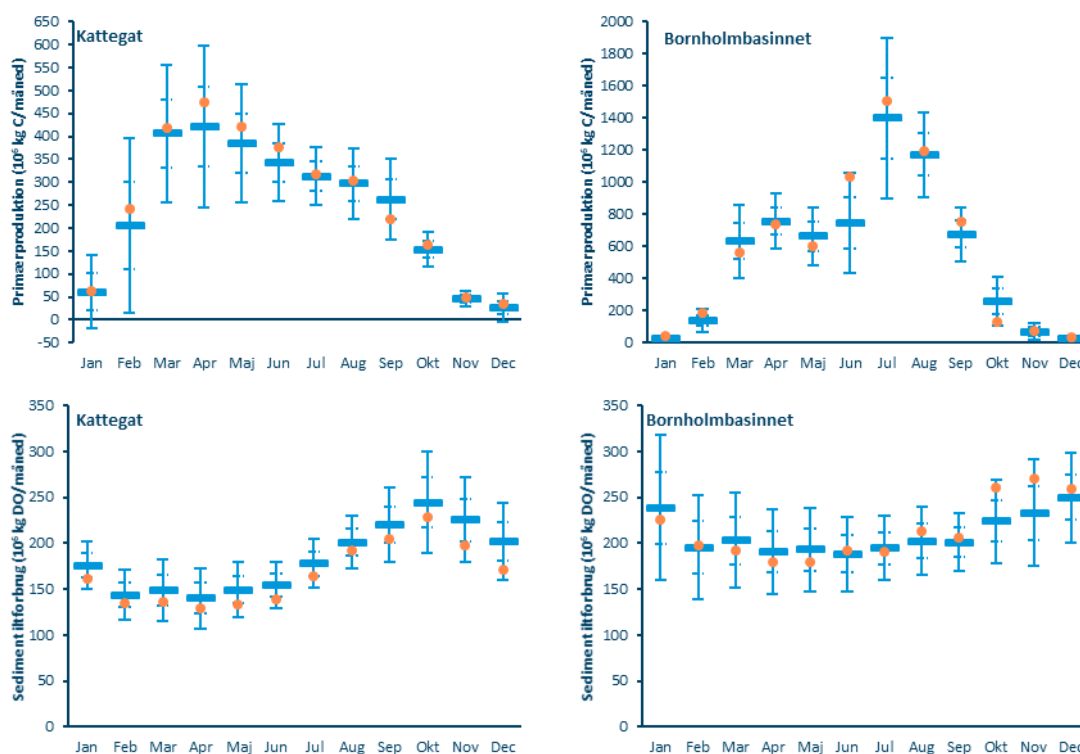
N-fiksering er en ekstra tilførsel af N til det marine havmiljø, og her viser modellen relativt store forskelle mellem de enkelte år (Figur 2-18). N-fiksering er inkluderet i både Kattegat og i Bornholm-bassinnet, og modellen indikerer en lille fiksering af N i Kattegat. Værdierne er små, og N-fiksering vurderes ikke at være betydende i Kattegat. I overensstemmelse med forventningerne indikerer modellen N-fiksering i den centrale del af Østersøen, herunder Bornholm-bassinnet.



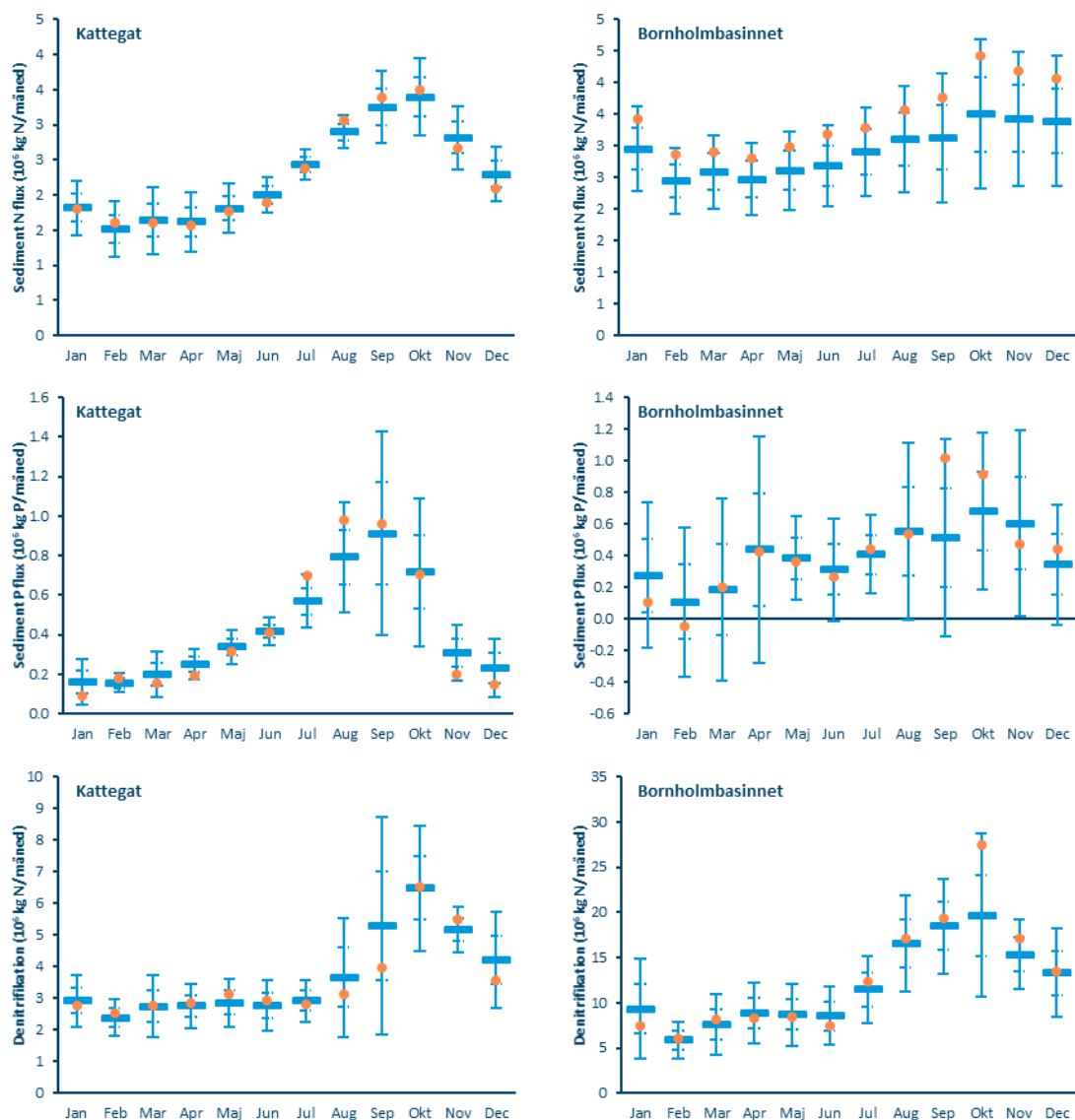
Figur 2-18 Årlig N-fiksering i Kattegat (venstre kolonne) og Bornholm-bassinnet (højre kolonne). I hver figur repræsenterer den kraftigt optrukne blå linje den gennemsnitlige værdi for perioden 2010-2016, de svagt optrukne linjer repræsenterer $\pm 1 \times$ standardafvigelse og de stiplede linjer $\pm 2 \times$ standardafvigelser.

Ovenstående data er produceret som et input til fortolkningen af udviklingen i det marine hav-miljø. Modellen viser, at der er forskelle, og for nogle parametre betydelige forskelle, mellem årene. Ved en evt. fremadrettet brug af denne type modeldata bør der ske en mere dybdegående behandling og analyse af dataene.

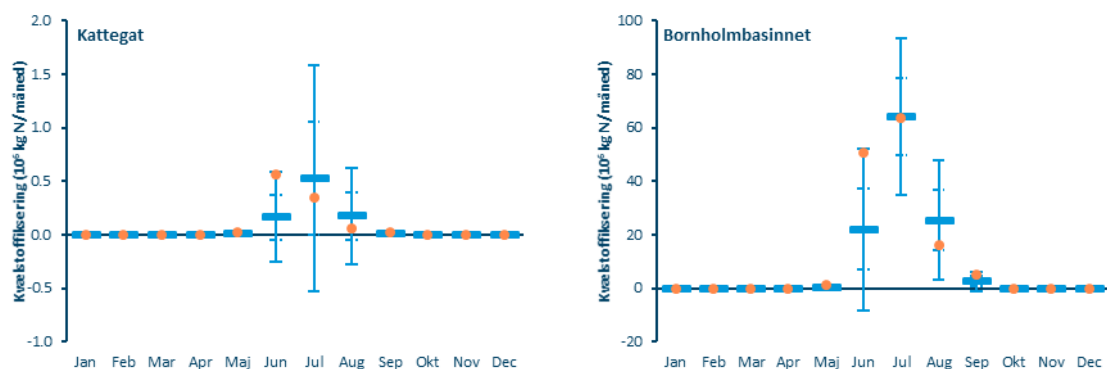
I Figur 2-19, Figur 2-20 og Figur 2-21 er vist de sæsonberegnete procesdata for primærproduktion, iltforbrug, sedimentfluxe og denitrifikation.



Figur 2-19 Sæsonvariation i primærproduktion (øverst) og sedimentets iltforbrug (nederst) i Kattegat (venstre) og Bornholm-bassinnet (højre). I hver figur repræsenterer den blå bjælke månedsmidlerne for perioden 2010-2016, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelser, og de orange pletter angiver månedsværdierne i 2016.



Figur 2-20 Sæsonvariation i sedimentflux af N (øverst) og P samt denitrifikation (nederst) i Kattegat (venstre) og Bornholm-bassinnet (højre). I hver figur repræsenterer den blå bjælke månedsmidlerne for perioden 2010-2016, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelser, og de orange pletter angiver månedsværdierne i 2016.



Figur 2-21 Sæsonvariation i N- fiksering i Kattegat (venstre) og Bornholm-bassinnet (højre). I hver figur repræsenterer den blå bjælke månedsmidlerne for perioden 2010-2016, barerne repræsenterer henholdsvis en og to standardafvigelser, og de orange pletter angiver månedsværdierne i 2016.

2.5 Bundtracermødeller

Et andet udviklingsområde, som blev identificeret i Erichsen et al. (2018b), er mulighederne for at analysere, hvor stationært bundvandet, i eksempelvis Lillebælt, er hen over sommeren, dvs. vandets opholdstid. Hvert år udvikles iltsvind i fx de dybere dele af Lillebælt i varierende grad og med varierende udbredelse.

Styrken, udbredelsen og varigheden af et iltsvind drives dels af mængden af de næringsstoffer, der er til rådighed for primærproduktionen, og dels af de meteorologiske forhold (vind, temperatur og nedbør), og dels af vandets opholdstid.

Iltsforhold (herunder iltsvind) udgør et selvstændigt kapitel i havrapporten, næringsstoffilførsler og meteorologi kædes sammen som forklarende faktorer for iltsvindets opståen og variation (Marine områder 2018 (Hansen og Høgslund 2019)).

I et forsøg på at kvantificere opholdstiden i Lillebælt er der i dette projekt anvendt en modelanalyse, hvor der løbende udledes en konstant mængde konservativt stof (konservativt betyder i denne sammenhæng, at stoffet ikke nedbrydes, men alene transporteres og fortyndes) fra sedimentet i specifikke områder på dybder under 20 m.

Vi har imidlertid ikke kunnet identificere nogen statistisk sammenhæng mellem bundtracerrisultaterne og iltsvindsudbredelsen, hvorfor det anbefales ikke at anvende denne type model til dette formål.

3 Hydrografisk prøvekapitel

Et helt centralt formål med dette projekt, og forudgående projekter (Erichsen et al (2018a) og Erichsen et al (2018b)), er at undersøge, hvorvidt modeldata kan indarbejdes i et egentligt hydrografisk kapitel i havrapporterne. Igennem de sidste par år har AU, MST og DHI diskuteret mulighederne, og undersøgt, hvad der i praksis skal til, for at modeldata kan indgå, og hvordan de eventuelt i givet fald skal indgå. Som en del af dette års projekt er modeldata blevet indarbejdet i et egentligt kapitel, og dette kapitel er inkluderet i Bilag B.

Som en del af arbejdet med dette hydrografiske kapitel har AU, MST og DHI løbende diskuteret data, og som en del af AUs arbejde med at skrive kapitlet er det besluttet at inkludere endnu flere data (data som så ikke har været tilgængelige for forfatterne af prøvekapitlet, se Bilag B).

Dette drejer sig eksempelvis om transporterne (se Figur 2-3), hvor der er inkluderet flere tværsnit nu end tidligere præsenteret, og transporter opdelt i over og under springlag (her præsenteret som over og under -15m, se Figur 2-3).

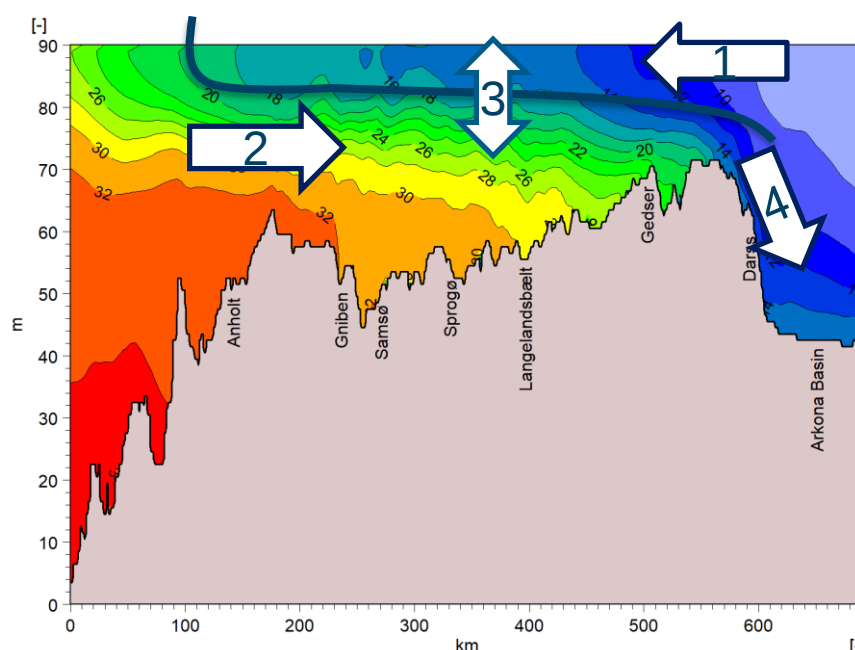
Disse data er nu tilgængelige for efterfølgende hydrografiske kapitler, men har altså ikke været tilgængelige under selve kapitlet præsenteret i Bilag B.

Derudover, er der fremkommet nogle anbefalinger til fremtidens modelafviklinger (hvoraf nogle allerede er inkluderet i nuværende rapport).

3.1 Anbefalinger til anvendelse og udvikling af hydrografiske indikatorer for miljøforhold i de indre danske farvande

Netto- og bruttotransporterne af vand og salt i overflade- og bundlag gennem de indre danske farvande samt deres sæsonmæssige fordeling påvirker de overordnede produktionsforhold, iltforbrug og varmebudgettet. Ved at koble disse transporter til målinger af vandkemiske parametre, såsom næringsstofkoncentrationer, ilt og koncentrationer af organisk stof, vil det være muligt at opstille budgetter for kulstof, kvælstof og fosfor for de indre danske farvande, så betydningen af eksterne (uden for DK) og interne kilder kan sammenlignes. Det vil endvidere være muligt at vurdere overordnede relationer mellem produktion og respiration i de indre danske farvande.

For at opstille egentlige år-til-år nærings- og kulstofbudgetter for de indre danske farvande er det nødvendigt at have koncentrationsmålinger langs de åbne rande i modelområdet med en høj tidslig opløsning i specielt sommerhalvåret, efter at kemoklinen er etableret. Dette kræver dog målinger med en væsentligt højere frekvens i randområderne til de åbne indre danske farvande end målefrekvensen i det nuværende nationale overvågningsprogram (NOVANA). Det er især målinger i bundvandet i det nordlige Kattegat i sommerhalvåret, der er for lavfrekvente til at kunne opstille stofbudgetter. Modellering af den rumlige fordeling af sedimentation vil ligeledes være særdeles relevant for at forstå, hvordan de fysiske forhold påvirker forholdene på havbunden mht. sedimentkemi, iltforbrug og for især bundfaunaen. Dette vil dog også kræve målinger, som ikke er en del af det nuværende måleprogram. Forslaget til indikatorer (nedenfor) er derfor udvalgt således, at de vil kunne implementeres i den hydrografiske modellering præsenteret i Eriksen et al. 2019 og kun vil kræve relativt få supplerende målinger til det nuværende overvågningsprogram.



Figur 3-1 Transporter, der foreslås anvendt som indikatorer. 1) beskriver nettoudstrømningen fra Østersøen gennem overfladelaget (vandvolumen), 2) nettoindstrømningen af bundvand under springlaget ved Kattegat-Skagerrak fronten, 3) blanding på tværs af springlaget i Kattegat og Bælthavet, 4) indstrømning af bundvand over Darss-tærsklen i Femern Bælt.

- **Nettotransporten af bundvand ind i Kattegat** (pil 2, Figur 3-1) og den videre transport af bundvandet henover Darss-tærsklen i Femern Bælt til Arkonabassinet (pil 4, Figur 3-1) vil være en indikator for, hvor hurtigt vandet skiftes i bunden af de indre danske farvande. Størrelsen af denne transport vil give information om, hvor effektivt bunden ventileres i Kattegat og Bælthavet (jo større transporter desto kortere opholdstid) (Jonasson et al. 2012). Forholdene i det sydlige Lillebælt vil dog i mindre grad være påvirket af disse transporter, der, som beskrevet, kun i meget ringe omfang går gennem Lillebælt. Syd for Storebælt må det forventes, at indstrømningen over Darss-tærsklen (pil 4, Figur 3-1) er mere beskrivende for ventilationen af bundlaget.
- **De store indstrømningshændelser** over Darss-tærsklen ind i Østersøen har meget stor betydning for langtidsudviklingen i en lang række miljøparametre i den centrale Østersø (f.eks. iltforhold, bundfauna, torskens gydesucces, Østersøens energibalance osv.). Men da disse indstrømningshændelser typisk sker under efterårs- og vinterstorme uden for den produktive sæson, har disse hændelser formodentligt primært betydning for de mere lokale miljøforhold i Bornholmsbassinet. Data for overstrømningen af Darss-tærsklen findes muligvis allerede tilgængelige fra forskningsinstitutioner, og registreringer af indstrømningen behøver i så fald ikke indgå i det nationale overvågningsprogram.
- Der er flere muligheder for at udvikle **indikatorer for klimaets påvirkningen af iltforholdene**. Anvendelsen "bundsporstof" som proxy for bundnære iltforhold kan ikke anbefales, da metoden konceptuelt kræver, at bunden kun tilføres ilt ved nedblanding fra overfladen. Det anbefales derfor i stedet at anvende en "alderstracer" til at beskrive relationen mellem ventilation og iltkoncentrationer i de indre danske farvande. Princippet er velafprøvet i en lang række studier (f.eks. Deleersnijder et al. 2001). Alderstraceren beskriver, hvor lang tid en vandmasse har været udsat for iltforbrug og samtidigt været afskåret fra atmosfærisk genluftning.
- **Iltkoncentrationen** kan også modelleres ved at anvende parameteriseringen af respiration "OXYCON" (Jørgen Bendtsen & Jørgen L. S. Hansen (2013a); Jørgen Bendtsen & Jørgen L. S. Hansen (2013b)). OXYCON beskriver bentisk og pelagisk iltoptag som funktion af ilt og temperatur og et kulstofbudget, der er i ligevægt og skaleret til årlig primærproduktion. Modulen kræver ikke nødvendigvis nogen implementering af andre biogeokemiske proces-

og tilstandsvariabler og kan umiddelbart implementeres i fysiske 1D og 3D modeller. Modulet er anvendt i en række modelstudier af ilt i Østersøområdet (f.eks. Lennartz et al. 2014, Lehmann et al. 2014, Hinrichsen et al. 2016) og er interkalibreret til andre modeller med biogeokemiske moduler (Skogen et al. 2014).

- **Blandingen af overflade- og bundvand på tværs af haloklinen** og koncentrationen af næringsstoffer (kemoklinen) i sommerhalvåret tilfører næringsstoffer fra bundvandet til overfladelaget. Denne transport begrænser planteplanktonnets produktion og vil være relateret til mellemårlige variationer i primærproduktionen i de åbne farvande. Størrelsen af denne blanding bidrager tillige positivt til ventilationen af bundvandet. Det formodes, at der er ret store mellemårlige variationer i denne blanding, og at f.eks. fluksen af salt fra bundlag til overfladelaget kan anvendes som proxy for næringsstofftilførslen til overfladelaget i sommerhalvåret. Denne fluks foreslås derfor anvendt som indikator for år-til-år variationer i primærproduktionen i de åbne indre farvande.

4 Tilstandsværdier for sommer klorofyl-a

Som en del af Miljøstyrelsens arbejde med vandområdeplanerne 2021-2027 indgår en tilstandsvurdering for samtlige danske marine vandområder. I den samlede tilstandsvurdering indgår tre indikatorer: Koncentrationen af sommer klorofyl-a (maj-september), dybdegrænsen af ålegræs og DKI (biodiversitetsindeks for bundfauna).

De data, der indgår i den samlede tilstandsvurdering, stammer fra NOVANA-programmet, og er baseret på vandkemi-stationer (sommer klorofyl-a), ålegræs transekter (dybdegrænse) og bundfaunaprøver (DKI). I udgangspunktet benyttes der alene målinger til bestemmelse af de tilstandsværdier, der indgår i tilstandsvurderingerne. Der findes imidlertid vandområder, hvor der ikke eksisterer målestationer, og her er der behov for en alternativ metode til bestemmelse af tilstandsværdierne.

I forbindelse med modeludviklingen under arbejdet med vandområdeplanerne 2021-2027 er der blevet udviklet en biogeokemisk model, der dækker de indre danske farvande. Denne model simulerer blandt andet klorofyl-a. Der er derfor en mulighed for at modellerede klorofyl-a data kan indgå i bestemmelsen af tilstandsværdier for sommer klorofyl-a i de vandområder, hvor der ikke eksisterer en målestation. Efterfølgende kan Miljøstyrelsen benytte disse tilstandsværdier som grundlag for den egentlige tilstandsvurdering.

Dette er en mulighed, der eksisterer for sommer klorofyl-a, men ikke kan overføres til ålegræssets dybdegrænse eller bundfaunaens DKI. De biogeokemiske modeller er ikke velegnede til bestemmelse af disse parametre.

4.1 Baggrund

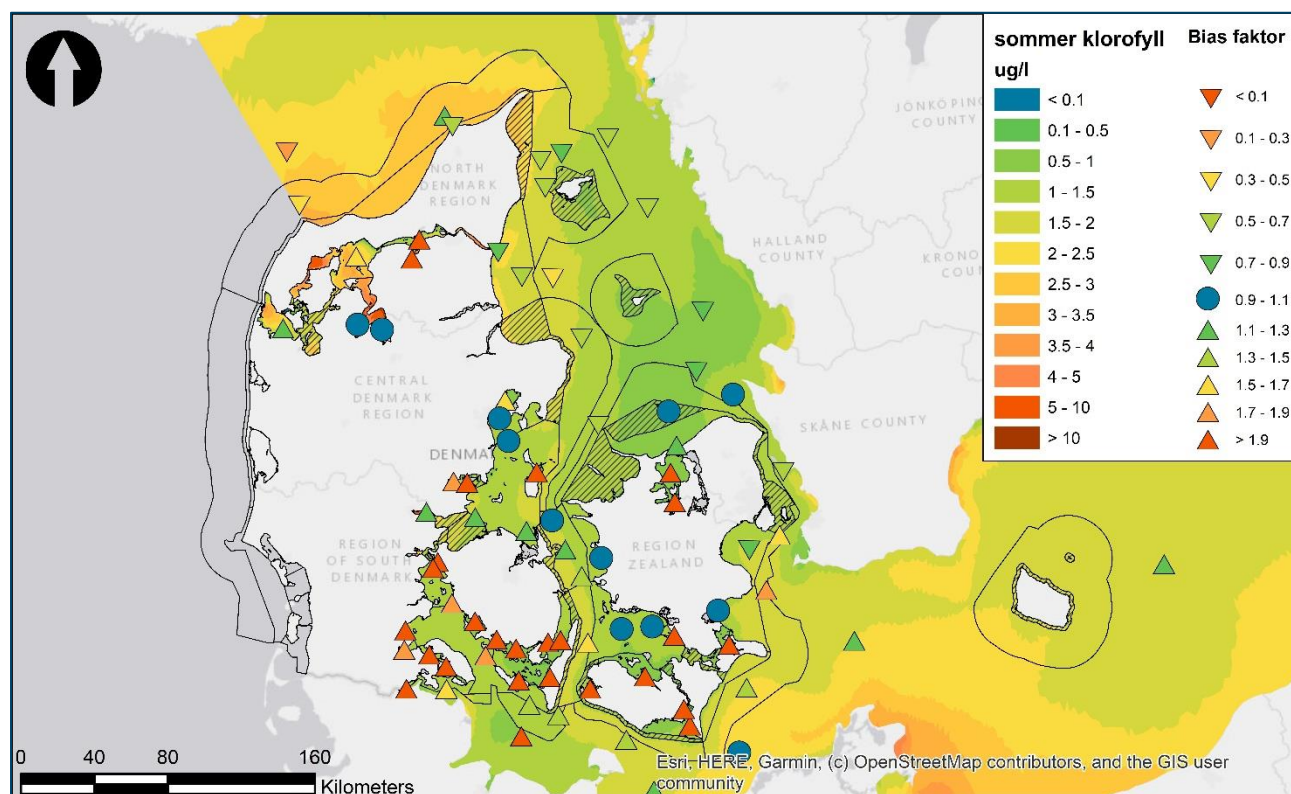
Igennem projektet – og igennem de tidligere projekter (Erichsen et al. 2018a, Erichsen et al. 2018b) – er der arbejdet med at udvikle en metode, hvor modeller og målinger kombineres med henblik på at estimere tilstandsværdier for sommer klorofyl-a i områder uden målinger. I NOVANA programmet eksisterer der en lang række af målestationer, som år efter år besøges ca. hver anden uge, og især disse målestationer med lange tidsserier, forventes at kunne spille en væsentlig rolle for estimering af tilstandsværdier for klorofyl-a i de områder, der mangler en station.

Dertil kommer, at en række målestationer ikke nødvendigvis besøges hvert år, men kun med års mellemrum med henblik på at kunne bestemme tilstandsværdier for sommer klorofyl-a dækkende en planperiode i henhold til vandrammedirektivet.

For at data kan indgå i en beregning af en tilstandsværdi for den kommende basisperiode (2014-2019) kræves, i henhold til Miljøstyrelsens forskrifter, at der skal være mindst syv målinger af klorofyl-a i perioden maj-september (begge måneder inklusiv) inden for samme år og at der mindst foreligger to års data. Er dette tilfældet, kan der beregnes en tilstandsværdi.

Der er en række vandområder, for hvilke der ikke kan beregnes en tilstandsværdi ud fra de ovenstående kriterier. For de vandområder er der her udviklet en metode til beregning af tilstandsværdien ved at kombinere modelresultater med andre målestationer.

De vandområder, hvor der i dag mangler data til bestemmelse af en tilstandsværdi, er vist i Figur 4-1 og Tabel 4-1.



Figur 4-1 Oversigt over sommer klorofyl-a i vandområder i danske farvande. Skraverede vandområder mangler tilstandsværdier baseret på målinger: Figuren viser modelleret sommer klorofyl-a (gennemsnit over 2012-2016) og bias-faktor på de enkelte målestationer. Bias-faktoren indikerer forholdet mellem målingerne (gennemsnit 2002-2016) og modelresultaterne (2002-2016). En station, der er angivet ved en trekant, der peger op, indikerer, at modellens værdi samlet set er lavere end målt klorofyl-a i det punkt, og en trekant, der vender nedad, indikerer, at modellens klorofyl-a i det punkt er større, mens en cirkel indikerer overensstemmelse inden for 10 %.

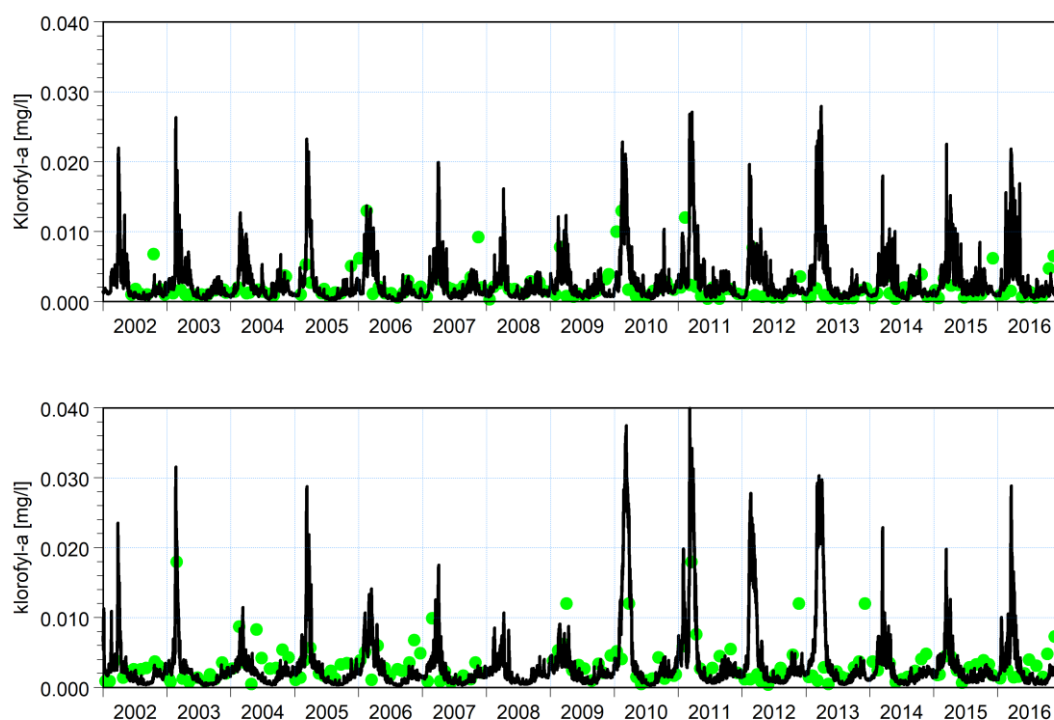
Tabel 4-1 Vandområder som mangler en målt tilstandsværdi i vandområdeplanerne 2021-2027.

Vandområde	ID
Nordlige Øresund	6
Sejerø Bugt	28
Guldborgsund	38
Grønsund	45
Østersøen, Bornholm	56
Østersøen, Christiansø	57
Storebælt, SV	95
Storebælt, NV	96
Als Sund	104
Vejle Fjord, ydre	122
Horsens Fjord, ydre	127
Hevring Bugt	138
Anholt	139
Djursland Øst	140
Kattegat, Læsø	154
Kattegat, Nordsjælland >20 m	205
Femerbælt	208
Skagerrak	221
Nordlige Lillebælt	224
Nordlige Kattegat, Ålbæk Bugt	225
Lillebælt, Bredningen	231
Kås Bredning og Venø Bugt	233

4.2 Metode

Alle typer af modeller er simplificeringer af virkeligheden, og benyttes ofte til beregning af effekter – eller konsekvenser – af at ændre på enten fysiske forhold eller næringsstofftilførsler. I forbindelse med beregning af tilstandsværdier for indikatoren sommer klorofyl-a er der derfor behov for at benytte modellerne på en lidt anderledes måde end normalt.

I udgangspunktet kalibreres og valideres modellerne således, at de overordnet set gengiver målte koncentrationer af eksempelvis klorofyl-a tilfredsstillende. Til denne øvelse benyttes ofte målte værdier og tilhørende modellerede værdier, og modellens evne til at gengive målinger kan efterfølgende opgøres grafisk og/eller ved brug af forskellige numeriske indeks (DHI 2019c).



Figur 4-2 Målinger (grønne cirkler) sammenlignet med modellerede koncentrationer (sort linje) af klorofyl-a. Øverst er vist et eksempel fra NOR409 (Kattegat), nederst er vist et eksempel fra SJYKKF5 (Flensborg Fjord, ydre).

Som det fremgår af Figur 4-2 er der væsentlig flere modelværdier sammenholdt med målte værdier. Modelresultaterne gemmes hver 4. time, mens der til bestemmelse af sommer klorofyl-a typisk indgår 12-13 målinger per år. Der er dermed relativt stor forskel i mængden af data, der indgår ved en modelbaseret og målingsbaseret tilgang.

Det har en betydning for resultaterne og hvordan de kan sammenlignes. I dette projekt er modelberegnet sommer klorofyl-a analyseret i forhold til målingsbaseret sommer klorofyl-a værdier år for år (i de år hvor der er værdier for begge tilgange).

4.2.1 Bias-korrektion

Som det fremgår af Tabel 4-1 er der i dag 22 vandområder, hvor der ikke eksisterer målinger til at estimere en tilstandsværdi for sommer klorofyl-a for perioden 2014-2019 i henhold til Miljøstyrelsens retningslinjer. Der er altså behov for at kombinere modelresultater med målinger i nærliggende vandområder for at sikre et datagrundlag, der kan indgå i de endelige tilstandsvurderinger. Til at vurdere tilstandsværdien i disse vandområder benyttes følgende informationer:

- Klorofyl-a målinger i perioden 2002-2016 indenfor vandområdet, hvis de findes.
- Klorofyl-a målinger fra de nærmeste stationer til området
- Modelresultater for klorofyl i vandområdet, og i punkter svarende til målestationerne, for perioden 2002-2016

Der bruges følgende to tilgangsmåder til at beregne en tilstandsværdi for perioden 2014-2019:

1. **Metode 1:** Der findes tilstrækkelige målinger fra tidligere år i vandområdet til at kunne bestemme en bias-korrektion mellem model og målinger
2. **Metode 2:** Der findes ikke tilstrækkelige målinger fra tidligere år i vandområdet, og derfor bestemmes en bias-korrektion i forhold til repræsentative stationer udenfor vandområdet

Nedenstående nomenklatur anvendes i det følgende:

VO = Vandområde

$Y_{\text{mål},\text{udf}(2014-2019)}$ = Målt middelværdi for 2014-2019 for nærliggende stationer

$Y_{\text{mål},\text{udf}(2002-2016)}$ = Målt middelværdi for 2002-2016 for nærliggende stationer

$Y_{\text{mål},\text{VO}(2002-2016)}$ = Målt middelværdi for 2002-2016 for station i vandområdet

$Y_{\text{mod},\text{VO}(2002-2016)}$ = Modelleret middelværdi for 2002-2016 (DHI model) for VO

$Y_{\text{mod},\text{udf}(2002-2016)}$ = Modelleret middelværdi for 2002-2016 for nærliggende stationer

$Y_{\text{VO}(2014-2019)}$ = Beregnet klorofyl tilstandsværdi for VO

Metode 1 (Tilstrækkelige målinger fra tidligere år men ingen nyere målinger):

I dette tilfælde estimeres tilstandsværdien (2014-2019) ud fra en modelleret tilstand (2002-2016) ved hjælp af to bias-korrekationer: 1) En korrektion, som beskriver den gennemsnitlige bias mellem målt og modelleret tilstand (b_{model}) og 2) en tidslig korrektion, som tager højde for, at perioden for modelresultater og perioden for tilstandsvurderingen ikke er ens (b_{tid}).

$$\begin{aligned} Y_{\text{VO}(2014-2019)} &= Y_{\text{mod},\text{VO}(2002-2016)} \cdot \frac{Y_{\text{mål},\text{VO}(2002-2016)}}{Y_{\text{mod},\text{VO}(2002-2016)}} \cdot \frac{Y_{\text{mål},\text{udf}(2014-2019)}}{Y_{\text{mål},\text{udf}(2002-2016)}} \\ &= Y_{\text{mod},\text{VO}(2002-2016)} \cdot b_{\text{model}} \cdot b_{\text{tid}} \end{aligned}$$

Korrektionen mellem de to perioder bestemmes ud fra forholdet mellem de to perioder fra nærliggende stationer under den antagelse, at de tidslige variationer på disse stationer svarer til dem indenfor vandområdet. Vi antager dermed at b_{model} ikke ændrer sig over tid.

Metode 2 (Utilstrækkelige målinger fra tidligere år og ingen nyere målinger):

I dette tilfælde estimeres tilstandsværdien (2014-2019) ud fra en modelleret tilstand vha. tre bias-korrekationer: 1) En korrektion, som beskriver den vægtede gennemsnitlige bias mellem målt og modelleret tilstand (b_{model}) for nærliggende stationer, 2) en korrektion, som beskriver forskellen mellem model i vandområdet og på stationerne udenfor (b_{rum}), og 3) en tidslig korrektion, som tager højde for, at modelresultater og tilstandsvurderingsperiode ikke er ens (b_{tid}).

$$\begin{aligned} Y_{\text{VO}(2014-2019)} &= Y_{\text{mod},\text{VO}(2002-2016)} \cdot \frac{Y_{\text{mål},\text{VO}(2002-2016)}}{Y_{\text{mod},\text{VO}(2002-2016)}} \cdot b_{\text{rum}} \cdot \frac{Y_{\text{mål},\text{udf}(2014-2019)}}{Y_{\text{mål},\text{udf}(2002-2016)}} \\ &= Y_{\text{mod},\text{VO}(2002-2016)} \cdot b_{\text{model}} \cdot b_{\text{rum}} \cdot b_{\text{tid}} \end{aligned}$$

hvor:

$$b_{\text{rum}} = \frac{Y_{\text{mål},\text{udf}(2002-2016)}}{Y_{\text{mod},\text{udf}(2002-2016)}} \div \frac{Y_{\text{mål},\text{VO}(2002-2016)}}{Y_{\text{mod},\text{VO}(2002-2016)}}$$

Hvis det antages, at bias mellem model og målinger ikke ændrer sig mellem vandområdet og stationerne udenfor, bliver $b_{\text{rum}} = 1$. I denne rapport har vi antaget at $b_{\text{rum}} = 1$ da vi benytter stationer i nærheden og kan se af modelresultaterne at der ikke er nogle forhold der fordrer en anden antagelse.

Hvis det alternativt antages, at klorofylkoncentrationen i vandområdet og udenfor er ens ($Y_{\text{udf},\text{OV}(2002-2016)} = Y_{\text{mål},\text{udf}(2002-2016)}$), samtidig med at de modellerede klorofylkoncentrationer afviger ($Y_{\text{mod},\text{OV}(2002-2016)} \neq Y_{\text{mod},\text{udf}(2002-2016)}$), så bliver den rumlige bias-faktor

$$b_{rum} = \frac{Y_{mod,OV(2002-2016)}}{Y_{mod,udf(20XX-2016)}}$$

I denne rapport antager vi imidlertid, at den rumlige bias-faktor er 1.

4.2.1.1 Vægtning af bias-faktoren

For flere vandområder er bias-korrektionen bestemt ved hjælp af måledata fra flere år. Da data varierer meget i kvantitet (antal af målinger per sommer per år), er det indbyrdes forhold mellem de årlige bias-korrektioner vægtet ud fra et princip om at flere målinger giver større præcision:

$$\hat{b}_{model} = EXP \left(\left(\frac{1}{\sum n_i} \sum_{i=1}^N n_i \cdot (\ln(Y_{mål,udf(2002-2016)_i}) - \ln(Y_{mod,VO(2002-2016)})) \right) + S^2/2 \right)$$

hvor n er antallet af målinger for et givent år (i). S er standardafvigelsen af bias-korrektionen. Derudover vægtes stationerne, hvis der benyttes mere end en til beregningen, ud fra samme princip ved hjælp af det samlede antal målinger for hver station.

4.2.1.2 Estimerede tilstandsværdier

Baseret på ovenstående metoder har vi estimeret tilstandsværdier for sommer klorofyl- a for de områder, hvor der i perioden 2014-2019 ikke eksisterer tilstrækkeligt med målinger til en målingsbaseret tilgang. De estimerede tilstandsværdier kan ses i Tabel 4-2.

En nærmere gennemgang af de bagvedliggende beregninger af tilstandsværdierne, inklusive antagelser og de anvendte stationer er gennemgået vandområde for vandområde i de følgende afsnit.

Tabel 4-2 Beregnede tilstandsværdier

Vandområde	ID	$Y_{VO(2014-2019)}$ [µg klorofyl / l]
Nordlige Øresund	6	1.4 ± 0.5
Sejersø Bugt	28	1.1 ± 0.5
Guldborgsund	38	1.3 ± 0.3
Grønsund	45	1.6 ± 0.4
Østersøen, Bornholm	56	2.2 ± 0.4
Østersøen, Christiansø	57	2.1 ± 0.4
Storebælt, SV	95	2.8 ± 0.4
Storebælt, NV	96	2.0 ± 0.4
Als Sund	104	2.4 ± 0.3
Vejle Fjord, ydre	122	3.0 ± 0.5
Horsens Fjord, ydre	127	2.6 ± 0.3
Hevring Bugt	138	1.7 ± 0.8
Anholt	139	0.9 ± 0.5
Djursland Øst	140	1.5 ± 0.8
Kattegat, Læsø	154	1.3 ± 0.6
Kattegat, Nordsjælland >20 m	205	0.9 ± 0.4
Femerbælt	208	2.2 ± 0.4
Skagerrak	221	
Nordlige Lillebælt	224	2.4 ± 0.3
Nordlige Kattegat, Ålbæk Bugt	225	1.6 ± 1.5
Lillebælt, Snævringer	231	2.5 ± 0.2
Kås Bredning og Venø Bugt	233	2.4 ± 0.3

4.2.2 Vandområde 6: Nordlige Øresund.

Vandområde 6 (Nordlige Øresund) har en udstrækning fra den sydlige del af Amager, rundt om Saltholm og med en relativt lang og smal del fra omkring Skodsborg til Helsingør. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men der eksisterer to målestationer i nærheden: DMU1728 og KBH431 (Figur 4-3).

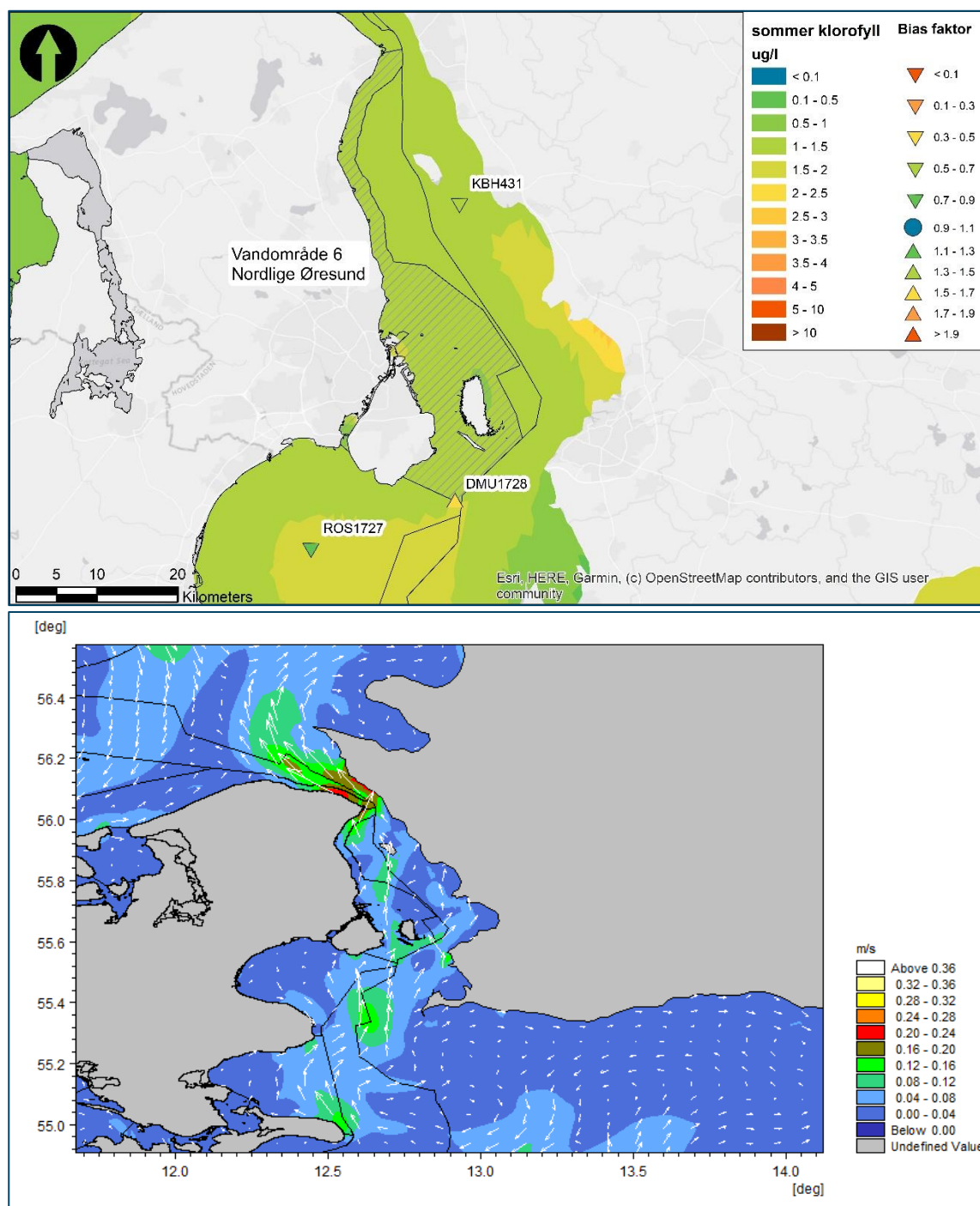
Overfladevandstrømningen i Øresund er overvejende nordgående (ca. 60% af tiden), hvilket også fremgår af den årlige gennemsnitlige strøm i Figur 4-3. Målestationen DMU1728 er beliggende i ved Drogden tærsklen umiddelbart syd for vandområde 6. I perioden 2002-2016 er der samlet set 23 målinger af sommer klorofyl-a på den station (Tabel 4-3). Disse 23 målinger dækker over 1-2 målinger per år fordelt over hele perioden.

Målestationen KBH431 ligger umiddelbart syd for Ven. På denne station måles ca. hver 2. uge, hvorfor der i perioden 2002-2016 indgår 85 målinger (fordelt med 11-13 målinger per år mellem 2010-2016).

I Figur 4-4 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Hovedparten af punkterne ligger omkring 1:1 linjen med en enkelt måling fra DMU1728 som har en noget større værdi end den tilsvarende værdi baseret på modelresultater. Det skal dog bemærkes at denne værdi er et resultat af 1-2 målinger mens den modelbaserede værdi er et resultat af væsentligt flere datapunkter.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benyttes metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 6, og begge de to omtalt stationer indgår i estimatet, hvor DMU1728 indgår med en mindre vægt på grund af de få målinger, der indgår i den årlige beregning.

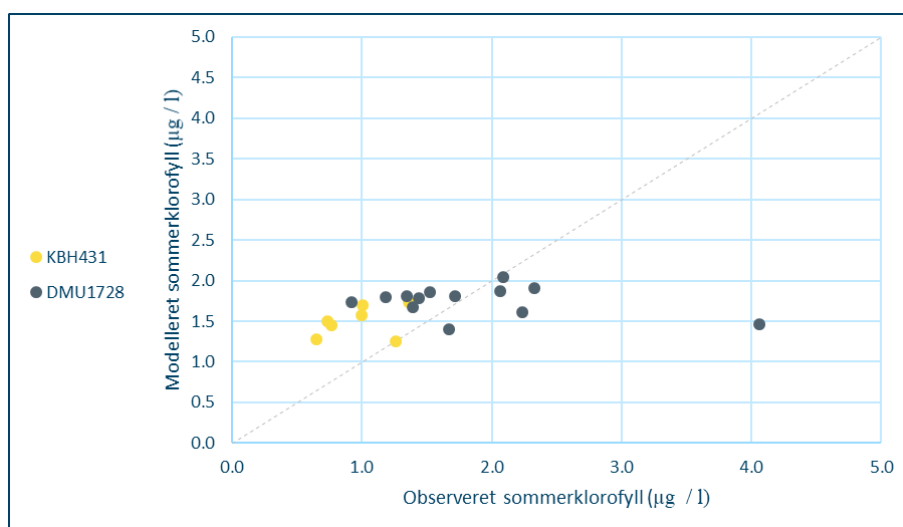
Den endelige beregning fremgår af Tabel 4-3.



Figur 4-3 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 6 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-3 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 6. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 6	Station	Målt sommer- klorofyl 2002- 2016	Målt som- merklorofyl 2014-2019	Antal målin- ger 2002-2016	Antal målin- ger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet til- standsværdi	KBH431	1.0	1.4	85	69	0.65	0.26
	DMU1728	1.8	2.3	23	12	1.31	0.43
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	KBH431	0.9	1.2			
	Baseret på	DMU1728	1.7	2.2			
Tilstandsværdi for vandområ- det		1.1 ± 0.5	1.4 ± 0.5				



Figur 4-4 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.3 Vandområde 28: Sejerø Bugt

Vandområde 28 (Sejerø Bugt) indeslutter selve bugten foruden en mindre del af farvandene umiddelbart udenfor. I perioden 2002-2016 er der et år (2010) med målinger i selve vandområdet (VSJ30006) men ikke målinger, der kan indgå i en vurdering af tilstandsværdien for vandområdet til brug for vandområdeplanerne 2021-2027. Udenfor vandområdet findes der i perioden 2002-2016 derimod målinger fra to andre stationer: DMU935 og VSJ20925 (Figur 4-5).

Overfladevandstrømningen i Sejerø Bugt og farvandene umiddelbart udenfor er vist i Figur 4-5. Som det fremgår af figuren, er den gennemsnitlige strøm i Storebælt og udenfor Sejerø Bugt nordgående, og denne strøm skaber en cirkulation i bugten som løber med uret rundt om Sejerø.

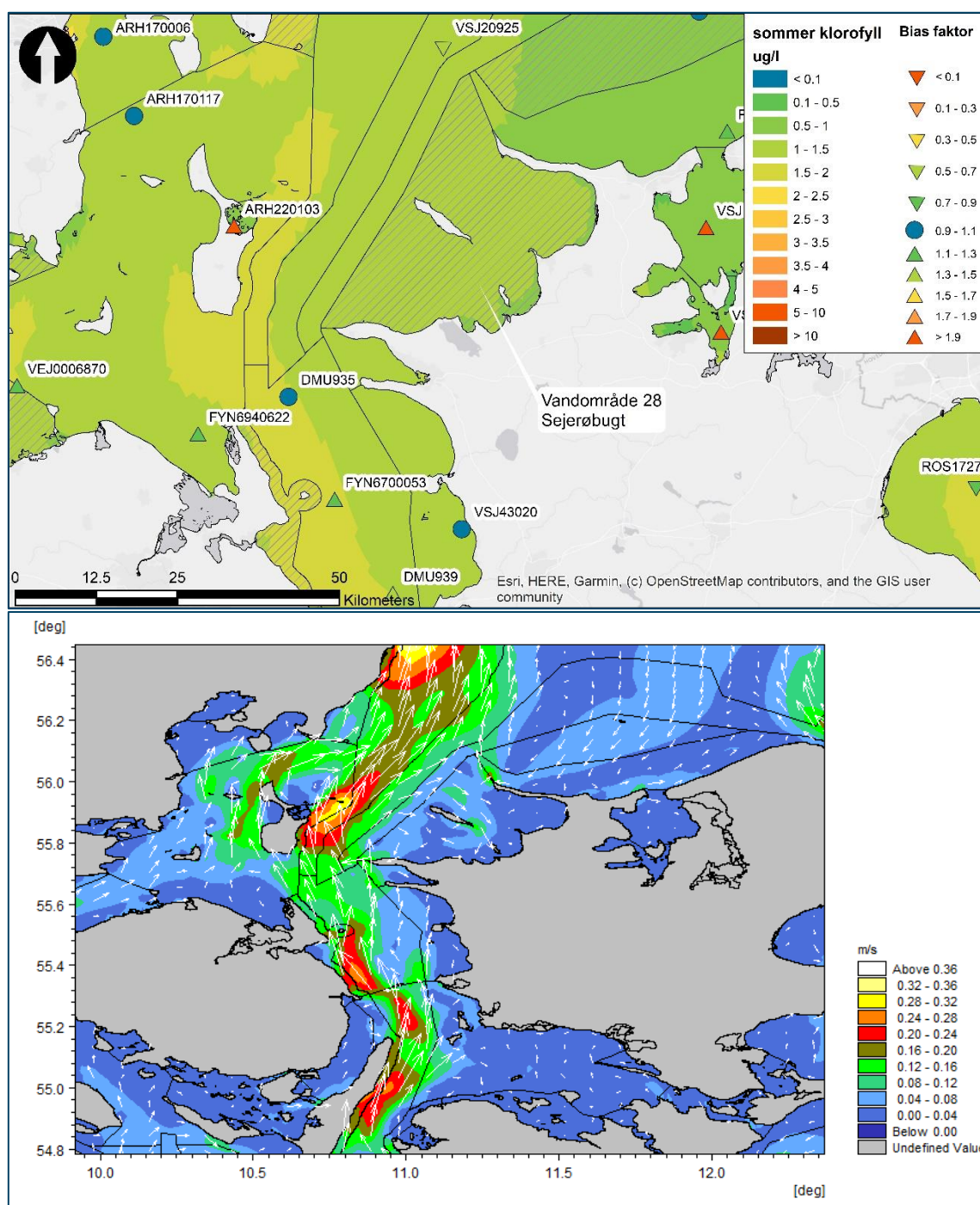
Som det fremgår af ovenstående, findes der et år med målinger (2010) i selve vandområdet, men her vurderer vi at et års målinger alene ikke kan danne baggrund for en beregning af en tilstandsvurdering for perioden 2014-2019. Derfor har vi valgt at benytte denne station, men kombineret med data fra de to andre stationer. Som det fremgår af Tabel 4-4 er der i perioden 2002-2016 29 målinger (mellem 1-3 målinger per år) bag tilstandsvurderinger fra DMU935 mens der er 83 målinger til rådighed for VSJ20925 (mellem 11-13 målinger per år fra 2010 og frem til 2016).

Med det gennemsnitlige strømningsmønster (Figur 4-5) er DMU935 en oplagt station at benytte til estimering af en tilstandsværdi i Sejerø Bugt, men på grund af de relativt få målinger har vi valgt at benytte alle tre stationer, og idet der er en del flere målinger på VSJ20925, kommer den til at vægte tungere i estimatet end de to andre stationer.

I Figur 4-6 er modellerede koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. En stor del af punkterne ligger omkring 1:1 linjen med enkelte målinger fra DMU935 som har en noget større værdi end den tilsvarende værdi baseret på modelresultater. Her skal det også bemærkes at disse værdier er et resultat af 1-3 målinger mens den modelbaserede værdi er et resultat af væsentligt flere datapunkter.

Da der ikke findes tilstrækkeligt med målinger i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi også her metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 28, og alle tre stationer indgår i estimatet.

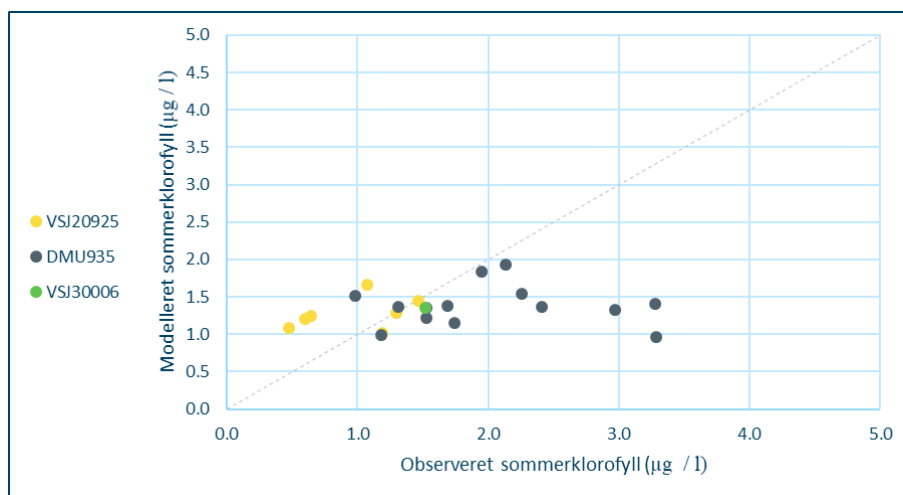
Den endelige beregning fremgår af Tabel 4-4.



Figur 4-5 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 28 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-4 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 28. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 28	Station	Målt sommer- klorofyl 2002- 2016	Målt som- merklorofyl 2014-2019	Antal målin- ger 2002-2016	Antal målin- ger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet til- standsværdi	VSJ30006	1.5		9	0	1.12	
	DMU935	2.0	2.0	29	12	1.53	0.42
	VSJ20925	1.0	1.1	83	69	0.77	0.40
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	VSJ30006	1.3				
	Baseret på	DMU935	1.8				
Samlet til- standsværdi for vandområdet	Baseret på	VSJ20925	0.9				
			1.1 ± 0.5				1.1 ± 0.5



Figur 4-6 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.4 Vandområde 38: Guldborgsund

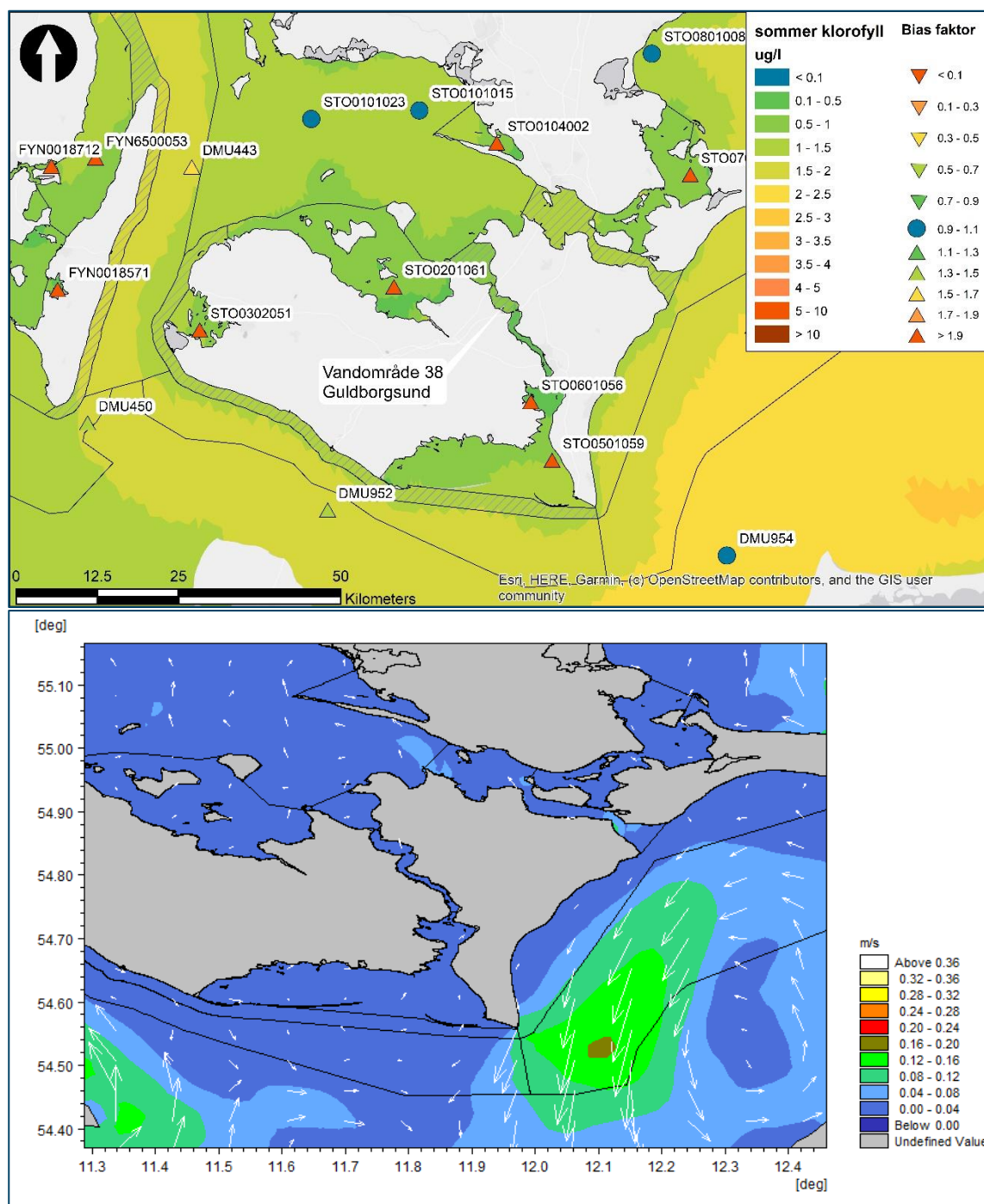
Vandområde 38 (Guldborgsund) har en udstrækning fra indsnævringen umiddelbart nord for Kalvø til Smålandsfarvandet (inklusive det åbne farvand umiddelbart nord for Guldborg). Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men der eksisterer en station umiddelbart syd for sundet (STO0201061) og en nordvest for sundet (STO0501059) (se Figur 4-7). Derudover findes der én station (STO0501058) umiddelbart sydvest for Kalvø i den mere lavvandede del af bugten, men den har vi vurderet ikke at være repræsentativ for vandet i Guldborgsund.

Overfladevandstrømningen i Guldborgsund er overvejende nordgående, hvilket fremgår af den årlige gennemsnitlige strøm afbildet i Figur 4-7. I perioden 2002-2016 er der samlet set 75 målinger af klorofyl-a igennem sommeren på STO0201061 (Tabel 4-5) mens der er 52 målinger på STO0501059. Disse målinger er fordelt på 11-12 målinger om året (2010 til 2016) på station STO0201061 og 13-15 målinger om året (2013-2016) på station STO0501059.

I Figur 4-8 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. De modellerede værdier er generelt lavere end de observerede værdier hvorfor punkterne generelt ligger under 1:1 linjen.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 38, og begge de to omtalt stationer indgår i estimatet.

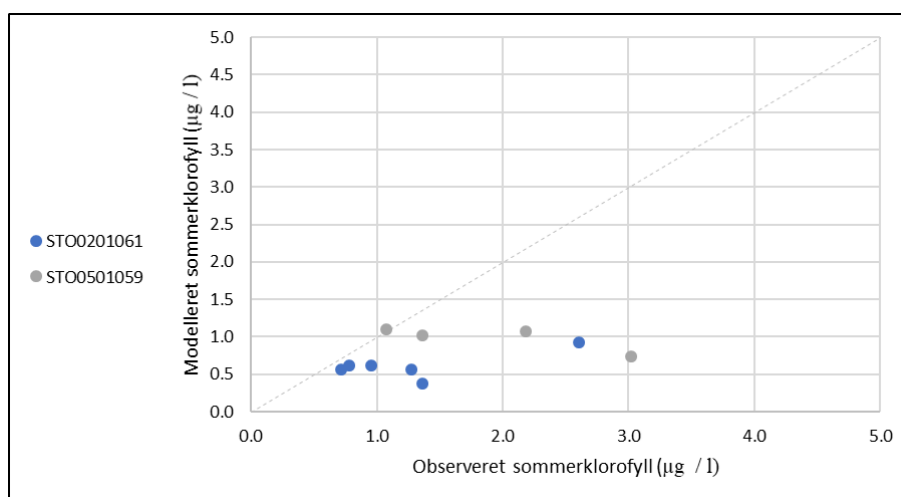
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-5.



Figur 4-7 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 38 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-5 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 38. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 38	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi for vandområdet	STO0201061	1.3	1.4	75	61	2.17	0.44
	STO0501059	1.9	1.8	52	51	2.29	0.61
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	STO0201061	1.2	1.3			
	Baseret på	STO0501059	1.3	1.3			
Samlet tilstandsværdi for vandområdet		1.3 ± 0.3	1.3 ± 0.3				



Figur 4-8 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.5 Vandområde 45: Grønsund

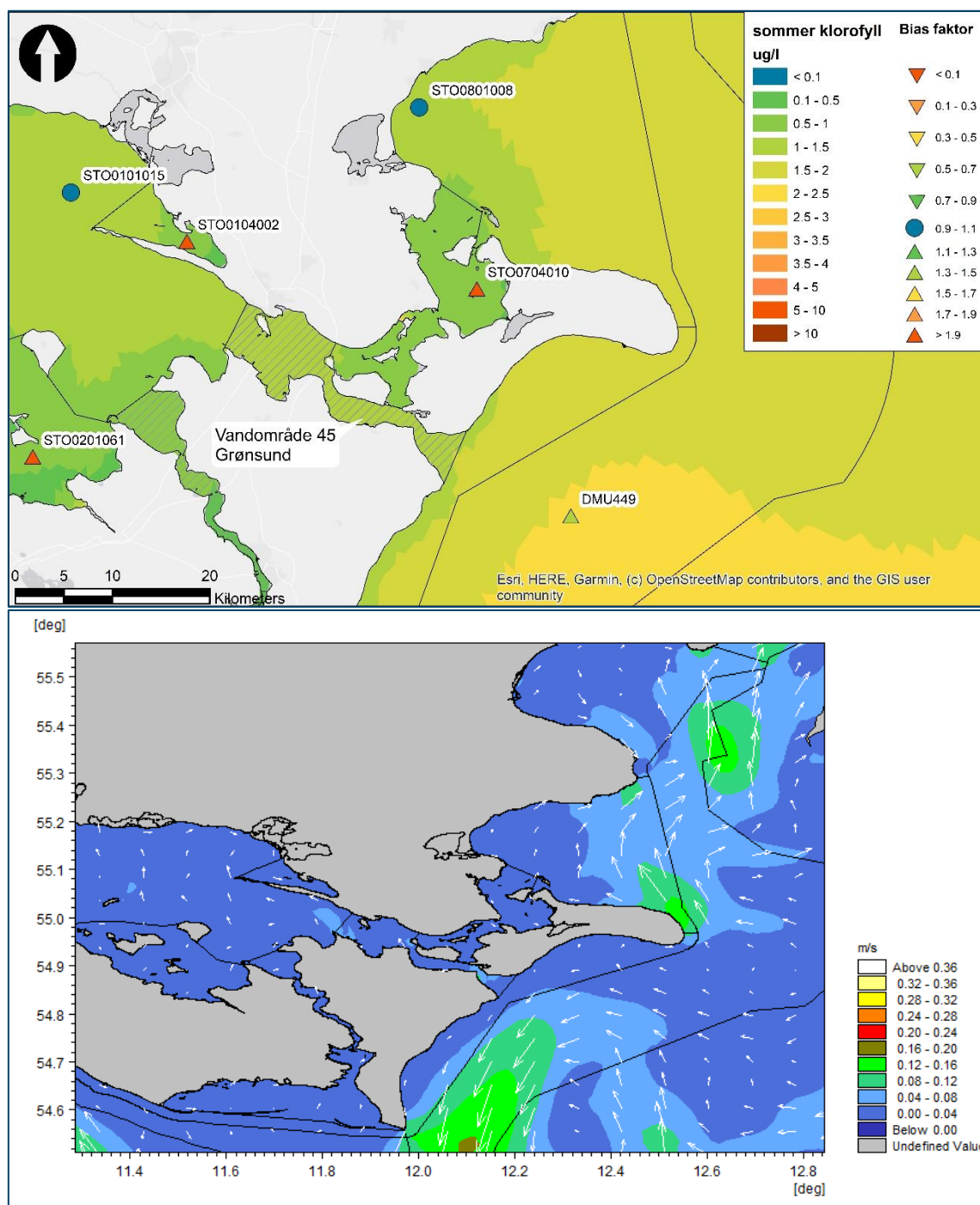
Vandområde 45 (Grønsund) løber mellem Hjelm Bugt og Smålandsfarvandet. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men der eksisterer en station umiddelbart sydøst for Grønsund (DMU449) og en nordvest for Grønsund (STO0101015) (se Figur 4-9). Derudover findes der én station (STO0704010) i Stege Bugt, men med en vandføring som i gennemsnit løber mellem den vestlige del af Østersøen (Figur 4-9).

I perioden 2002-2016 er der samlet set 79 målinger af klorofyl-a igennem sommeren på STO0704010 fordelt på 11-14 målinger per år (2010-2016) mens der er 26 målinger på DMU449 fordelt mellem 1-2 målinger per år (Tabel 4-6).

I Figur 4-10 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger generelt omkring 1:1 linjen med enkelte målte værdier fra DMU449 som er højere end de modellerede. Bemærk at data fra DMU449 er baseret på 1-2 målinger per år.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 45, og begge de to omtalt stationer indgår i estimatet.

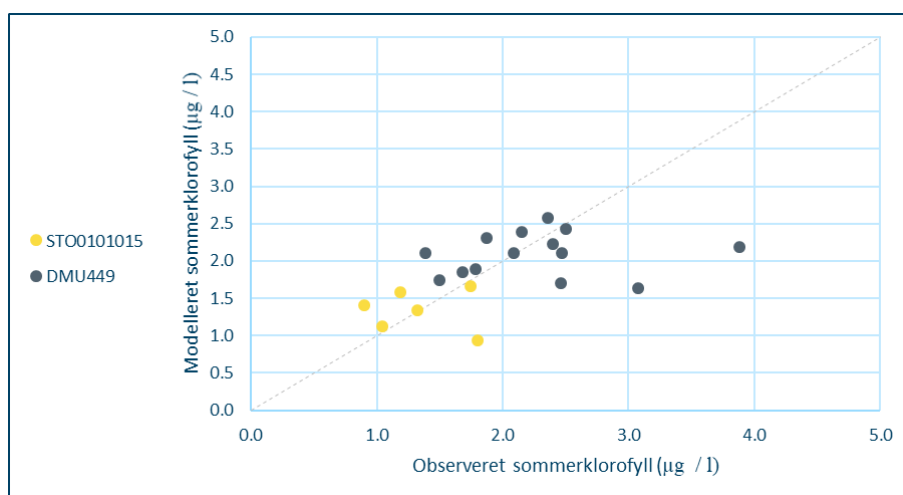
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-6.



Figur 4-9 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 45 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-6 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 45. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 45	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi for vandområdet	STO0101015	1.3	1.5	79	71	1.04	0.38
	DMU449	2.3	3.0	26	12	1.10	0.30
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	STO0101015	1.3	1.5			
	Baseret på	DMU449	1.4	1.9			
Samlet tilstandsværdi for vandområdet		1.4 ± 0.4	1.6 ± 0.4				



Figur 4-10 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.6 Vandområde 56: Østersøen, Bornholm

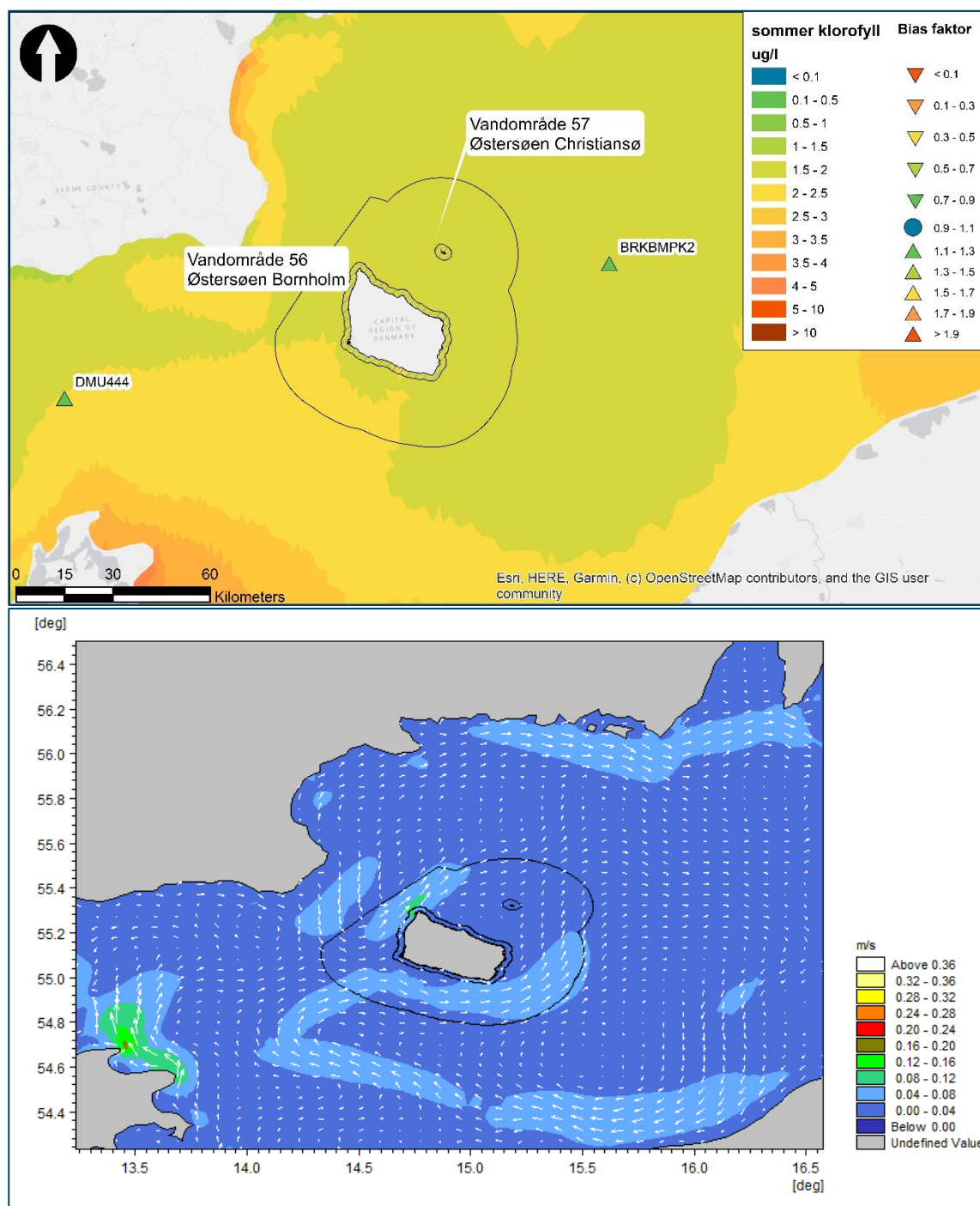
Vandområde 56 (Østersøen, Bornholm) dækker 1-sømil linjen rundt om Bornholm. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men der eksisterer en station umiddelbart vest for Bornholm (DMU444) og en øst for Bornholm (BRKBMPK2) (se Figur 4-11).

I perioden 2002-2016 er der samlet set 132 målinger af klorofyl-a igennem sommeren på DMU444 fordelt på 6-10 målinger per år (2010-2015) og 20 målinger over sommeren 2016 og 90 målinger på BRKBMPK2 fordelt mellem 6-10 målinger per år (2005-2016) (Figur 4-11).

I Figur 4-12 er modelleret koncentrationer af sommerklorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger generelt omkring eller under 1:1 linjen med enkelte målte værdier på begge stationer, som er højere end de modellerede. I denne del af Østersøen er der relativt ofte blågrønaler, og dette kan spille en rolle i forskellen mellem de to datasæt.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 56, og begge de to omtalt stationer indgår i estimatet.

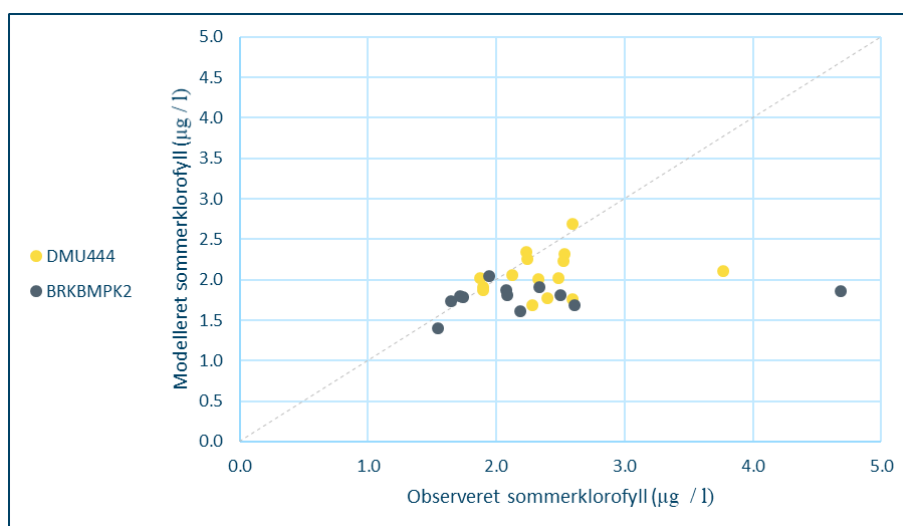
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-7.



Figur 4-11 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 56 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-7 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 56. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 56	Station	Målt sommer- klorofyl 2002- 2016	Målt som- merkloro- fyl 2014-2019	Antal målin- ger 2002-2016	Antal målin- ger 2014-2019	Vægtet bias-fak- tor	Standard afvigelse
Beregnet til- standsværdi for vandområ- det	DMU444	2.4	2.2	132	78	1.18	0.19
	BRKBMPK2	2.3	2.3	90	47	1.27	0.28
		2002-2016	2014-2019				
Baseret på	DMU444	2.2	2.1				
Baseret på	BRKBMPK2	2.4	2.4				
Samlet til- standsværdi for vandområ- det		2.3 ± 0.4	2.2 ± 0.4				



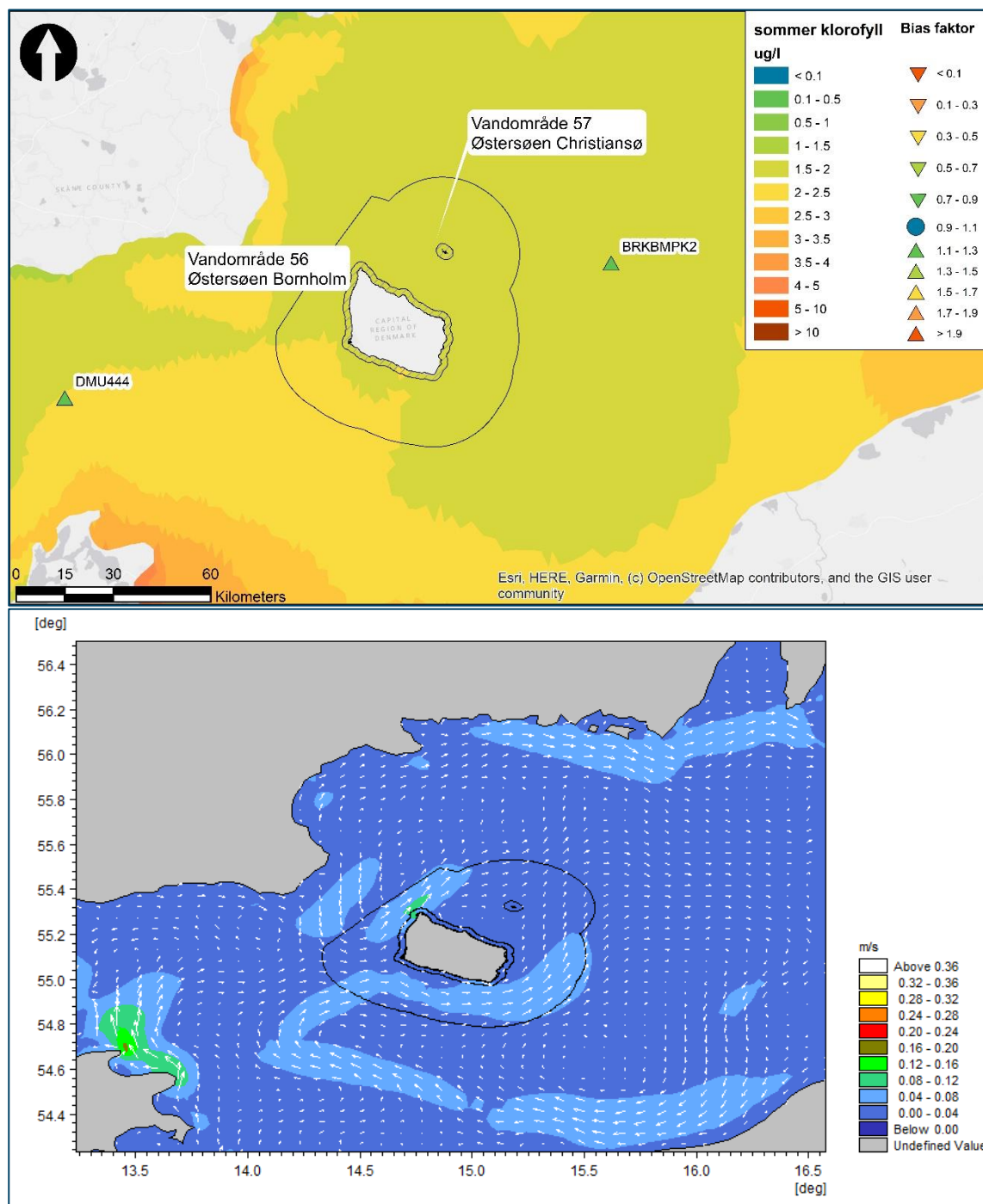
Figur 4-12 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.7 Vandområde 57: Østersøen, Christiansø

Vandområde 57 (Østersøen, Christiansø) dækker 1-sømil linjen rundt om Christiansø. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men som for vandområde 56 eksisterer en station umiddelbart vest for Christiansø (DMU444) og en øst for Christiansø (BRKBMPK2) (se Figur 4-13).

For detaljer omkring data og beregning af sommer klorofyl-a i vandområde 57 henvises til forrige afsnit (afsnit 4.2.6).

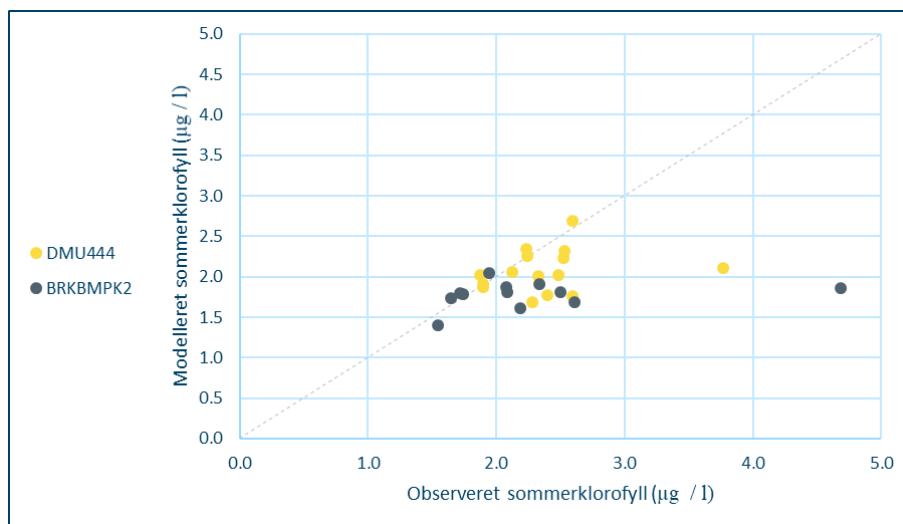
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-8.



Figur 4-13 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 57 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-8 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 57. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 57	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi for vandområdet	DMU444	2.4	2.2	132	78	1.18	0.19
	BRKBMPK2	2.3	2.3	90	47	1.27	0.28
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	DMU444	2.1	2.0			
	Baseret på	BRKBMPK2	2.3	2.3			
Samlet tilstandsværdi for vandområdet		2.2 ± 0.4	2.1 ± 0.4				



Figur 4-14 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.8 Vandområde 95: Storebælt SV

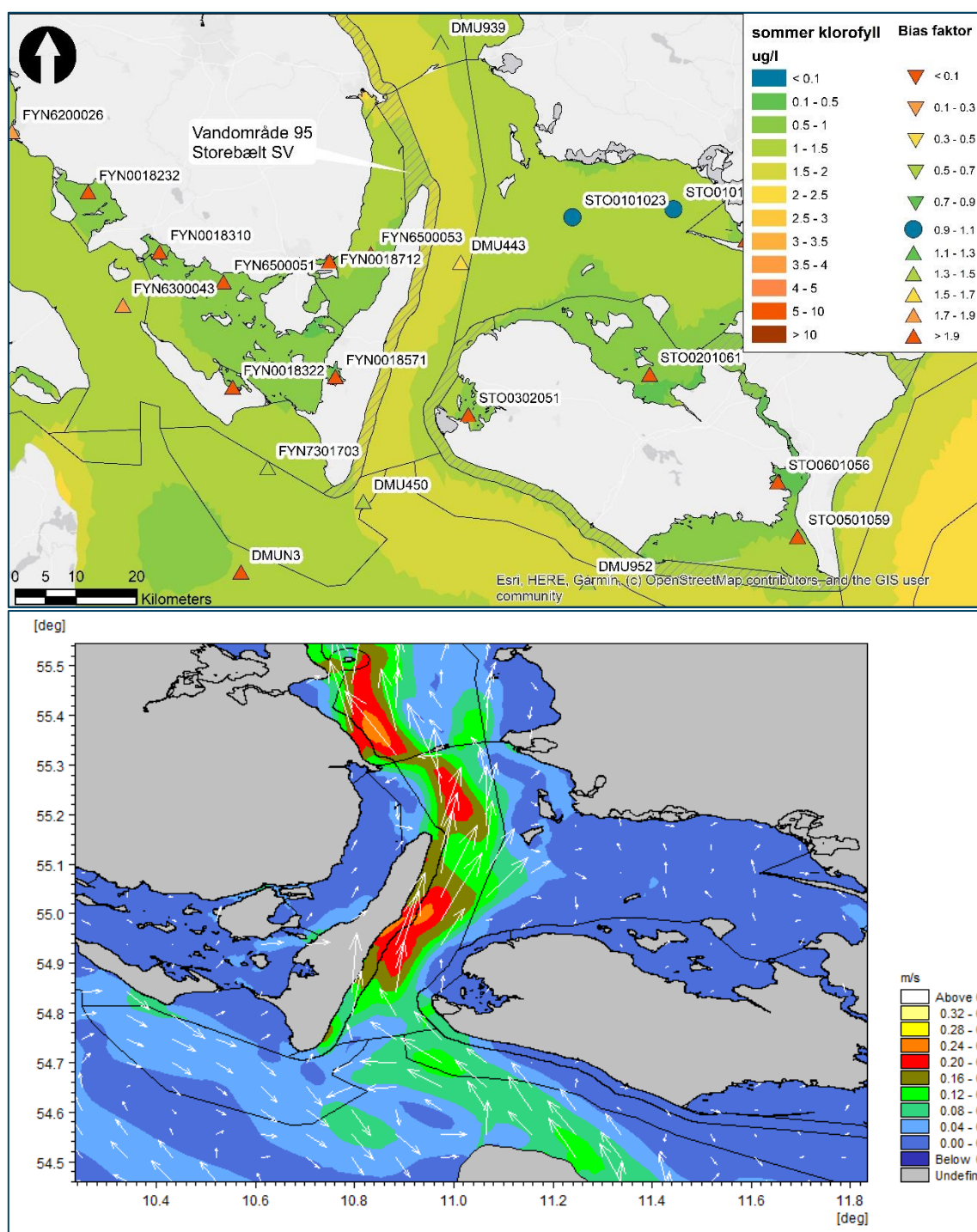
Vandområde 95 (Storebælt SV) dækker 1-sømilgrænsen på den østlige side af Langeland foruden et smalt område fra det nordlige Langeland til Nyborg Fjord. I perioden 2002-2016 er der ingen målinger, der kan indgå i en vurdering af tilstandsværdien for vandområdet til brug for vandområdeplanerne 2021-2027. Udenfor vandområdet findes der i perioden 2002-2016 derimod målinger fra tre andre stationer: DMU443, DMU450 og DMU939 (Figur 4-15).

Som det fremgår af Tabel 4-9 eksisterer der 28, 26 henholdsvis 29 målinger hen over sommeren på disse tre stationer og for alle tre stationer svarer det til mellem 1-3 målinger per år (2002-2016).

Overfladevandstrømningen i Storebælt er nordgående (Figur 4-15) med en relativt graftig gennemsnitsstrøm centralt ud for Langeland. I Figur 4-16 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Hovedparten af punkterne i Figur 4-16 ligger under 1:1 linjen, men igen repræsenterer de målte data udelukkende 1-3 målinger per år, og disse data er typisk indsamlet i sensommeren (august-september som en del af iltsvindstogter) mens modelresultater repræsenterer hele sommerperioden (maj-september).

Da der ikke findes tilstrækkeligt med målinger i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi også her metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 95, og alle tre stationer indgår i estimatet.

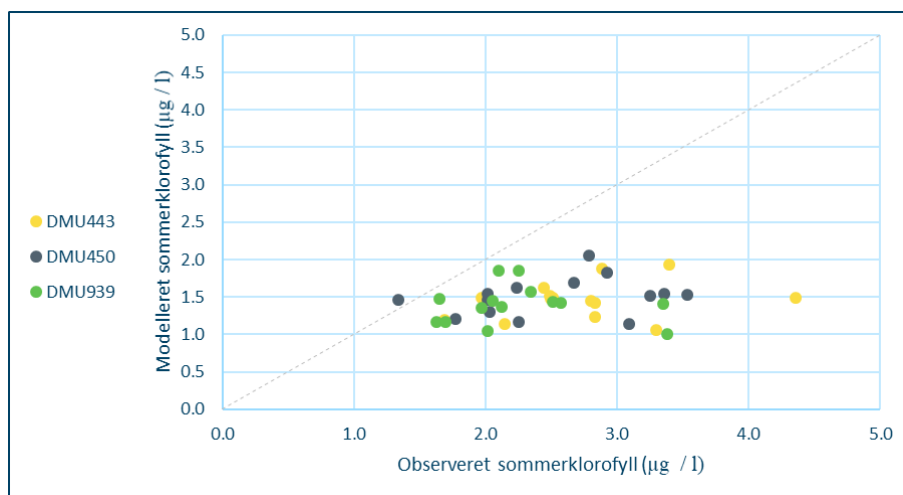
Den endelige beregning fremgår af Tabel 4-9.



Figur 4-15 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 95 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-9 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 95. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 95	Station	Målt sommer- klorofyl 2002- 2016	Målt som- merklorofyl 2014-2019	Antal målin- ger 2002-2016	Antal målin- ger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet til- standsværdi	DMU443	2.7	2.7	28	11	1.93	0.25
	DMU450	2.5	2.7	26	11	1.68	0.29
	DMU939	2.3	2.4	29	12	1.70	0.30
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	DMU443	2.9				
	Baseret på	DMU450	2.5				
	Baseret på	DMU939	2.6				
	Samlet til- standsværdi for vandområdet	2.7 ± 0.4	2.8 ± 0.4				



Figur 4-16 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.9 Vandområde 96: Storebælt NV

Vandområde 96 (Storebælt NV) dækker 1-sømilgrænsen af Fyn fra Nyborg Fjord til Fynshoved og rundt om Romsø, med et lidt bredere stykke ud fra Kerteminde Fjord. I perioden 2002-2016 er der ingen målinger, der kan indgå i en vurdering af tilstandsværdien for vandområdet til brug for vandområdeplanerne 2021-2027. Udenfor vandområdet findes der i perioden 2002-2016 derimod målinger fra tre andre stationer: DMU935, DMU939 og FYN6700053 (Figur 4-17).

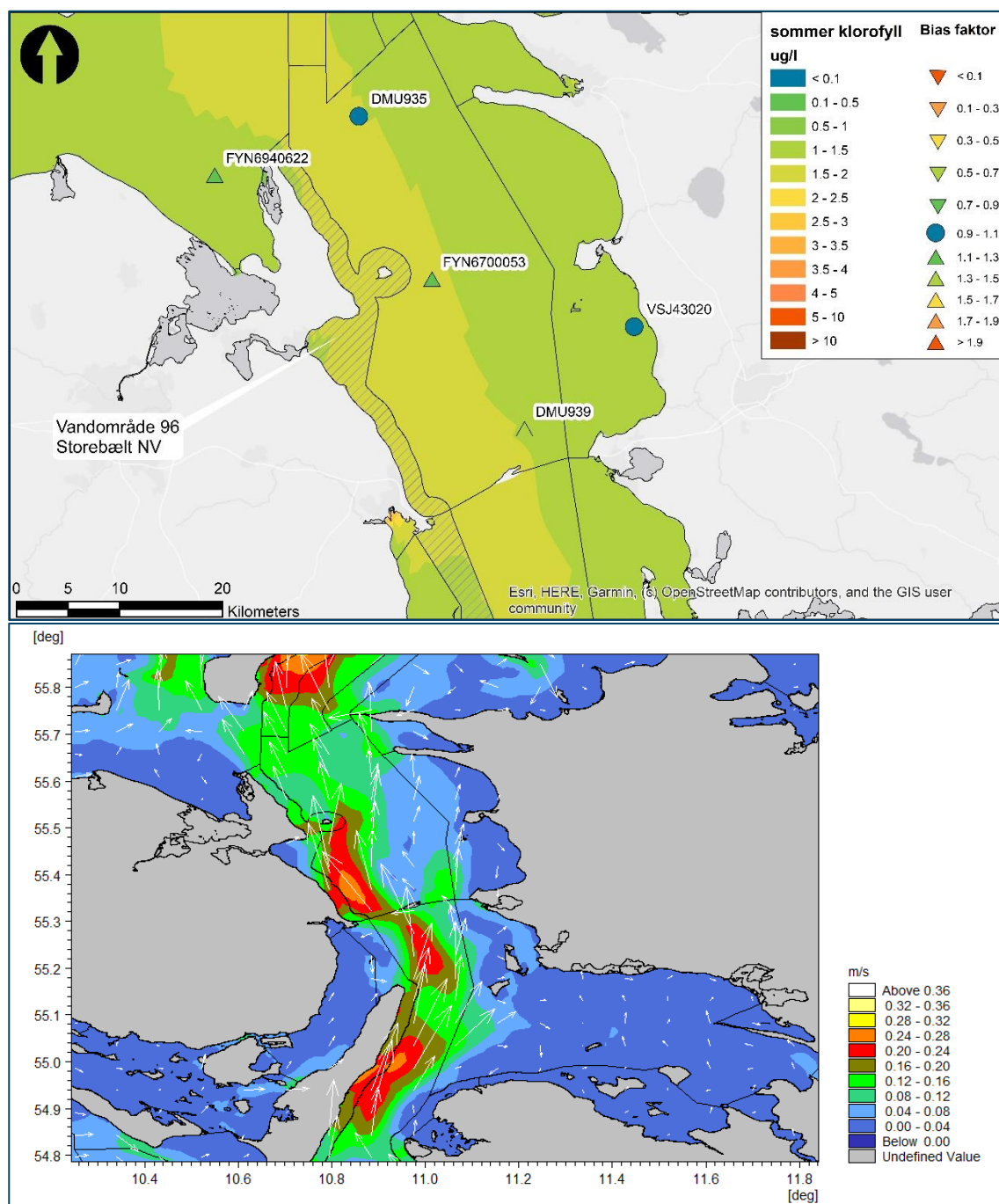
Som det fremgår af Tabel 4-10 eksisterer der 29, 29 henholdsvis 75 målinger hen over sommeren på disse tre stationer. For de to stationer DMU935 og DMU939 fordeler disse målinger sig

mellem 1-3 målinger per år (2002-2016) mens de 75 målinger er fordelt med mellem 11-14 målinger per år (2010-2016) på FYN6700053.

Overfladevandstrømningen i Storebælt er nordgående (Figur 4-17) med en relativt graftig gennemsnitsstrøm i den sydlige del af vandområdet. I Figur 4-18 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Hovedparten af punkterne fra FYN6700053 ligger omkring 1:1 linjen, mens punkterne fra de to andre stationer ligger omkring eller under. Også her skal det bemærkes at målingerne bag punkterne fra de to stationer udgøres af 1-3 sommer målinger.

Da der ikke findes tilstrækkeligt med målinger i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi også her metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 96, og alle tre stationer indgår i estimatet.

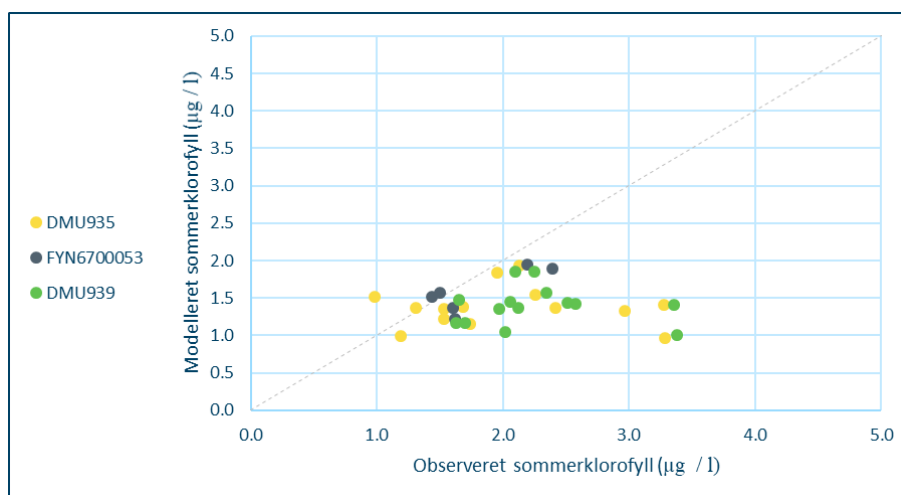
Den endelige beregning fremgår af Tabel 4-10.



Figur 4-17 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 96 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede biasfaktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-10 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 96. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 96	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi	DMU935	2.0	2.0	29	12	1.53	0.42
	FYN6700053	1.8	1.9	75	68	1.13	0.14
	DMU939	2.3	2.4	29	12	1.70	0.30
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	DMU935	2.3	2.4			
	Baseret på	FYN6700053	1.7	1.8			
Samlet tilstandsværdi for vandområdet	Baseret på	DMU939	2.6	2.8			
			2.1 ± 0.4	2.0 ± 0.4			



Figur 4-18 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.10 Vandområde 104: Als Sund

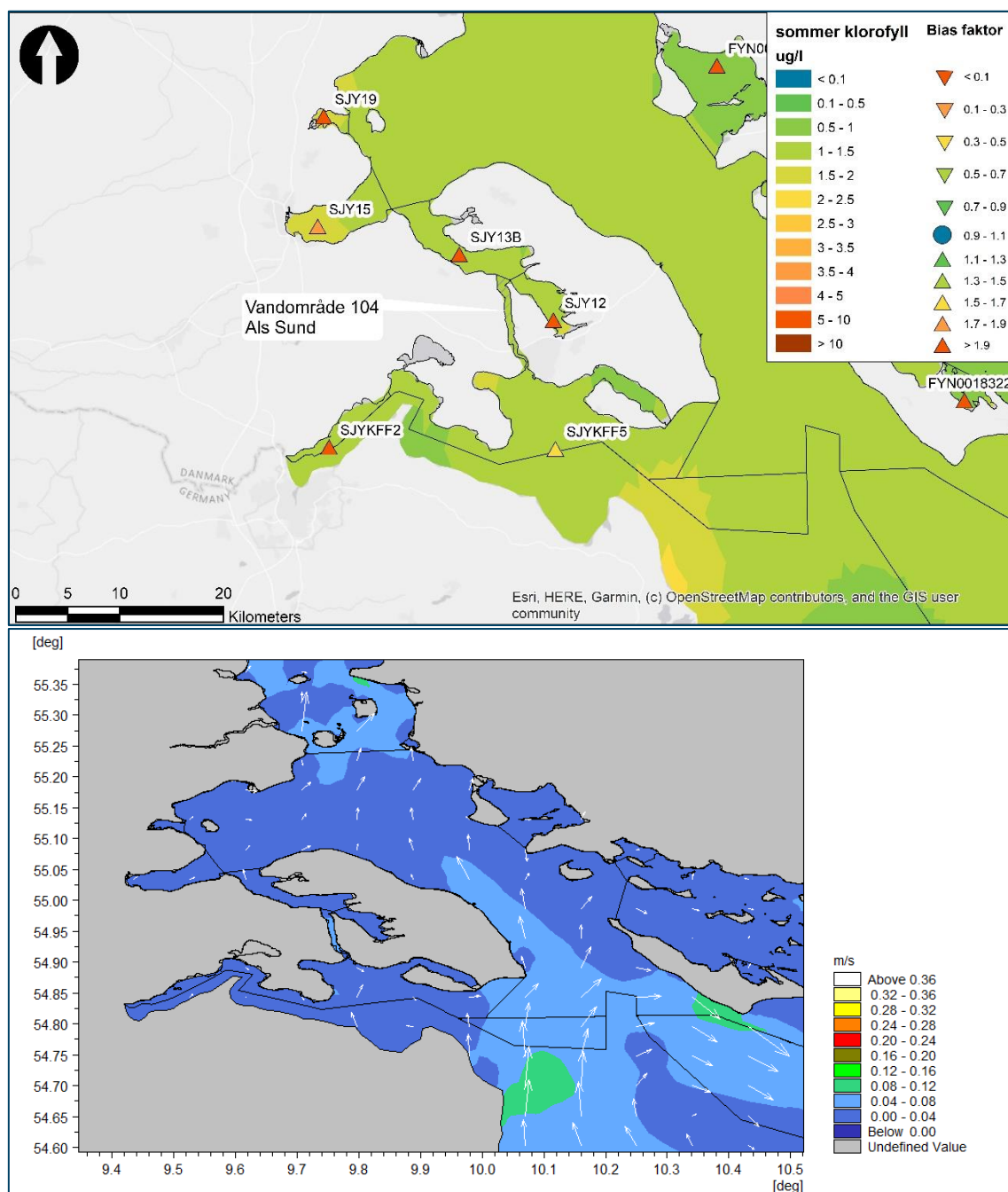
Vandområde 104 (Als Sund) løber fra Sønderborg i syd til Als Fjord i nord. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men der eksisterer en station umiddelbart syd for Als Sund (SJYKFF5) og en nord for Als Sund (SJY13B) (se Figur 4-19). Derudover findes der én station (SJY12) i Augustenborg Fjord, men det vandområde vurderes ikke at være repræsentativt for Als Sund.

I perioden 2002-2016 er der samlet set 14 målinger af klorofyl-a igennem sommeren på SJY13B (2016) og 103 målinger på SJYKFF5 fordelt på 8-13 målinger per år (2007-2016) (Tabel 4-11).

Vandet i Als Sund er overordnet set nordgående, men med en relativt svag gennemsnitlig strøm (Figur 4-19). I Figur 4-20 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger generelt under 1:1 linjen, hvilket indikerer, at den modellerede sommer klorofyl-a generelt er lavere end den sommer klorofyl-a, som er baseret på målinger.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 104, og begge de to omtalt stationer indgår i estimatet.

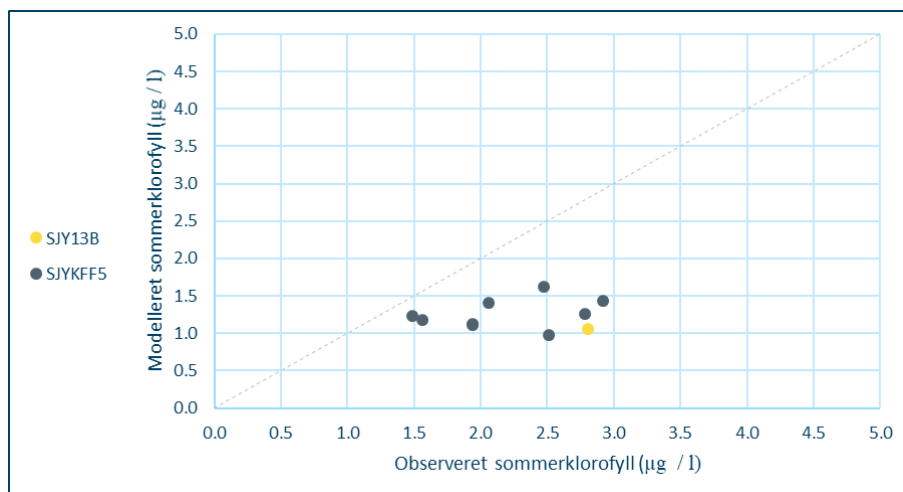
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-11.



Figur 4-19 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 104 med modelleret sommer-klorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-11 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 104. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 104	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi for vandområdet	SJY13B	2.8	3.0	14	38	2.66	
	SJYKFF5	2.2	2.0	103	73	1.73	0.25
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	SJY13B	3.2	3.4			
	Baseret på	SJYKFF5	2.1	1.9			
Samlet tilstandsværdi for vandområdet		2.2 ± 0.3	2.4 ± 0.3				



Figur 4-20 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.11 Vandområde 122: Vejle Fjord, ydre

Vandområde 122 (Vejle Fjord, ydre) dækker den del af Vejle Fjord, som løber fra Brejning midt i fjorden til tværsnittet mellem Trelde Næs og Juelsminde/Klakring. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men der eksisterer en station i inderfjorden (VEJ0004273) og umiddelbart øst for vandområdet (VEJ0006870) (Figur 4-21).

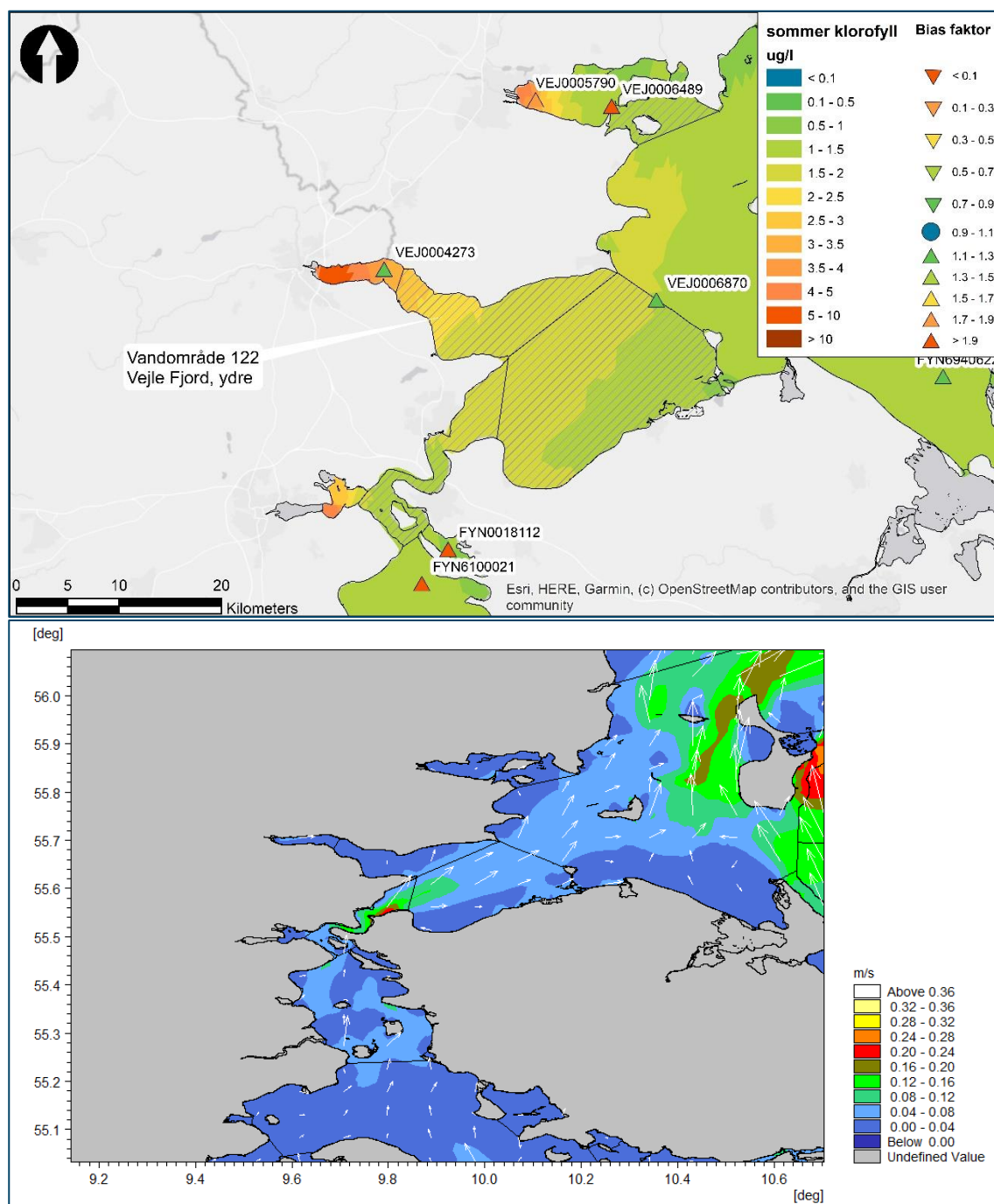
I perioden 2002-2016 er der samlet set 102 målinger af klorofyl-a igennem sommeren på VEJ0004273 fordelt mellem 6-12 (2008-2016) og 145 målinger på VEJ0006870 fordelt på 12-16 målinger per år (2007-2016) (Tabel 4-12).

I udgangspunktet er overfladestrømmen i fjorden udadgående (Figur 4-21), men med en relativt svag gennemsnitlig strøm.

I Figur 4-22 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger generelt omkring 1:1 linjen og med en klar indikation af den gradient der er fra inderfjorden til det mere åbne farvande repræsenteret af VEJ0006870.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 104, og begge de to omtalt stationer indgår i estimatet.

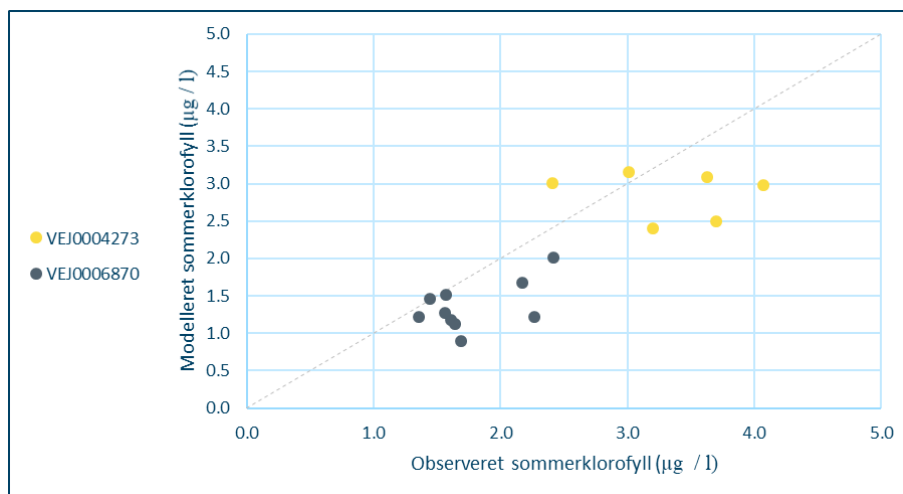
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-12.



Figur 4-21 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 122 med modelleret sommer-klorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-12 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 122. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 122	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi for vandområdet	VEJ0004273	4.0	4.6	102	72	1.24	0.27
	VEJ0006870	1.8	2.2	145	72	1.35	0.22
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	2.5	2.8				
	Baseret på	2.7	3.3				
Samlet tilstandsværdi for vandområdet		2.6 ± 0.5	3.0 ± 0.5				



Figur 4-22 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.12 Vandområde 127: Horsens Fjord, ydre

Vandområde 127 (Horsens Fjord, ydre) dækker den del af Horsens Fjord som løber fra Alrø midt i fjorden til tværsnittet mellem Nederskov (umiddelbart syd for Hjørnø) til Kalsehoved. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men der eksisterer en station i inderfjorden (VEJ0005790), en station på grænsen mellem inder- og yderfjorden (VEJ0006489) og en station syd for vandområdet (VEJ0006870) (Figur 4-23).

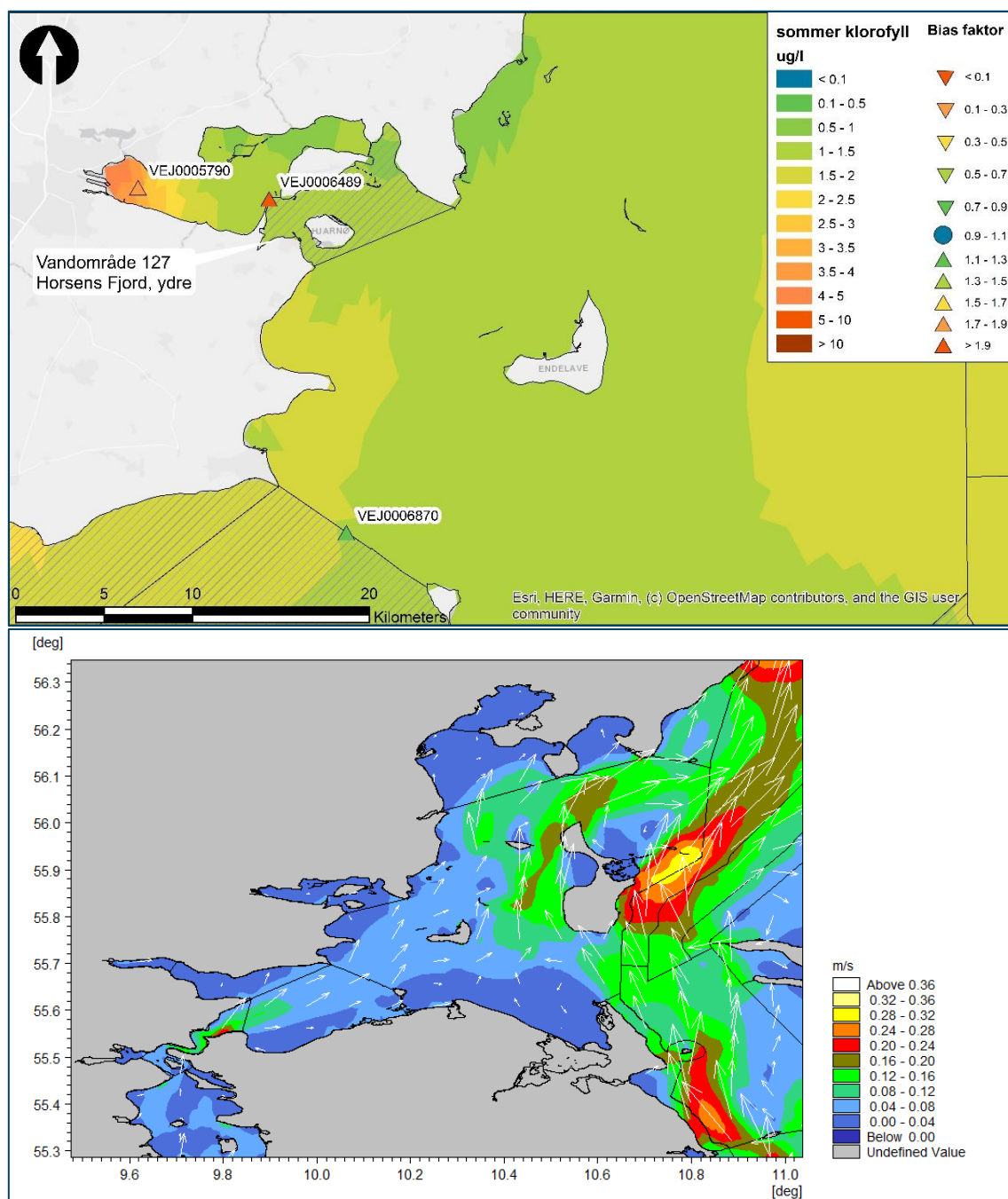
I perioden 2002-2016 er der samlet set 108 målinger af klorofyl-a igennem sommeren på VEJ0005790 fordelt mellem 11-13 (2008-2016), 12 målinger på VEJ0006489 (2016) og 145 målinger på VEJ0006870 fordelt på 12-16 målinger per år (2007-2016) (Tabel 4-13).

I udgangspunktet er overfladestrømmen i fjorden udadgående (Figur 4-23), men med en relativt svag gennemsnitlig strøm.

I Figur 4-24 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger generelt under 1:1 linjen. Der er en klar gradient ind igennem fjorden i både målinger og modelresultater, men de modelbaserede resultater er generelt lidt lavere end de målingsbaserede værdier. Den ene værdi, der eksisterer på VEJ0006489, er ligeledes lavere baseret på modelresultater.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 127, og alle tre stationer indgår i estimatet.

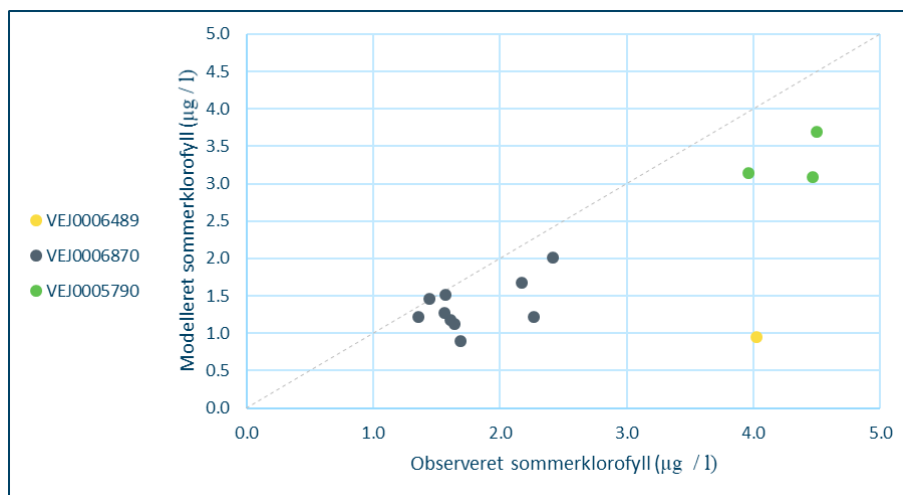
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-13.



Figur 4-23 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 127 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-13 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 127. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 127	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi	VEJ0005790	5.9	6.5	108	74	1.71	0.23
	VEJ0006489	4.0	4.0	12	35	4.26	
	VEJ0006870	1.8	2.2	145	72	1.35	0.22
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	VEJ0005790	2.0	2.2			
	Baseret på	VEJ0006489	5.0	5.0			
Samlet tilstandsværdi for vandområdet	Baseret på	VEJ0006870	1.6	1.9			
		1.9 ± 0.3	2.6 ± 0.3				



Figur 4-24 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

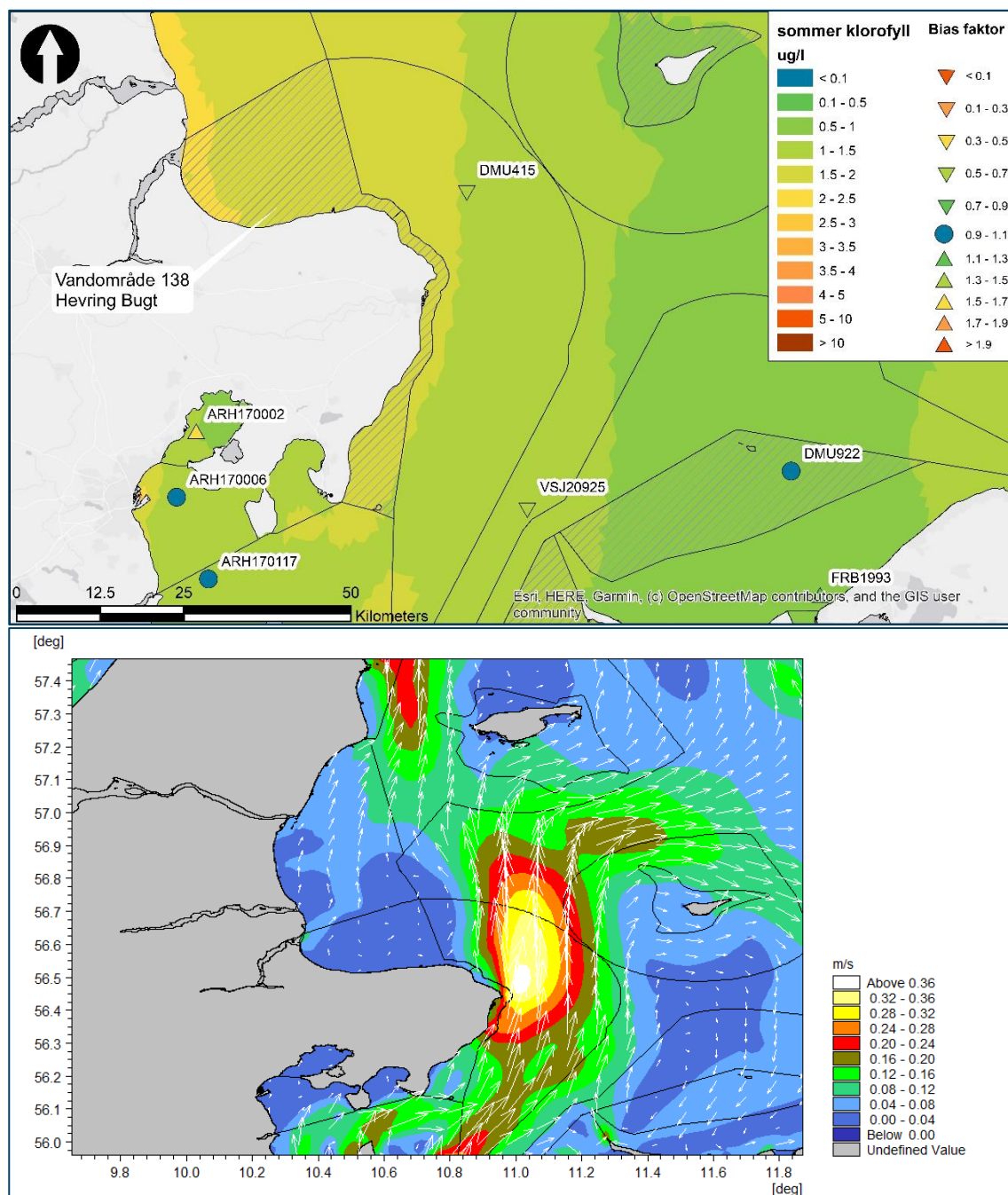
4.2.13 Vandområde 138: Hevring Bugt

Vandområde 138 (Hevring Bugt) dækker et område nord for Djursland, startende umiddelbart nord for udløbet fra Randers Fjord til midt på Djursland ud fra Gerrild Nordstrand. I selve området var der historisk en målestation (ARH190004), men siden 2009 har der ikke været indsamlet vandkemi data på den station. Udover ARH190004 findes der en station øst for området (DMU415) og en station sydvest for området (VSJ20925) (Figur 4-25).

I perioden 2002-2009 blev der indsamlet 86 sommer klorofyl-a målinger, som kan indgå i en fremskrivning af sommer klorofyl-a til brug for tilstandsvurderingen i de kommende vandområdeplaner. På de to andre stationer er der indsamlet 22 prøver på DMU415 fordelt på 1-3 målinger per år (2002-2016) og 83 prøver fordelt på 11-13 målinger per år (2010-2016) (Tabel 4-14). Af Figur 4-25 kan det ses, at overfladestrømmen i området ikke er entydig.

I Figur 4-26 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren fra ARH190004 og VSJ20925 ligger generelt omkring 1:1 linjen, mens de få målinger fra DMU415 generelt ligger under 1:1 linjen.

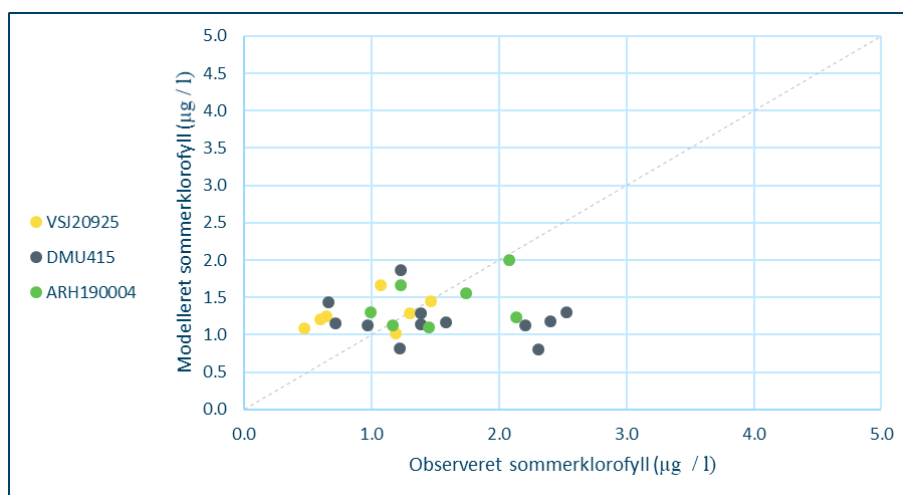
ARH190004 ligger i området, hvorfor metode 1 kan benyttes her. Ved brug af metode 1 beregnes en sommer klorofyl-a værdi på 2.0 µg/l mens den samlede sommer klorofyl-a beregnes til 1.8 µg/l ved brug af alle tre målestationer (se Tabel 4-14). Da et estimat med flere data generelt er mere robust, vælger vi at benytte metode 2, og resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-14.



Figur 4-25 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 138 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-14 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 138. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 127	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi	DMU415	1.6	1.2	22	9	1.40	0.56
	VSJ20925	1.0	1.1	83	69	0.77	0.40
	ARH190004	1.5		86		1.10	0.30
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	DMU415	2.6	1.9			
	Baseret på	VSJ20925	1.4	1.6			
Samlet tilstandsværdi for vandområdet	Baseret på	ARH190004	2.0				
		1.8 ± 0.8	1.7 ± 0.8				



Figur 4-26 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.14 Vandområde 139: Anholt

Vandområde 139 (Anholt) dækker et område rundt om Anholt. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men der eksisterer fire stationer, som vi har vurderet kan benyttes til at beregne en tilstandsværdi for vandområdet: DMU415 (22 målinger) beliggende sydvest for Anholt, DMU413 (83 målinger) beliggende syd for Anholt, DMU418 (26

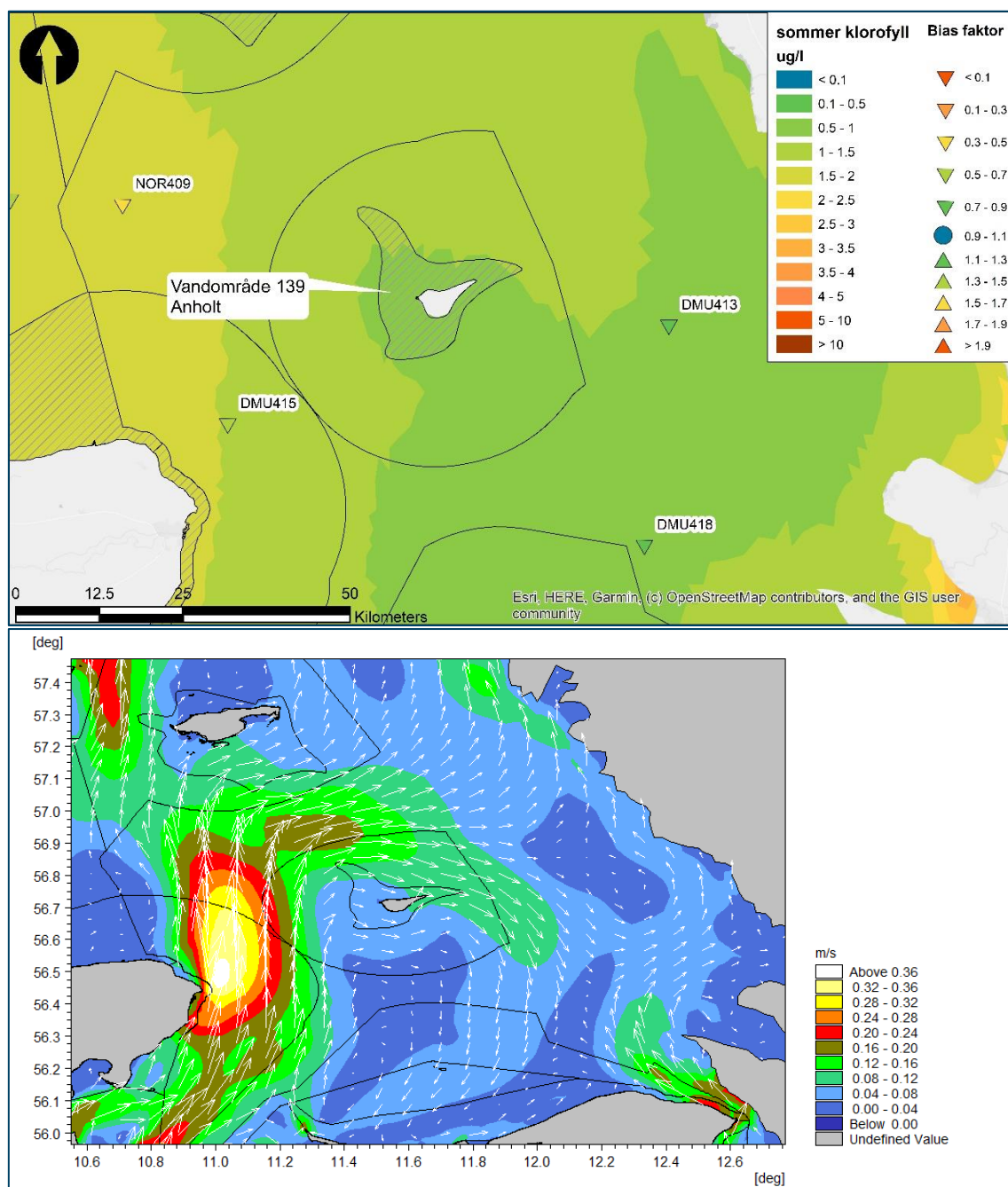
målinger) beliggende sydøst for Anholt og NOR409 (181 målinger) beliggende nordvest for Anholt (Figur 4-27 og Tabel 4-15). For de to DMU-stationer er målingerne spredt ud over hele perioden med få målinger per år, mens der indgår mellem 11-15 målinger per år på de to andre stationer.

Den gennemsnitlige strøm fra Storebælt kommer sydfra og deler sig ved Anholt, og en del af overfladestrømmen løber øst om øen, mens en del løber vest om (Figur 4-27).

I Figur 4-27 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger spredt omkring 1:1 linjen og udviser en relativt stor spredning. Bemærk, at der kun indgår få målinger i beregningerne per år for DMU415 og DMU418.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 139, og alle fire stationer indgår i estimatet.

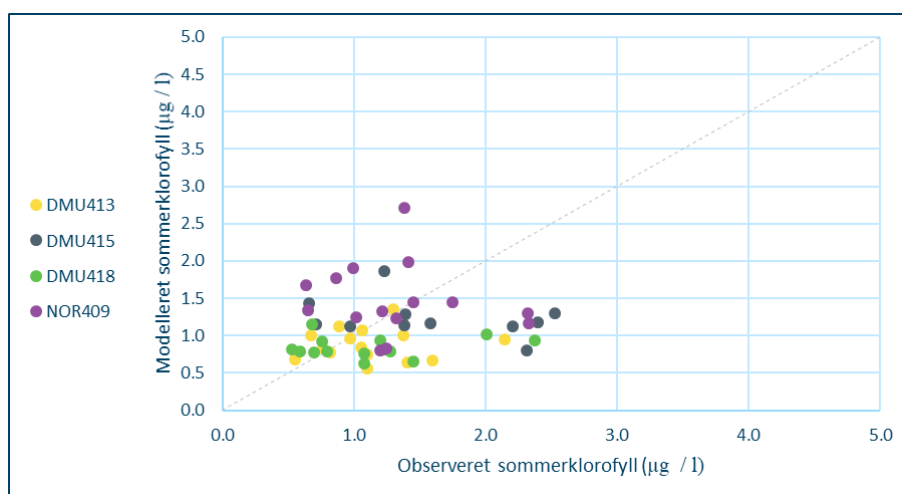
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-15.



Figur 4-27 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 139 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-15 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 139. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 127	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi	DMU415	1.6	1.2	22	9	1.40	0.56
	VSJ20925	1.0	1.1	83	69	0.77	0.40
	DMU418	1.1	1.0	26	10	1.38	0.48
	NOR409	1.3	1.2	181	71	1.01	0.53
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	DMU415	1.3	1.0			
	Baseret på	DMU413	0.7	0.8			
	Baseret på	DMU418	1.3	1.2			
	Baseret på	NOR409	0.9	0.9			
	Samlet tilstandsværdi for vandområdet	0.9 ± 0.5	0.9 ± 0.5				



Figur 4-28 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.15 Vandområde 140: Djursland Øst

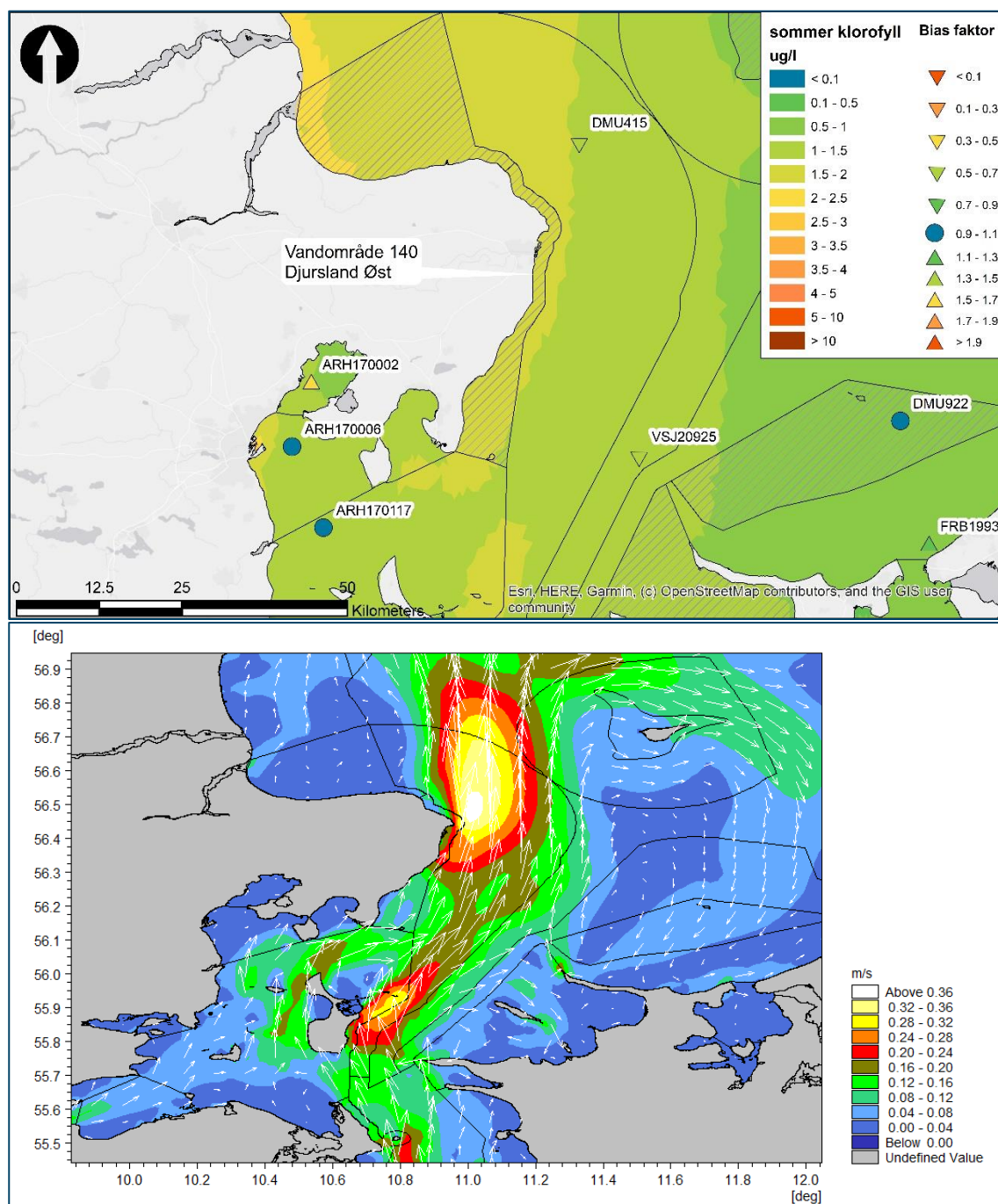
Vandområde 140 (Djursland Øst) dækker et område fra midt på Djursland til Gåsehage syd for Ebeltoft. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men

der eksisterer to stationer som kan indgå i beregningen af tilstandsværdi for vandområdet. DMU415 ligger nordvest for området. På denne station eksisterer 22 målinger fordelt med 1-3 målinger per år (2002-2016). Derudover er VSJ20925 beliggende sydøst for området og her er der indsamlet 83 målinger fordelt med 11-13 målinger per år (2010-2016) (Figur 4-29 og Tabel 4-16). Som det fremgår af Figur 4-29 er overfladestrømmen nordgående i området og løber med relativt stor hastighed på langs af vandområdet.

I Figur 4-30 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger generelt omkring 1:1 linjen men med enkelte punkter baseret på data fra station DMU415 hvor målingerne udviser større værdier end modelresultaterne.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 140, og alle fire stationer indgår i estimatet.

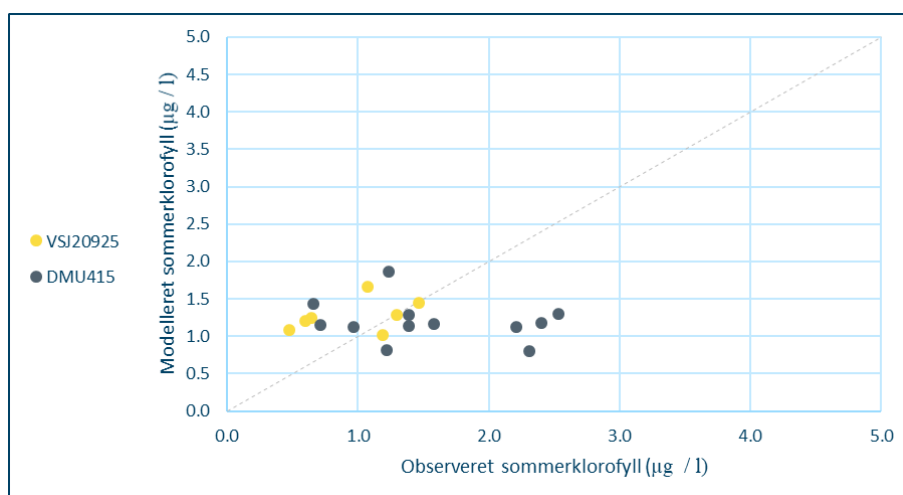
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-16.



Figur 4-29 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 140 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-16 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 140. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 122	Station	Målt sommer- klorofyl 2002- 2016	Målt som- merkloro- fyl 2014-2019	Antal målin- ger 2002-2016	Antal målin- ger 2014-2019	Vægtet bias-fak- tor	Standard afvigelse
Beregnet til- standsværdi for vandområ- det	DMU415	1.6	1.2	22	9	1.40	0.56
	VSJ20925	1.0	1.1	83	69	0.77	0.40
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	DMU415	2.3	1.7			
	Baseret på	VSJ20925	1.3	1.5			
Samlet til- standsværdi for vandområ- det		1.5 ± 0.8	1.5 ± 0.8				



Figur 4-30 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.16 Vandområde 154: Kattegat, Læsø

Vandområde 154 (Kattegat, Læsø) dækker et relativt stort område rundet om Læsø. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men der eksisterer fem stationer, som vi har vurderet kan benyttes til at beregne en tilstandsværdi for vandområdet: DMU403 (65 målinger) beliggende umiddelbart vest for vandområdet, DMU905 (134 målinger) beliggende øst for Læsø, DMU1009 (27 målinger) beliggende nordvest for Læsø, DMU1008 (26 målinger) beliggende nord for Læsø og DMU1007 (26 målinger) beliggende nordøst for Læsø

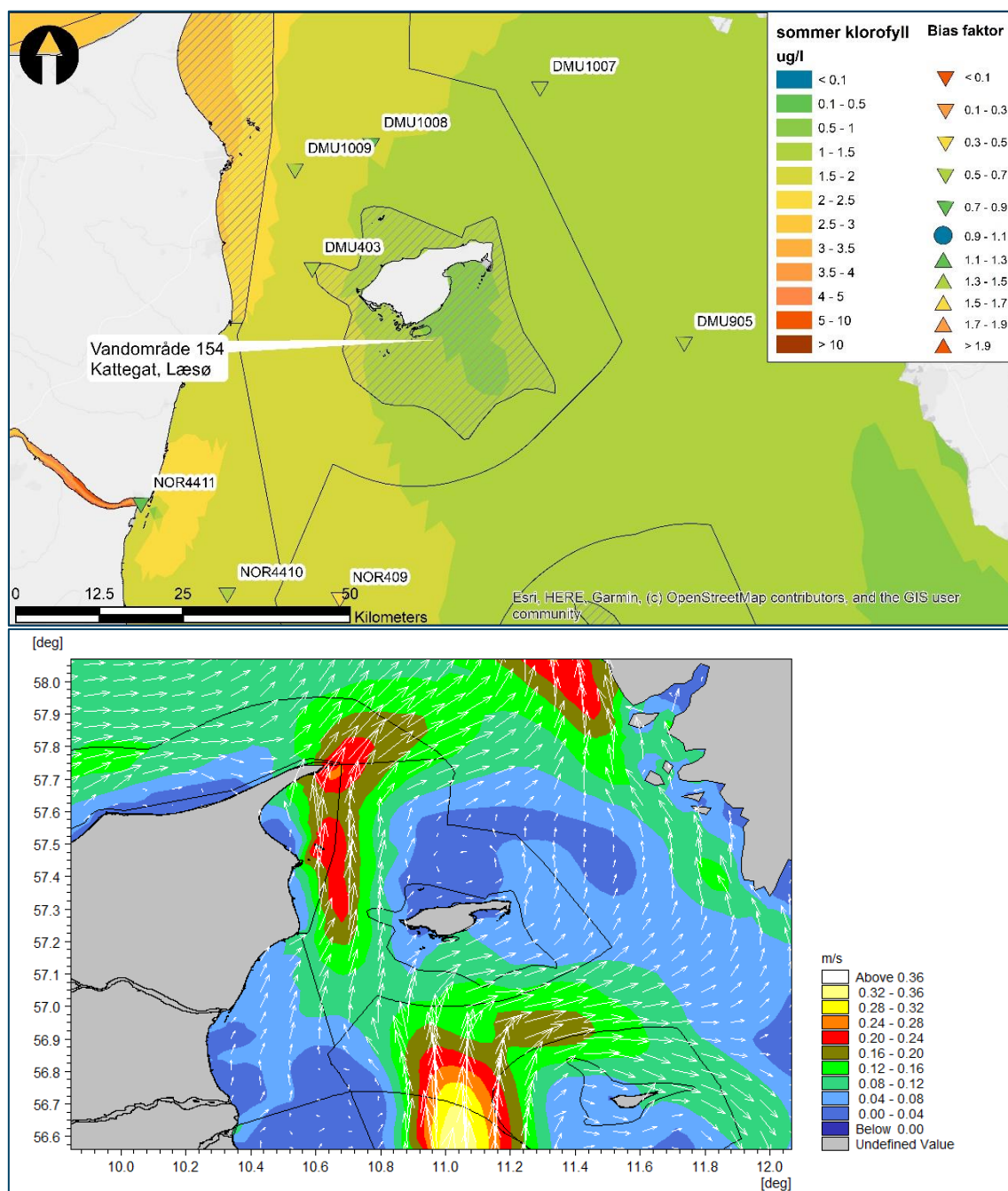
(Figur 4-31 og Tabel 4-16). For de tre stationer: DMU1009, DMU1008 og DMU1007 er målingerne spredt ud over hele perioden med få målinger per år, mens der indgår mellem 11-12 målinger på DMU403 (2002 og 2003) og 6-11 målinger per år (2002-2016) på DMU905.

Den gennemsnitlige strøm fra Storebælt og Østersøen kommer sydfra og deler sig ved Læsø, og en del af overfladestrømmen løber øst om øen, mens en del løber vest om (Figur 4-31).

I Figur 4-32 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger spredt omkring 1:1 linjen og udviser en relativt stor spredning. Bemærk at der kun indgår få målinger i beregningerne per år for DMU1009, DMU1008 og DMU1007.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 154, og alle fire stationer indgår i estimatet.

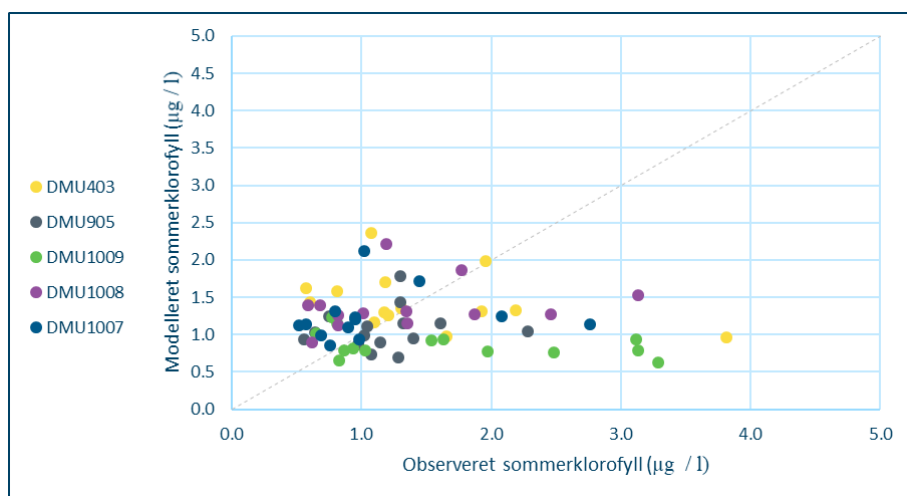
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-16.



Figur 4-31 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 154 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-17 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 154. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 154	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
	DMU403	1.5	1.1	65	48	0.79	0.65
	DMU905	1.2	1.2	134	41	1.24	0.40
	DMU1009	1.6	1.3	27	12	1.14	0.68
	DMU1008	1.4	1.0	26	12	0.99	0.50
	DMU1007	1.1	0.9	26	12	0.95	0.48
Beregnet tilstandsværdi		2002-2016	2014-2019				
Baseret på	DMU403	0.9	0.7				
Baseret på	DMU905	1.4	1.5				
Baseret på	DMU1009	1.3	1.0				
Baseret på	DMU1008	1.2	0.8				
Baseret på	DMU1007	1.1	0.9				
Samlet tilstandsværdi for vandområdet		1.3 ± 0.6	1.3 ± 0.6				



Figur 4-32 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

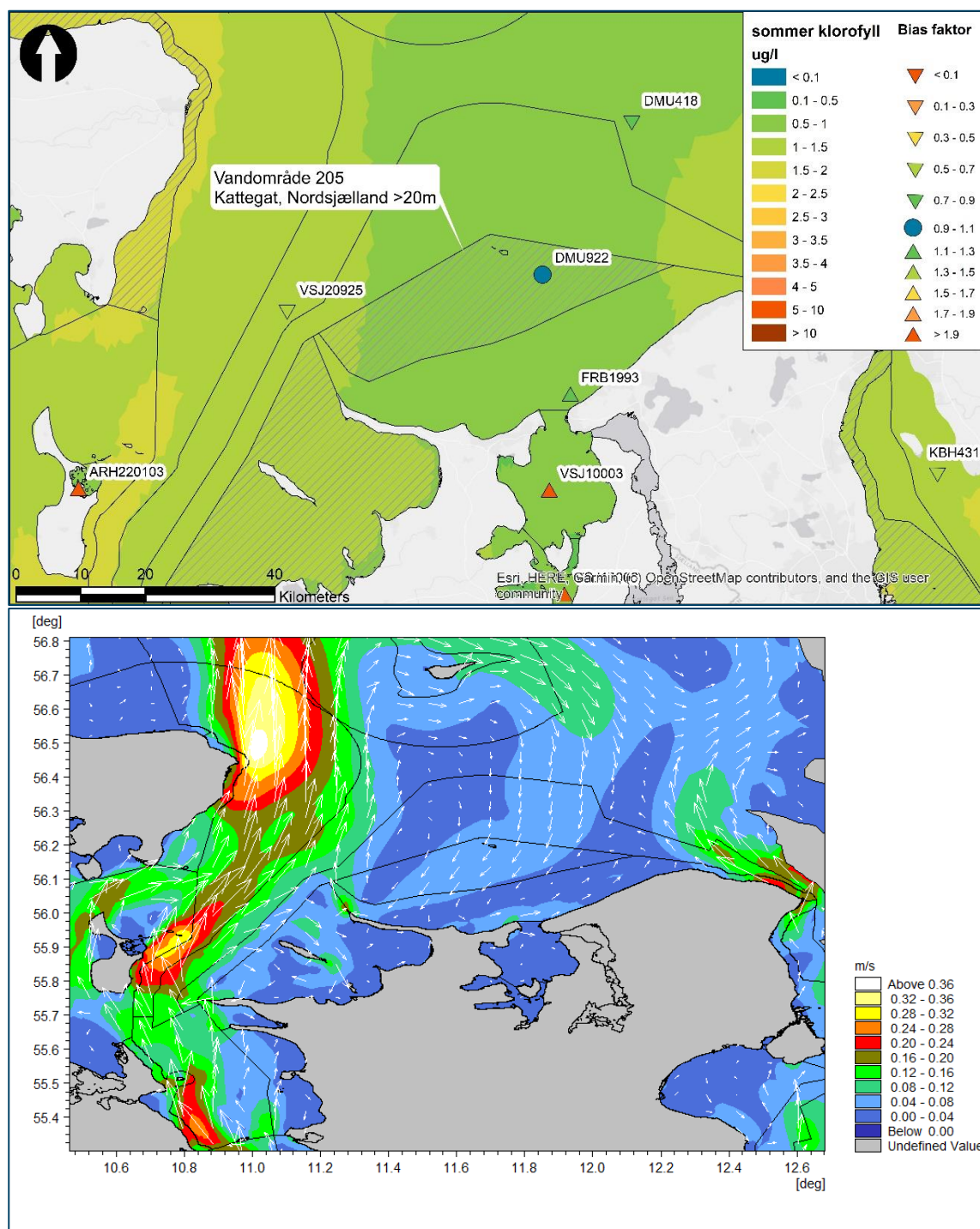
4.2.17 Vandområde 205: Kattegat, Nordsjælland >20m

Vandområde 205 (Nordsjælland >20m) dækker et relativt stort område nord for Sjælland. Området inkluderer farvande nord for Sjælland med dybder større end 20 m og omslutter Hesselø. I selve området eksisterer en målestation DMU922 men denne station inkluderer 1-2 målinger per sommer og kan derfor ikke indgå i beregningen af en tilstandsværdi. Udover DMU922 findes der en station nord for området (DMU418) og en station vest for området (VSJ20925) (Figur 4-33).

I perioden 2002-2016 blev der indsamlet 27 sommer klorofyl-a målinger på DMU922, som kan indgå i en fremskrivning af sommer klorofyl-a til brug for tilstandsvurderingen i de kommende vandområdeplaner, mens der blev indsamlet 26 prøver på DMU418 fordelt på 1-3 målinger per år (2002-2016) og 83 prøver på VSJ20925 fordelt på 11-13 målinger per år (2010-2016) (Tabel 4-18). Af Figur 4-33 kan det ses at overfladestrømmen i området generelt set køre med uret rundt i vandområdet.

I Figur 4-34 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger generelt omkring 1:1 linje men med enkelte højere datapunkter baseret på målinger end baseret på modelresultater.

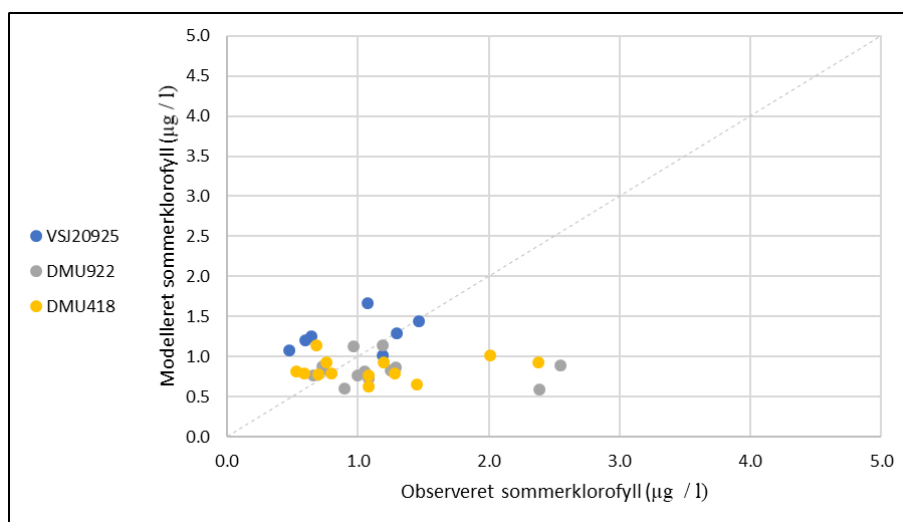
DMU022 er beliggende i området men inkluderer kun relativt få målinger hvorfor vi benytter metode 2. Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-18.



Figur 4-33 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 205 med modelleret sommer-klorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-18 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 205. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 205	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi	DMU922	1.2	1.0	27	10	1.56	0.46
	DMU418	1.1	1.0	26	10	1.38	0.48
	VSJ20925	1.0	1.1	83	69	0.77	0.40
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	DMU922	1.4	1.2			
	Baseret på	DMU418	1.2	1.1			
Samlet tilstandsværdi for vandområdet	Baseret på	VSJ20925	0.7	0.8			
			0.9 ± 0.4	0.9 ± 0.4			



Figur 4-34 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.18 Vandområde 208: Femerbælt

Vandområde 208 (Femberbælt) strækker sig fra Gedser til Onsevig (nord for Nakskov Fjord) og følger 1-sømilegrænsen. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men der eksisterer fire stationer som vi har vurderet kan benyttes til at beregne en tilstandsværdi for vandområdet: DMU954 (26 målinger) beliggende sydøst for vandområdet, DMU952 (26 målinger) beliggende syd for vandområdet, DMU450 (26 målinger) beliggende

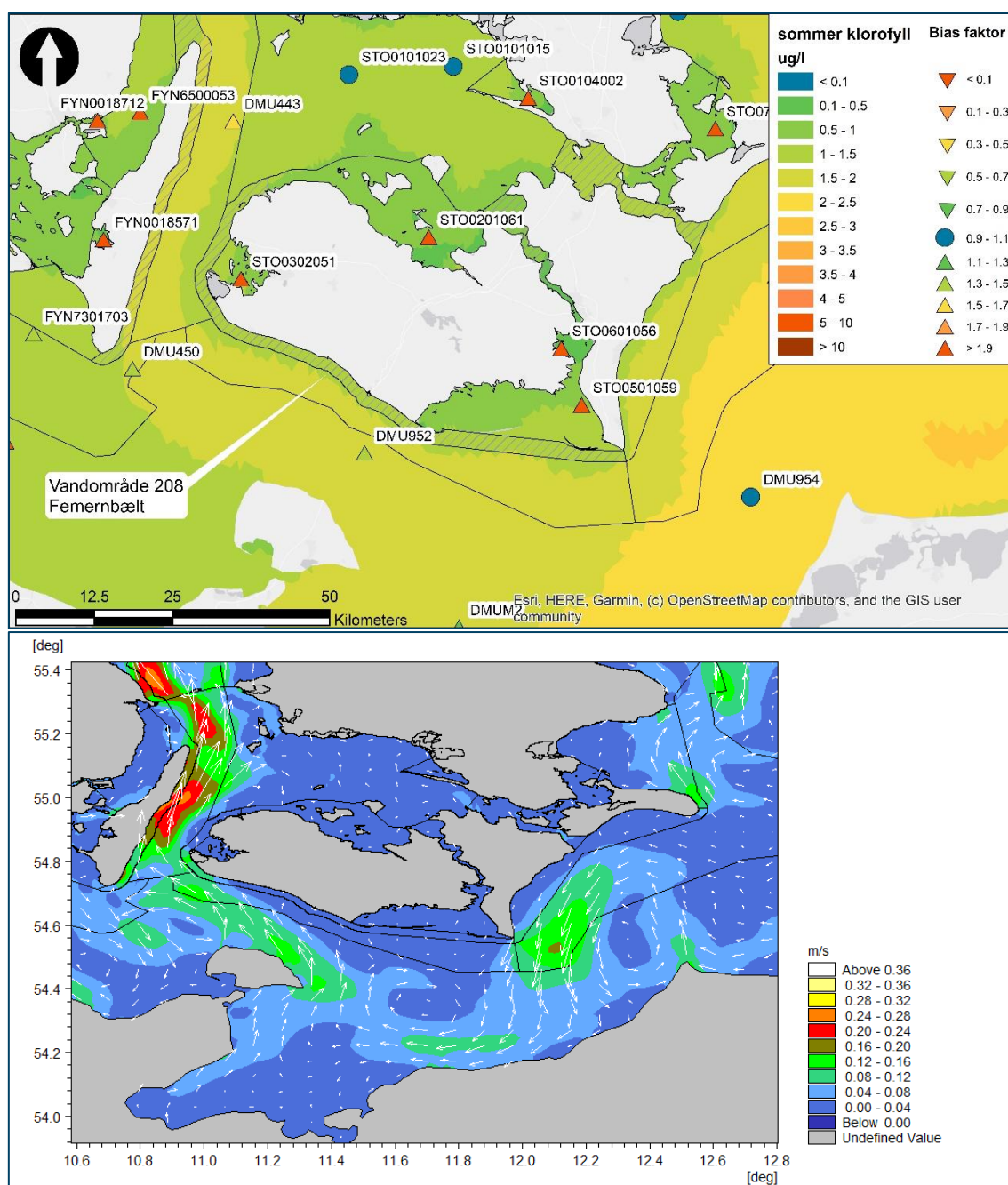
sydvest for vandområdet og DMU443 (28 målinger) beliggende nord for vandområdet (Figur 4-35 og Tabel 4-19). For alle stationerne i området gælder det at målingerne dækker over få målinger per år for hele perioden.

Generelt set løber vandet langs vandområdet og op gennem Storebælt med lokale variationer. (Figur 4-35).

I Figur 4-36 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger generelt under 1:1 linjen men dækker alle over datapunkter fra målinger med få målinger per år og målinger som er indsamlet sidst i perioden (august og september).

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 208, og alle fire stationer indgår i estimatet.

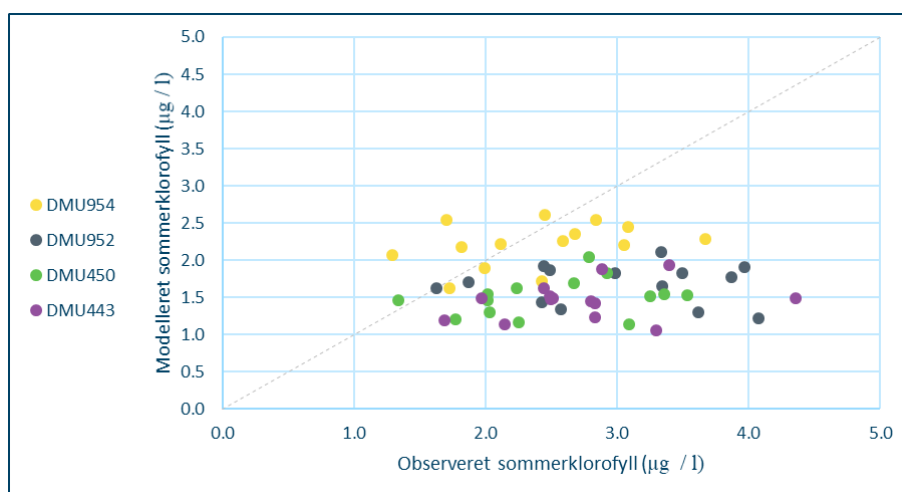
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-19.



Figur 4-35 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 208 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-19 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 208. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 127	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi	DMU954	2.4	2.8	26	12	1.08	0.27
	DMU952	3.0	2.9	26	11	1.84	0.34
	DMU450	2.5	2.7	26	11	1.68	0.29
	DMU443	2.7	2.7	28	11	1.93	0.25
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	DMU954	1.4	1.7			
	Baseret på	DMU952	2.4	2.3			
	Baseret på	DMU450	2.2	2.4			
	Baseret på	DMU443	2.5	2.5			
	Samlet tilstandsværdi for vandområdet	2.1 ± 0.4	2.2 ± 0.4				



Figur 4-36 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.19 Vandområde 224: Nordlige Lillebælt

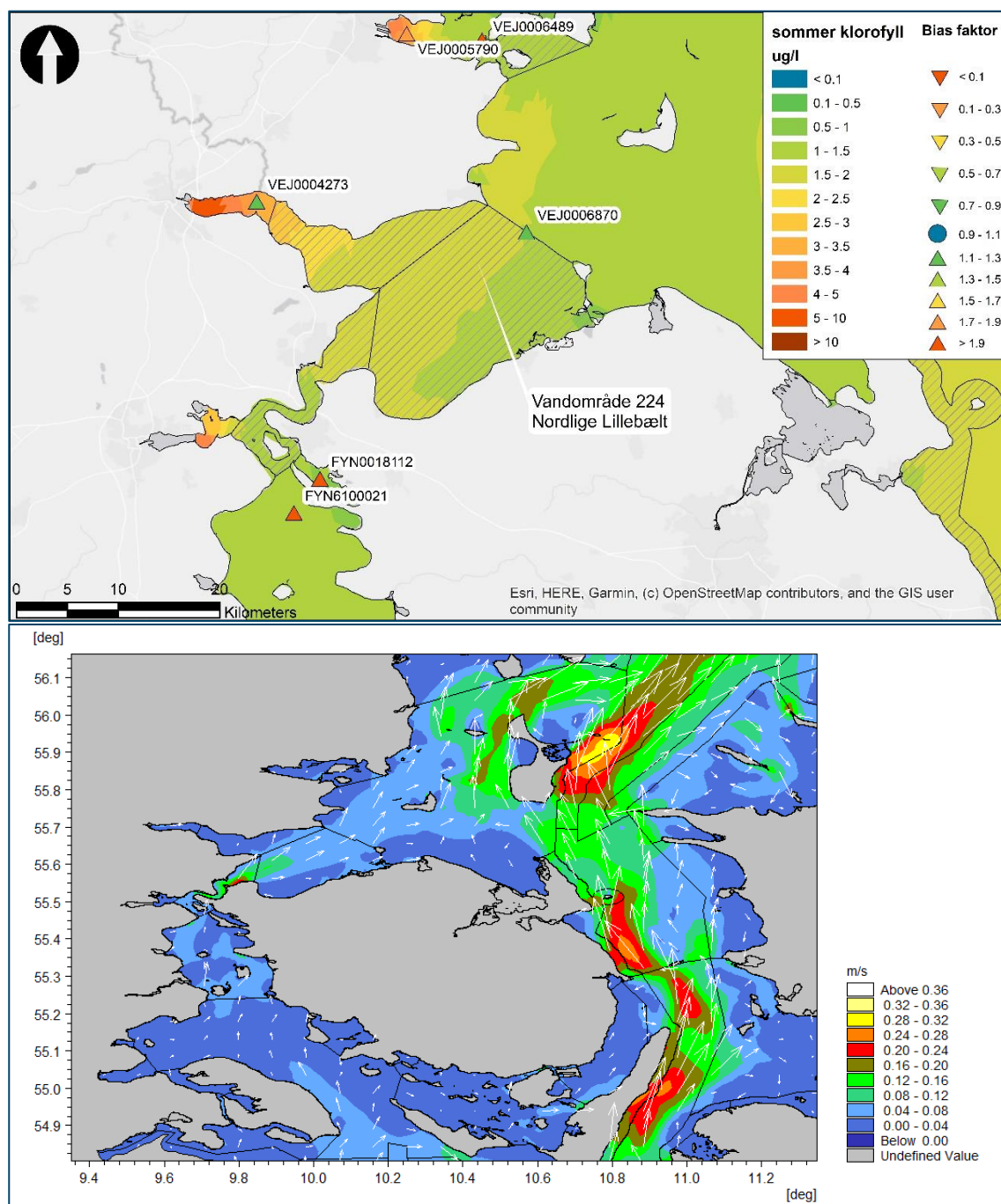
Vandområde 224 (Nordlige Lillebælt) er et nyt vandområde som strækker sig fra tragten til Lillebælt og fra Juelsminde over Æbelø til Fyn. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en

station i selve vandområdet, men umiddelbart nord for området eksisterer der en station (VEJ0006870) med 145 sommer målinger fordelt med 12-18 målinger per år (2007-2016). Vandet i området er i gennemsnit nordgående (Figur 4-35).

I Figur 4-36 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren følger 1:1 linjen men ligger overvejende under linjen.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 224, og her benytter vi alene station VEJ0006870.

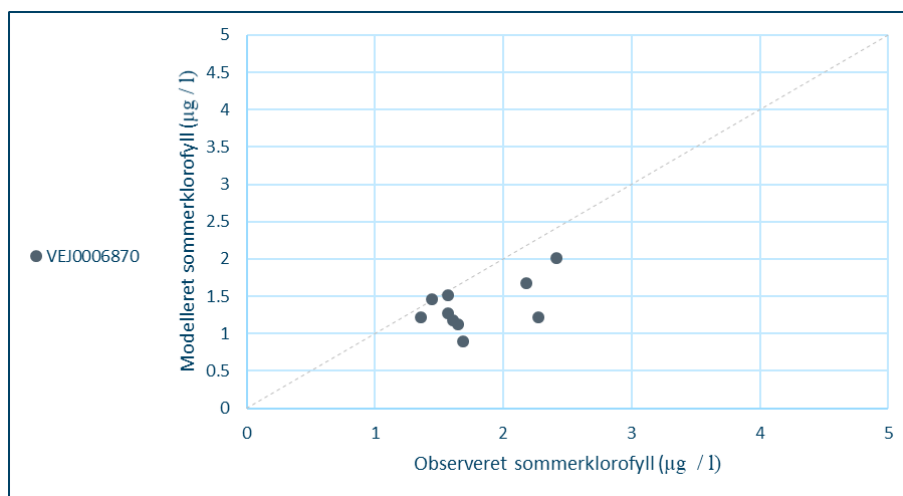
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-19.



Figur 4-37 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 224 med modelleret sommer-klorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-20 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 224. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 224	Station	Målt sommer- klorofyl 2002- 2016	Målt som- merkloro- fyl 2014-2019	Antal målin- ger 2002-2016	Antal målin- ger 2014-2019	Vægtet bias-fak- tor	Standard afvigelse
	VEJ0006870	1.8	2.2	145	72	1.35	0.22
Beregnet til- standsværdi for vandområ- det		2002-2016	2014-2019				
Baseret på		2.0	2.4				
Samlet til- standsværdi for vandområ- det		2.0 ± 0.3	2.4 ± 0.3				



Figur 4-38 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.20 Vandområde 225: Nordlige Kattegat, Ålbæk Bugt

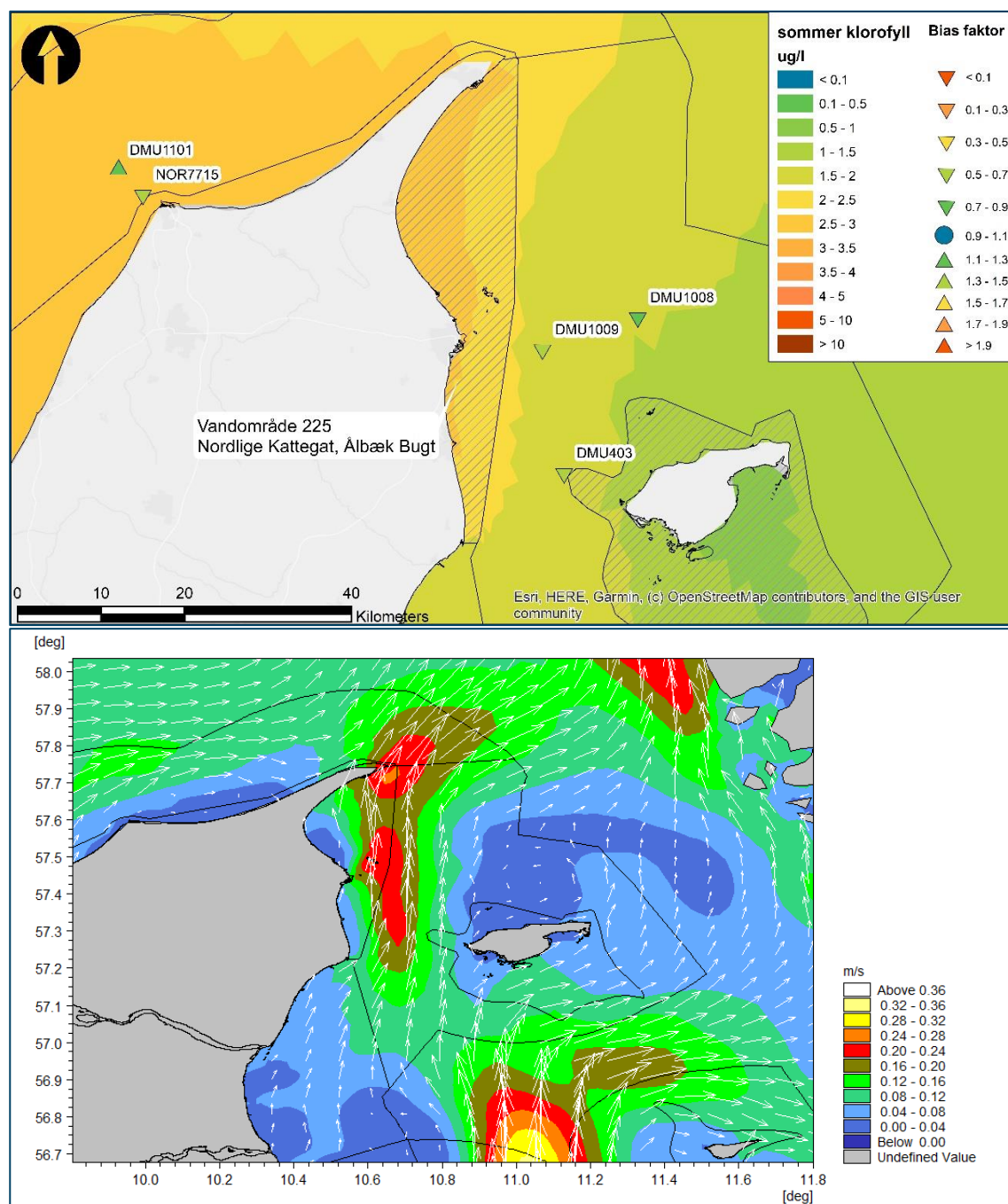
Vandområde 225 (Nordlige Kattegat, Ålbæk Bugt) strækker sig fra Sønderklit (syd for Søby) til Skagen. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men der eksisterer tre stationer som vi har vurderet kan benyttes til at beregne en tilstandsværdi for vandområdet: DMU1008 (26 målinger), DMU1009 (27 målinger) og DMU403 (65 målinger). Alle de tre stationer er beliggende øst for vandområdet (Figur 4-35 og Tabel 4-19). For DMU403 ligger de fleste målinger mellem 10-13 målinger per år (2013-2016) og enkelte målinger per år i den tidligere i perioden før 2013, mens de to andre har få målinger per år over hele perioden.

Generelt set løber vandet nordover igennem vandområdet (Figur 4-39).

I Figur 4-36 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger generelt spredt omkring 1:1 linjen og med en række punkter som ligger under 1:1 linjen.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 225, og alle tre stationer indgår i estimatet.

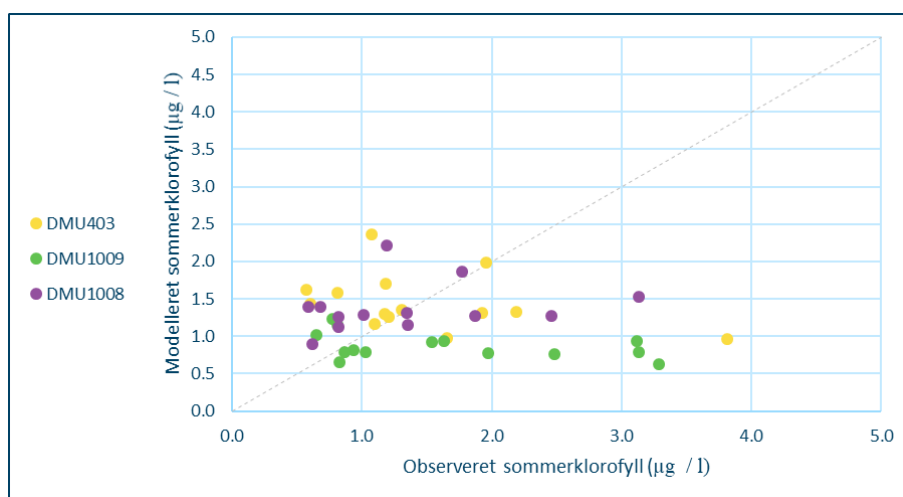
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-19.



Figur 4-39 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 225 med modelleret sommer-klorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-21 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 225. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 225	Station	Målt sommer- klorofyl 2002- 2016	Målt som- merkloro- fyl 2014-2019	Antal målin- ger 2002-2016	Antal målin- ger 2014-2019	Vægtet bias-fak- tor	Standard afvigelse
Beregnet til- standsværdi for vandom- råde	DMU1008	1.4	1.0	26	12	0.99	0.50
	DMU1009	1.6	1.3	27	12	1.14	0.68
	DMU403	1.5	1.1	65	48	0.79	0.65
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	DMU1008	2.4	1.8			
	Baseret på	DMU1009	2.8	2.2			
Samlet til- standsværdi for vandområ- det	Baseret på	DMU403	1.9	1.4			
		2.2 ± 1.5	1.6 ± 1.5				



Figur 4-40 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

4.2.21 Vandområde 231: Lillebælt, Snævringen

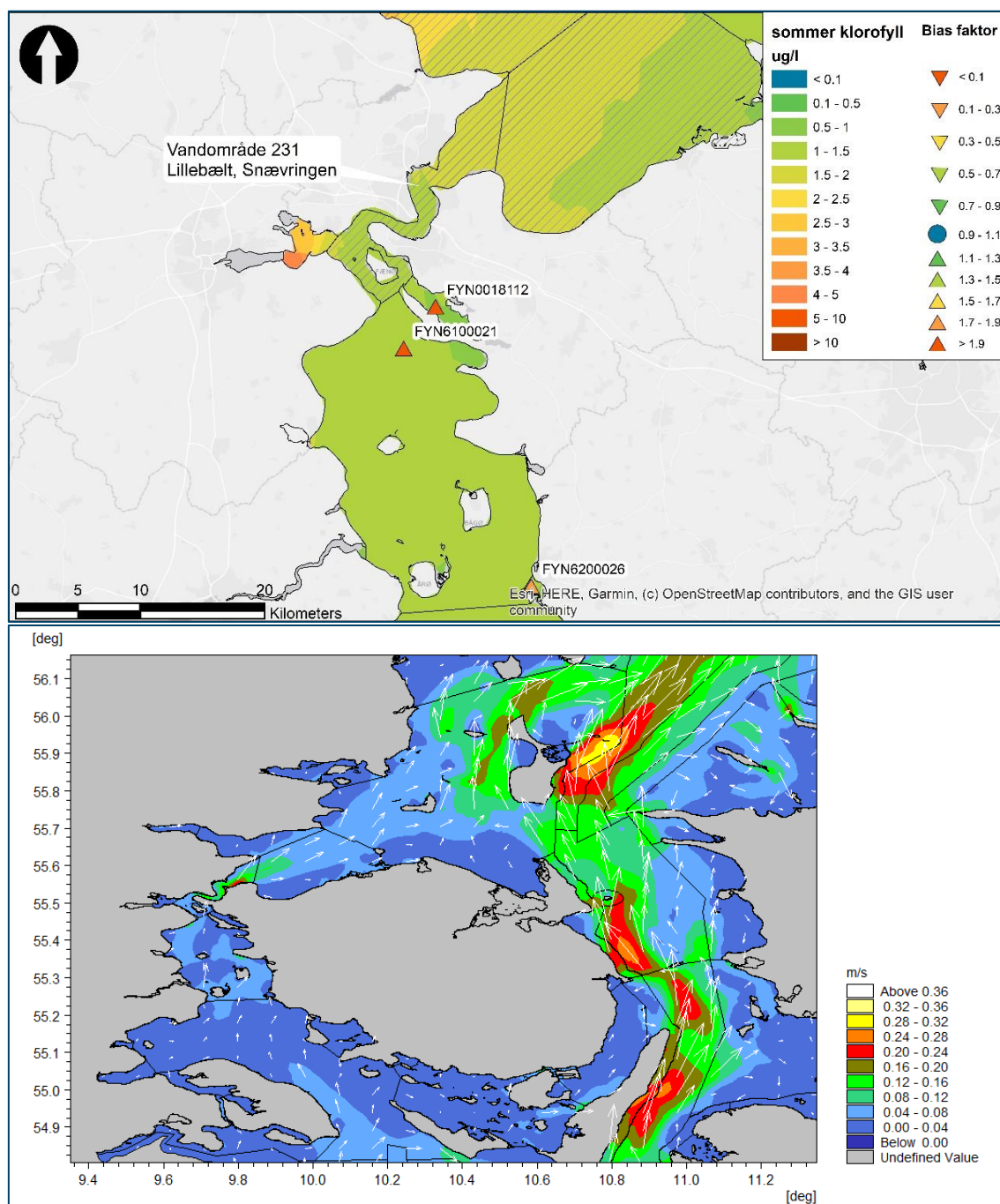
Vandområde 231 (Lillebælt, Snævringen) er et nyt vandområde som strækker sig fra Gamborg Fjord til tragten til Lillebælt. Der har i perioden 2002-2016 ikke været målt på en station i selve vandområdet, men umiddelbart syd for området eksisterer der en station (FYN6100021) (Figur

4-41) med 76 sommer målinger (Tabel 4-22) fordelt med 12-14 målinger per år (2010-2016). Vandet i området er i gennemsnit nordgående (Figur 4-35).

I Figur 4-42 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger under 1:1 linjen.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 231, og her benytter vi alene station VEJ0006870.

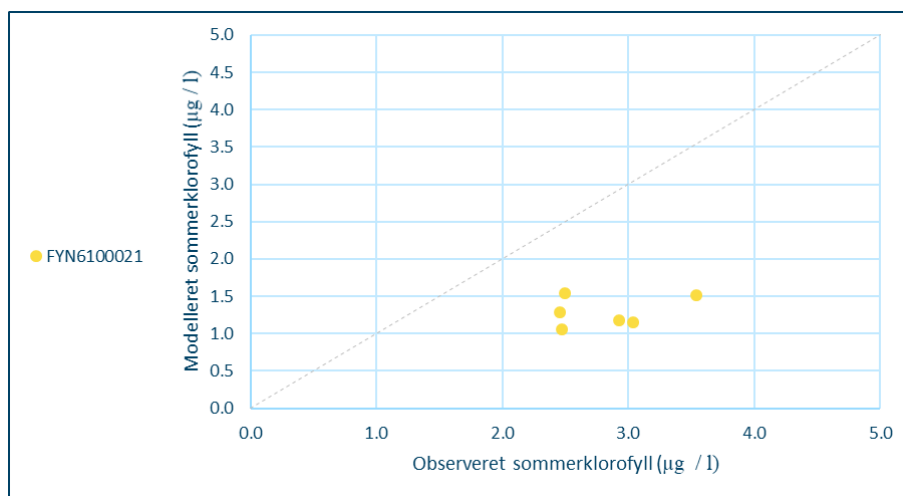
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-22.



Figur 4-41 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 231 med modelleret sommerklorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området. Den nederste figur viser den gennemsnitlige overfladestrøm i området for sommeren 2016.

Tabel 4-22 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 231. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 224	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
	FYN6100021	2.8	2.6	76	49	2.22	0.18
Beregnet tilstandsværdi for vandområdet		2002-2016	2014-2019				
Baseret på		2.7	2.5				
Samlet tilstandsværdi for vandområdet		2.7 ± 0.2	2.5 ± 0.2				



Figur 4-42 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

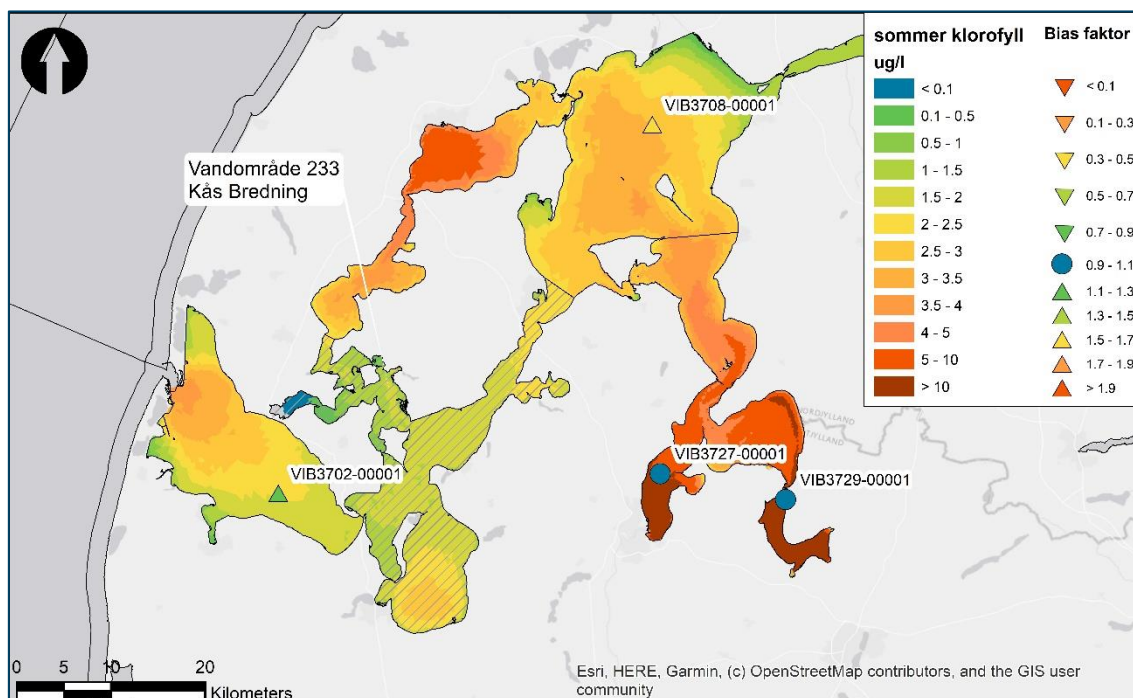
4.2.22 Vandområde 233: Kås Bredning og Venø Bugt

Vandområde 233 (Kås Bredning og Venø Bugt) er et nyt vandområde og dækker Nees Sund i nord, inkluderer Venø Bugt og Kås Bredning op til Nykøbing Mors. I selve området eksisterer en målestation (VIB3705-00001) med 24 sommer målinger (2002-2003). Derudover er der en station beliggende i Nissum Bredning (VIB3702-00001) som inkluderer 192 målinger fordelt med 11-25 målinger (2002-2016) (Figur 4-43 og Tabel 4-23).

I Figur 4-44 er modelleret koncentrationer af sommer klorofyl-a sammenholdt med sommer klorofyl-a baseret på målinger. Punkterne på figuren ligger generelt omkring eller under 1:1 linje.

Da der ikke findes målestationer i selve vandområdet i perioden 2002-2016, benytter vi metode 2 til estimering af en tilstandsværdi for vandområde 233, og begge stationer indgår i estimatet.

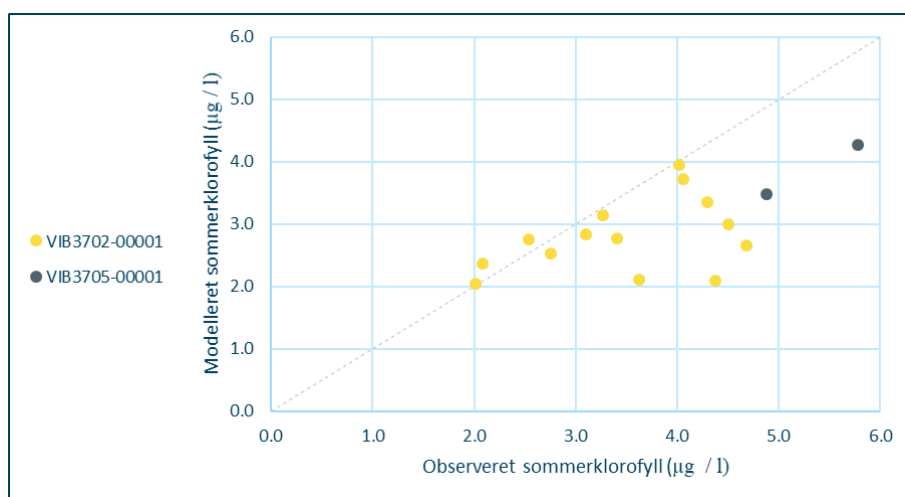
Resultaterne af den endelige beregning er vist i Tabel 4-23.



Figur 4-43 Den øverste figur viser et udsnit af Figur 4-1 for vandområde 233 med modelleret sommer-klorofyl, samt de beregnede vægtede bias-faktorer for stationer i området.

Tabel 4-23 Oversigt over den tilgængelige data for stationer nær vandområde 233. Tabellen viser den gennemsnitligt målte sommer klorofyl for perioderne 2002-2016 og 2014-2019, samt antallet af målte for begge perioder. Bias-faktoren er beregnet for begge stationer, og standardafvigelsen er ligeledes angivet. Tilstandsværdien er beregnet for vandområdet først for 2002-2016 for de enkelte stationer, og så fremskrevet til perioden 2014-2019. Det vægtede gennemsnit er brugt til at beregne den endelige tilstandsværdi for vandområdet.

Vandområde 122	Station	Målt sommer-klorofyl 2002-2016	Målt sommer-klorofyl 2014-2019	Antal målinger 2002-2016	Antal målinger 2014-2019	Vægtet bias-faktor	Standard afvigelse
Beregnet tilstandsværdi for vandområdet	VIB3702-00001	3.5	3.2	192	71	1.28	0.27
	VIB3705-00001	5.3		24	0	1.38	0.03
		2002-2016	2014-2019				
	Baseret på	2.6	2.4				
	Baseret på	2.7					
Samlet tilstandsværdi for vandområdet		2.6 ± 0.3	2.4 ± 0.3				



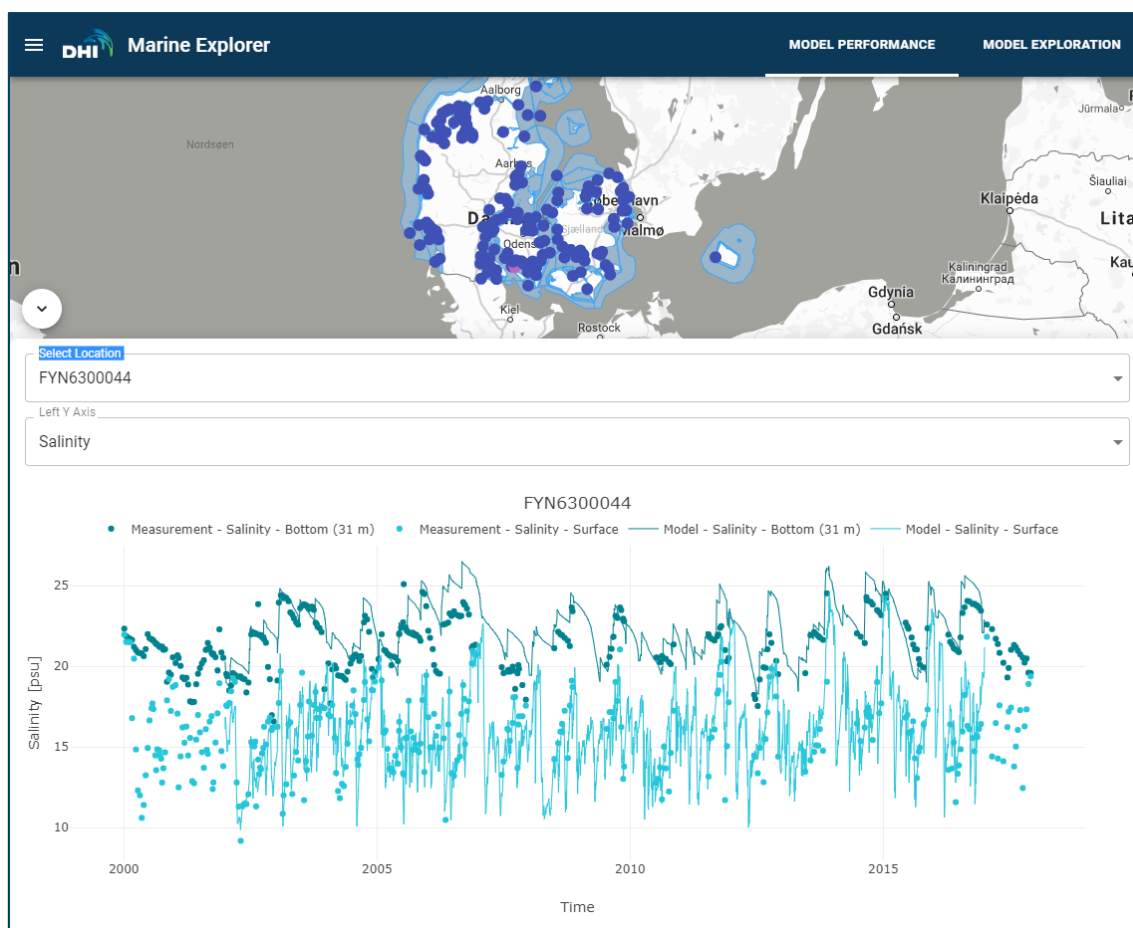
Figur 4-44 Modelleret sommerklorofyl (2002-2016) mod tilsvarende målt sommerklorofyl.

5 Web-værktøj

For at sikre Miljøstyrelsen og Aarhus Universitet nem adgang til modelresultater uden at have direkte adgang til eller viden om de enkelte model-værktøjer er der i Erichsen et al. (2018b) beskrevet den påbegyndte udvikling af et web-værktøj (Marine Explorer) til håndtering af modelresultater.

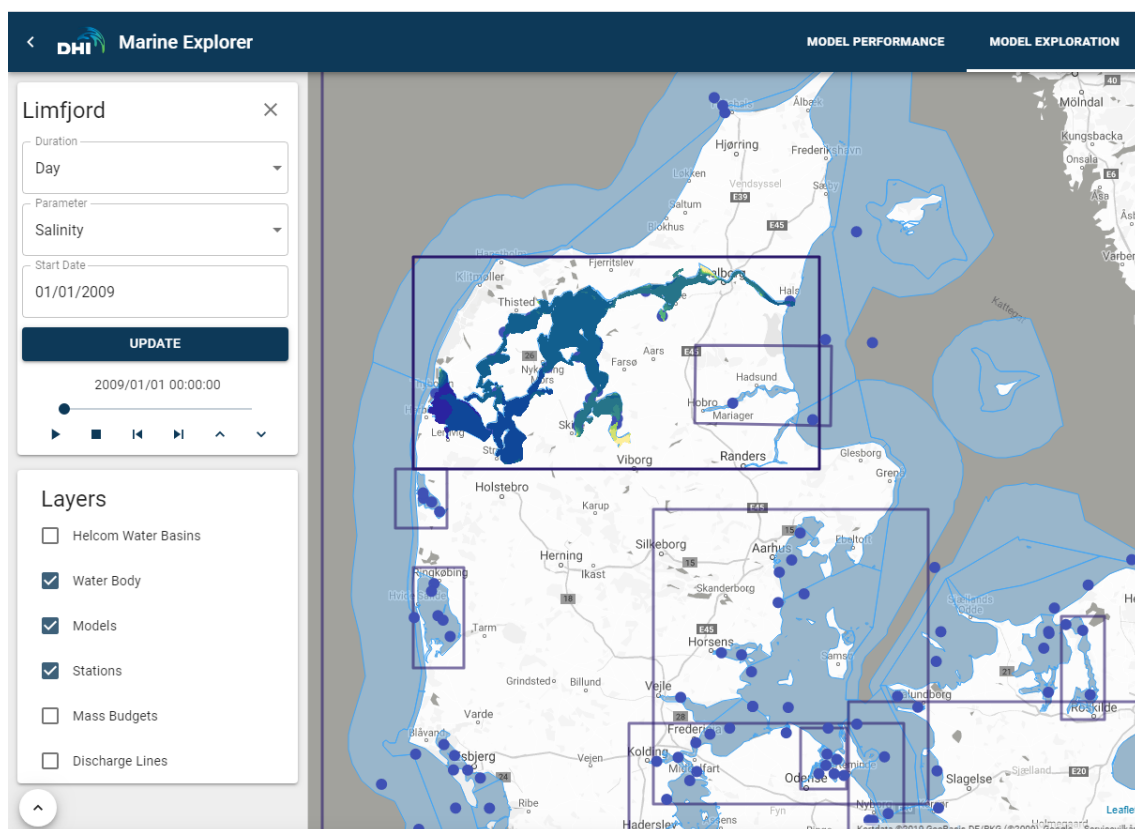
Den første udgave af dette web-værktøj indeholdt udelukkende data fra Skagen og sydover, og indeholdt udelukkende data fra modellen for de indre danske farvande (DKBS2). Værktøjet er nu blevet opdateret og indeholder data fra både UKNS2, Nordsømodellen (DKBS2), og flere lokale modeller i de danske farvande.

Der er flere funktionaliteter i værktøjet. I Figur 5-1 er vist et eksempel på, at man under menu-punktet "Model Performance" kan vurdere kvaliteten af modelresultaterne gennem sammenstillingen med målte værdier.



Figur 5-1 Model Performance: Plot af modelleret salinitet vist sammen med målinger for FYN6300044 beliggende i det sydlige Lillebælt.

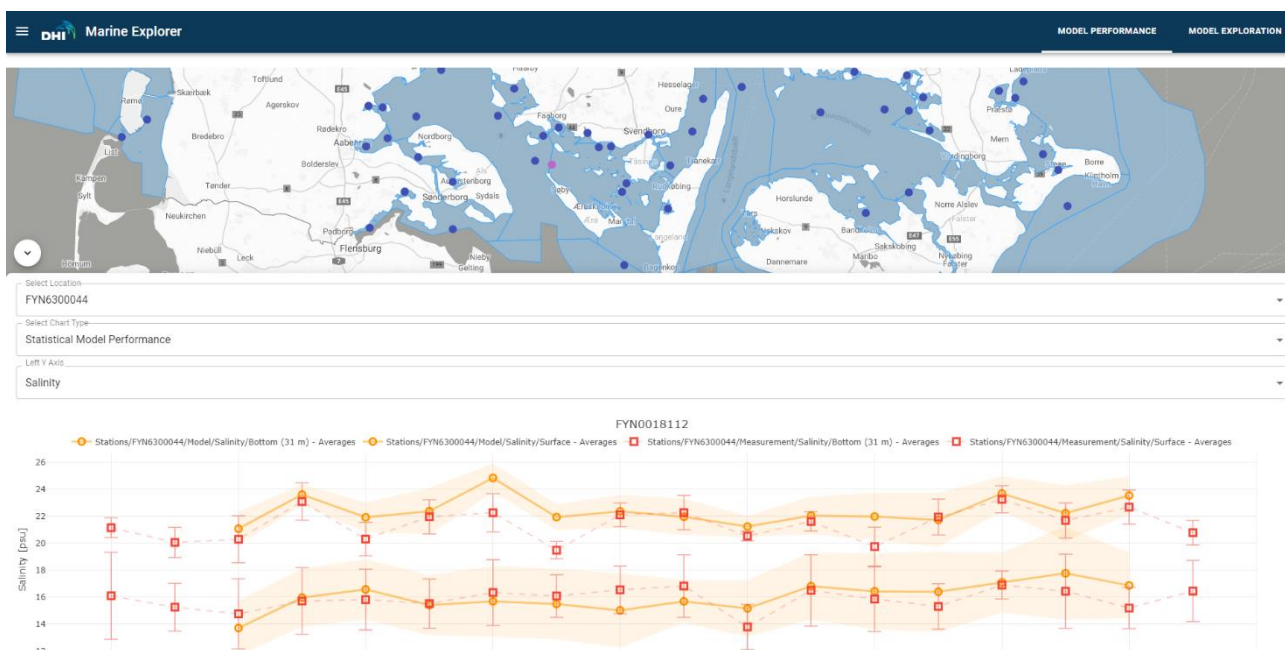
Under menu-punktet "Model Exploration" kan man undersøge de forskellige modeller, se 2D overfladeresultater fra modelresultaterne. Her vil man også kunne finde massebudgetter og discharge-linjer, samt statistiske beregninger som dem, der er præsenteret i afsnit 2.1.2. I Figur 5-2 vises modelresultater af salinitet i Limfjorden.



Figur 5-2 Model Exploration: Plot af den modellerede fladeudbredelse af salinitet t i Limfjorden.

På nuværende tidspunkt er dele af de biogeokemiske modeldata også inkluderet i web-værktøjet, men der er stadigvæk biokemiske data fra et sideløbende projekt, som fortsat er under udarbejdning. Disse data vil blive indarbejdet efterhånden, som de er tilgængelige, så web-værktøjet også kan bruges til at vise resultaterne fra de biogeokemiske modeller.

I Figur 5-2 er vist en ny måde at præsentere data på i WEB-værktøjet. Her er vist et eksempel for salinitet på en station i Det Sydfynske Øhav, hvor der er udregnet et årsgennemsnit for overflade- og bundmålinger og modelresultater, og disse gennemsnit er præsenteret plus/minus en standardafvigelse.



Figur 5-3

Årlige gennemsnit af salinitet i overfladevandet og i bundvandet i Det Sydfynske Øhav. Orange cirkler udgør gennemsnit af modelresultater, mens røde firkanter udgør gennemsnit af målinger (uden hensyntagen til antallet af målinger). Foruden gennemsnit er inkluderet standardafvigelser for både målinger og modelresultater.

6 Referenceliste

Josefson AB & Hansen JLS (2004) Species richness of benthic macrofauna in Danish estuaries and coastal areas. *Global Ecol. and Biogeogr.*, 13 (3): 273-28.

Rollan AP, Mariani P, Erichsen AC, Hansen FT and Hansen JLS (2018) Modeling dispersal and spatial connectivity of macro-invertebrates in Danish waters: an ABM approach. *Regional studies in Marine Science* 20: 0-14

Deleersnijder É, Campin JM, Delhez EJM (2001). The concept of age in marine modelling I. Theory and preliminary model results. *J. Mar. Syst.* 28:229-267

DHI (2014) DHI 3 Algae and Sediment Model. ECO Lab Template. Scientific Description. DHI Water Environment Health, Hørsholm, Denmark, 134 pp.

DHI (2019a) Development of Mechanistic Models. Mechanistic Model for the Inner Danish Waters. Hydrodynamic model documentation. DHI report (project no. 11822245)

DHI (2019b) Development of Mechanistic Models. Mechanistic Model for the North Sea. Hydrodynamic model documentation. DHI report (project no. 11822245)

DHI (2019c). Development of Mechanistic Models. Assessment of Model Performance. DHI technical report (project no. 11822245)

DHI (2020a) Development of Mechanistic Models. Mechanistic Model for the North Sea. Biogeochemical model documentation. DHI report (project no. 11822245) (in prep.)

DHI (2020b) Development of Mechanistic Models. Mechanistic Model for the Inner Danish Waters. Biogeochemical model documentation. DHI report (project no. 11822245) (in prep.)

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

Erichsen AC, Closter R, Hansen JW, Carstensen J, Timmermann K, Christensen JH og Tornbjerg H (2018b). Modelanalyser og hydrografisk rapportering, DHI-rapport (sagsnr.: 11823492).

Erichsen, AC, Kronborg, M, Hansen, JW, Carstensen, J & Timmermann, K. (2018a). Koncept til årlig afvikling af marine modeller til understøttelse af den marine NOVANA-overvågning. DHI Rapport (sagsnr.: 11819538-7).

Hansen J.W. & Høgslund S. (red.) 2019. Marine områder 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 156 s. - Videnskabelig rapport fra DCE nr. 355 <http://dce2.au.dk/pub/SR355.pdf>

Hinrichsen HH, Lehmann A, Petereit C, Nissling A, Ustups D, Bergström U, Hüsey K (2016) Spawning areas of eastern Baltic cod revisited: Using hydrodynamic modelling to reveal spawning habitat suitability, egg survival probability, and connectivity patterns. *Progress in Oceanography* 143: 13-25.

Bendtsen J & Hansen JLS (2013a) A model of life cycle, connectivity and population stability of benthic macro-invertebrates in the North Sea-Baltic Sea transition zone. *Ecological modelling* 267: 54-65

Bendtsen J & Hansen JLS (2013b) Effects of global warming on hypoxia in the Baltic Sea – North Sea transition zone. *Ecological modelling* 264: 17-26

Bendtsen J, Gustafson K, Söderkvist J and Hansen JLS (2009) Ventilation of bottom water in the North Sea – Baltic Sea transition zone *Journal of Marine systems* 75 (1-2)138-149

Hansen JLS & Bendtsen J (2014) Seasonal bottom water respiration in the North Sea – Baltic Sea transition zone: rates, temperature sensitivity and sources of organic material. *Marine Ecology Progress series* 499: 19-34

Jonasson L, Hansen JLS, Wan Z, She J (2012) The impact of physical processes on oxygen variation in the North Sea- Baltic sea transition zone. *Ocean Science* 8: 37-48

Lehmann A, Hinrichen HH, Getzlaff K, Myrberg K (2014), Quantifying heterogeneity of hypoxia and anoxic areas in the Baltic Sea by a simplified coupled hydrodynamic-oxygen consumption model approach. *J. Mar. Syst.* 34: 20-28

Lennartz ST, Lehmann A, Herrford J, Malien F, Hansen HP, Biester H, Bange HW (2014) Long-term trends at the Boknis Eck time series station (Baltic Sea) 1957-2013: does climate change counteract the decline in eutrophication?

Skogen MD, Eilola K, Hansen JLS, Meier HEM, Molchanov MS, Ryabchenko VA (2014) eutrophication status of the North Sea, Skagerrak, Kattegat and the Baltic Sea in present and future climates: A model study. *Journal of Marine Systems* 132: 174-184

Bilag

A Sammendrag fra Årlig Modelafvikling 2017 / 2018

Dette afsnit opsummerer hovedkonklusionerne fra Årlig Modelafvikling 2018 i den udstrækning, de har været brugt til at formulere arbejdet med Årlig Modelafvikling 2019.

I 2017 igangsatte MST et projekt, der havde til formål at udvikle koncept og metode for inddragelse af mekanistiske modeller som supplement til den årlige havrapport og NOVANA-målinger. Efterfølgende blev Årlige Modelafviklinger 2018 søsat med følgende formål:

1. Afklaring af muligheder og udfordringer forbundet med fremtidig udnyttelse af de mekanistiske modeller i havrapportering.
2. Definere mål for modelleringskvaliteten (hovedsageligt i forbindelse med de hydrodynamiske modeller).
3. Udvikle metoder til at sammenkoble modelresultater og målinger til brug for tilstandsvurderinger.
4. Fortsætte udviklingen af et web-værktøj, der har til formål løbende at formidle modelresultater til MST.

Ad 1: Mulighederne for at inddrage HD-modellering i havrapporten består hovedsageligt i at undersøge årlige vand- og saltafstrømninger gennem de indre danske farvande og deres indflydelse på det biogeokemiske miljø. Disse modelresultater kan bidrage til forståelsen af årsagssrelationer til f.eks. iltsvind.

Ad 2: Tre statistiske mål blev identificeret: Percent Bias, Spearman Rank, og Modelling Efficiency Factor. Disse tre mål kombineres til et godhedsindeks. For en detaljeret gennemgang, se venligst Erichsen et al. 2018b.

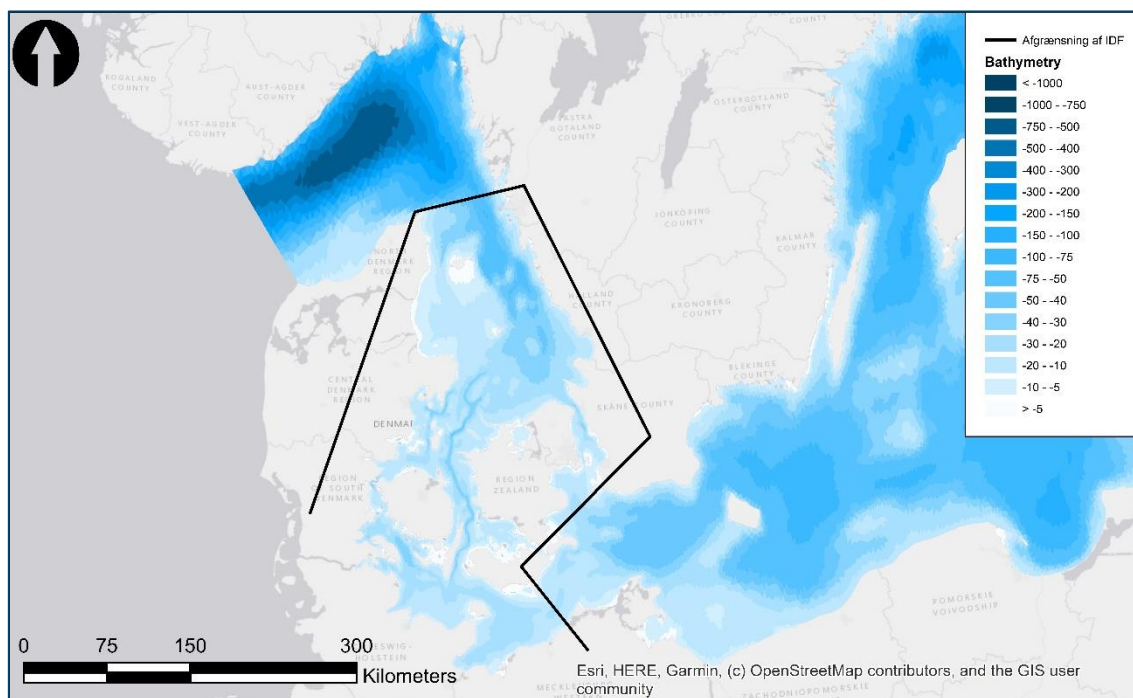
Ad 3: En metode til anvendelse af modelresultater til ekstrapolering af måledata i tid blev afprøvet, og det blev konkluderet, at dette ikke bidrog til kvaliteten af måledataene. Det blev ligeledes foreslået, at modellerne kunne anvendes til at ekstrapolere målingerne i sted, og derved dække de vandområder, der på nuværende tidspunkt falder udenfor NOVANA målekampagnerne.

Ad 4: Formålet med web-værktøjet er at give MST nem adgang til modelresultater og mulighed for løbende at vurdere kvaliteten af modellerne. Web-værktøjet fungerer godt og skal udvides til at indeholde flere modelresultater, inklusive EU-resultater og statistiske undersøgelser.

B Hydrografisk prøvekapitel

Dette er et prøvekapitel udarbejdet af Jørgen L. S. Hansen og Christian Mohn i 2019 på baggrund af de modelresultater, der er præsenteret i afsnit 2.1.2 samt Erichsen et al. 2018b. Siden er i 2020 udarbejdet et egentlig hydrografikapitel til havrapporten Marine områder 2019 (Hansen & Høgslund 2021).

Hydrografien beskriver den rumlige fordeling af forskellige vandmasser, deres fysiske og kemiske karakteristika, og hvordan strømningsmønstret flytter og blander dem. Hydrografien er afgørende for, hvordan livet er fordelt i havet, for fødekædernes struktur og deres funktion. Dermed har hydrografien også en stor betydning for de forskellige havområders miljøfølsomhed. Økosystemerne i de frie vandmasser bliver hele tiden flyttet af havstrømmene. Det er kun de organismer, der er store og hurtige nok til at kunne bevæge sig mod strømmen, der selv aktivt kan opsoge et bestemt område eller levested. Resten af organismerne tilhører planktonet, og de driver passivt rundt med strømmen. Det betyder, at når man studerer et havområde, så behøver de forhold man observerer i området, ikke nødvendigvis at være styret af lokale forhold, men kan derimod være et resultat af processer, der forgår et helt andet sted end der, hvor vandet kommer fra. F.eks. forekommer der med års mellemrum meget generende masseforekomster af blågrønalger langs de danske kyster. Men i de fleste tilfælde skyldes disse forekomster ikke opblomstringer af blågrønalger i de danske farvande. Fænomenet er startet et helt andet sted, nemlig i den centrale Østersø, hvor blågrønalgerne hyppigt forekommer i opblomstringer. Hvis der under en opblomstring sker en kraftig lagdeling af vandsøjlen, så kan det medføre, at algerne stiger op og samles i overfladen. Herefter kan de blive ført med overfladestrømmen ind i de danske farvande i perioder med østenvind.

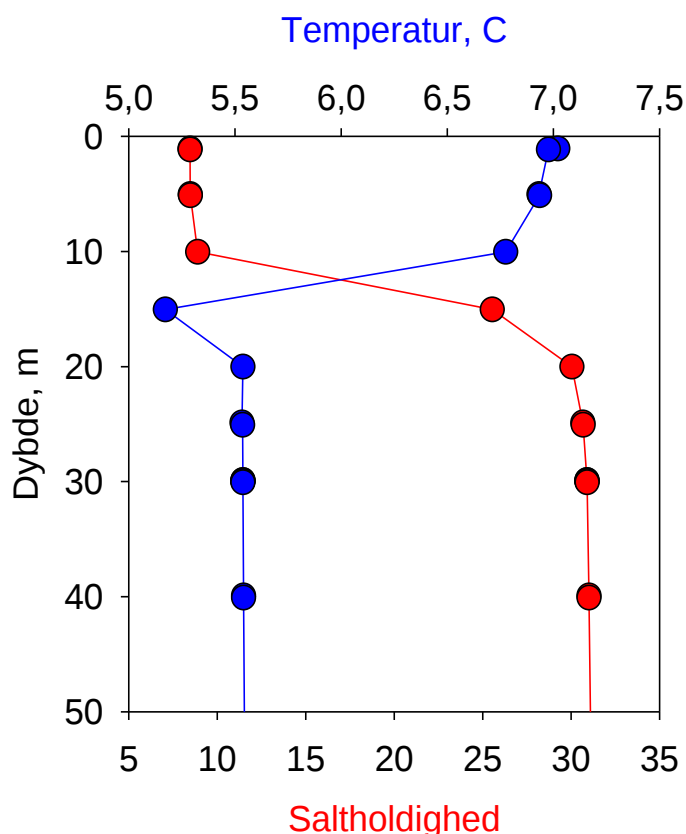


Figur B- 1 Dybdekorrekturer i de indre danske farvande. Den sorte streg indikerer området af de indre danske farvande.

Vandets opholdstid, der beskriver, hvor hurtigt vandet udskiftes i et område, er et mål, der giver et fingerpeg om, i hvor høj grad processerne i planktonet er styret af henholdsvis lokale og regionale forhold. Hvis vandet har en lang opholdstid i et område (f.eks. en fjord eller et vandområde), så kan man forvente, at f.eks. lokal tilførsel af næringsstoffer har stor indflydelse på mængden og sammensætningen af planteplankton i området. Hvis derimod opholdstiden er kort, vil næringsstofferne blive fordelt over et større område, før planteplanktonet når at optage

og omsætte dem. Opholdstiden har også betydning for sammensætningen af planktonsamfundet. En kort opholdstid vil medføre, at planktonet hurtigt bliver udskiftet og blandet med planktonsamfund fra omkringliggende områder. Det bidrager til en høj diversitet i planktonet. Størstedelen af de bunddyr, der forekommer i de danske farvande, har larvestadier, som er planktoniske i en periode, det såkaldte *meroplankton*. Larverne opholder sig et stykke tid i de frie vandmasser og fragtes rundt med havstrømmene, før de bundfælder sig. Det betyder, at strømningsmønsteret og vandudskiftningen i et område bestemmer, hvor langt larverne spredes og hvor stor en udveksling, der sker mellem larveplanktonnet fra forskellige områder. Det kan i sidste ende få betydning for, hvor høj biodiversiteten er på havbunden og for, hvordan de forskellige bundfaunasamfund er fordelt over et større havområde. Hvis der er stor vandudveksling mellem to områder, er planktonsamfundene (alle former for plankton) oftest stærkt forbundne (høj *konnektivitet*) og ligner hinanden i deres sammensætning. Det gælder især i kystnære områder, hvor høj konnektivitet alt andet lige forventes at være associeret med en høj biodiversitet (Josefson & Hansen 2004). Ved at anvende 3D-hydrografiske modeller, kan man bestemme vandets opholdstid og udveksling med andre områder, og ved at anvende sporstoffer og følge dem i modellen kan man bestemme konnektiviteten mellem forskellige områder, dvs. i hvor høj grad havstrømmene forbinder de biologiske samfund i forskellige områder (Bendtsen og Hansen 2013a, Rollan et al. 2018, Hinrichsen et al. 2016).

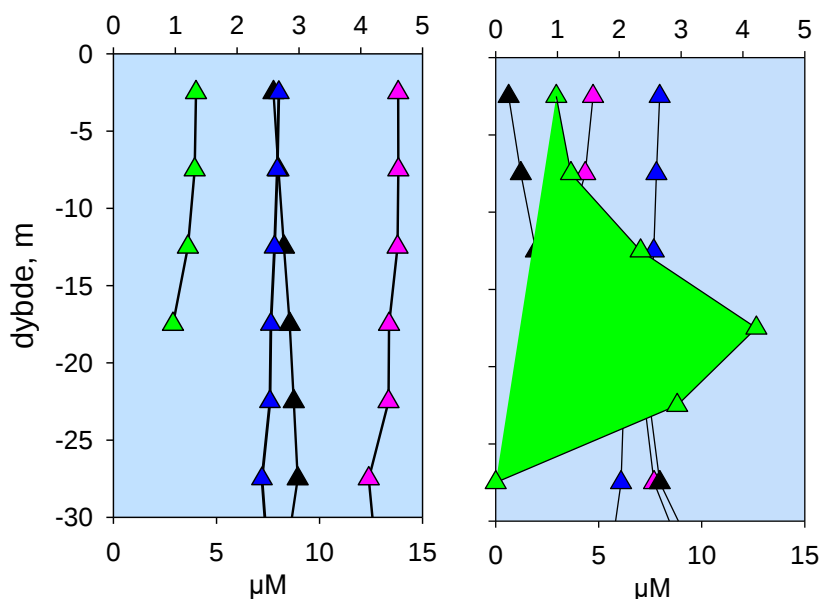
Lagdeling af vandsøjlen, hvor to (eller flere) vandmasser er adskilt ved et springlag (*pycnoklin*), er et andet hydrografisk forhold, som har afgørende indflydelse på fordelingen af planktonet, og for hvordan havmiljøet generelt udvikler sig. Lagdelingen opstår som følge af forskelle i temperatur og/eller saltholdighed i vandsøjlen (Figur B- 2).



Figur B- 2 Profil af temperatur og saltholdighed gennem vandsøjlen (CTD-profil) i Øresund 21. april 2008. Springlaget (pycnoklinen) ligger i 12 m dybde. Her ændres saltholdigheden 20 promille og temperaturen 1,5 grader over et dybdespænd på få meter.

En temperaturlagdeling (ved en *termoklin*) er ofte sæsonbetinget og opstår, når overfladevandet opvarmes i sommerhalvåret og derved får en lavere densitet end bundvandet. Et saltspringlag (*haloklin*) opstår i blandingszonen mellem to vandmasser med forskellig saltholdighed. Her vil

det saltere vand med højere densitet skubbe sig ind under det ferskere vand. Når der er opstået lagdeling, vil blandingen mellem overflade- og bundvand være begrænset, og da det er forskellige biologiske processer, der foregår i de to vandlag, vil der hurtigt opstå forskelle i vandkemi. Planteproduktionen, som fjerner næringsstoffer og producerer organisk materiale og ilt, foregår alt overvejende i det belyste overfladelag. Noget af det organiske materiale synker ned i bundlaget og stimulerer det respiratoriske iltforbrug, hvorved der også frigøres næringsstoffer. Det betyder, at når der opstår lagdeling af vandsøjlen i sommerhalvåret, så vil der også hurtigt opstå en lagdeling i vandkemi (adskilt af en *kemoklin*) med næringsfattigt og veliltet vand i overfladelaget og næringsrigt vand under springlaget, hvor der tillige kan opstå iltmangel. Etableringen af kemoklinen starter som regel i forbindelse med forårsopblomstringen, således som det fremgår af eksemplet i Figur B- 3. Figuren viser etableringen af de vandkemiske gradienter i forbindelse med forårsopblomstringen i de indre danske farvande i 2008.



Figur B- 3 Profiler af næringsstoffer, ilt og klorofyl før (februar, venstre) og efter (april, højre) forårsopblomstringen i Kattegat og Bælthavet 2008 (udtrykt som gennemsnit for 32 stationer). Grønne symboler = klorofylkoncentrationen i $\mu\text{g/l}$ (øverste akse). Blå symboler = iltkoncentrationen (ml/l , nederste akse), sorte og pink symboler = henholdsvis nitrat- og silikatkoncentrationen ($\mu\text{M/l}$). Klorofylmaksimum omkring springlaget i ca. 17 meters dybde skyldes ikke vækst men det forhold, at forårsopblomstringen er slut, og at algebiomassen er ved at synke ud af vandsøjlen.

I februar før forårsopblomstringen er klorofyl (som er en proxy for algebiomasse), ilt og næringsstofferne silikat og nitrat som regel jævnt fordelt ned gennem vandsøjlen. Efter forårsopblomstringen er det begrænsende næringsstof (nitrat) brugt helt op i overfladen, og andre næringsstoffer er mængdemæssigt reduceret i et forhold, der svarer til indbygningen af grundstoffer i det organiske materiale (*Redfield-forholdet*). Under forårsopblomstringen produceres en stor mængde planteplankton, når næringsstofferne er opbrugt. I april 2008 var det synkende planteplankton nået til springlaget (Figur B- 3), og iltindholdet var reduceret som respons på omsætningen af den store mængde sedimenterende organisk materiale. Efter at forårsopblomstringen er sunket ud af vandsøjlen, indtræder ofte en periode, hvor overfladevandet er meget klart og næringsfattigt (*klarvandsfasen*). I denne periode trænger der lys nok ned til springlaget til, at der som regel opstår en *springlagsopblomstring* (i hydrografisk terminologi ofte kaldet "sub-surface chlorophyll maksimum"). Det er et tyndt lag af koncentreret planteplankton, som blomstrer op lige midt i kemoklinen, hvor der både er næringsstoffer og tilstrækkeligt lys til, at algerne kan vokse. Denne springlagsopblomstring kan vare ved det meste af sommeren så længe, der er lys og næringsstoffer nok omkring kemoklinen.

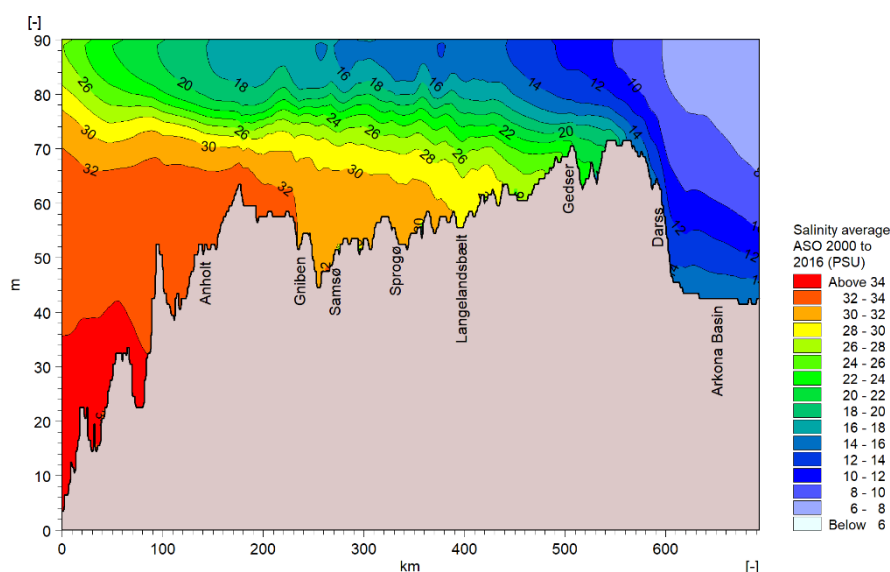
Jo kraftigere lagdelingen er, og jo længere den varer ved, desto større vil forskellene i vandkemen være over kemoklinen. En salt-lagdeling er som regel stærkere end en temperatur-lagdeling, og som tommelfingerregel vil en temperaturforskel på 5 °C svare til en saltforskel på ca. en promille. Blandingen (nedbrydningen af lagdelingen) på tværs af springlaget er, hvis man ser bort fra produktionen i selve kemoklinen, en begrænsende faktor for planteplanktonets vækst grundet næringsstoffbegrænsning. Blandingen af en lagdelt vandsøjle er afgørende for ilttilførslen til bundvandet. Det kræver tilførsel af energi (f.eks. en vindhændelse) at blande en lagdelt vandsøjle, og jo dybere lagdelingen ligger, desto større input af vindenergi kræves der, fordi den turbulente blandingsenergi gradvis udslukkes ned igennem vandsøjlen. Derfor kan der være meget store forskelle fra sted til sted og fra år til år i, hvor effektivt vandsøjlen opblandes. I de åbne indre danske farvande er det meget sjældent og kun i forbindelse med meget kraftige storme, at der sker en fuldstændig nedbrydning af springlaget. Det betyder, at kemoklinen ofte opretholdes gennem det meste af vækstsæsonen, fra forårsopblomstringen slutter, og til lyset bliver begrænsende for algeproduktionen i det sene efterår.

B.1 Metoder og datagrundlag

Beskrivelsen af de hydrografiske forhold i de danske farvande i perioden 2000-2018 er baseret på modellerede data. De mere generelle forhold omkring ventilation, ilt- og næringsstoffdynamik er beskrevet ud fra andre studier i litteraturen, og endeligt er der inddraget udvalgte fysiske og kemiske måledata til at illustrere koblinger mellem hydrografi og vandsøjles biogeokemi. Dermed adskiller dette kapitel sig fra den øvrige rapportering af NOVANA-programmet, som primært er baseret på målte data. Modelberegningerne er foretaget af DHI for perioden 2000-2018 med den 3D hydrografiske IDF-model. Der er foretaget en validering af modelresultaterne mod målte hydrografiske data, og for udvalgte vandområder er der desuden foretaget en modellering af vandets klorofylindhold ved at koble økologisk modellering til den hydrografiske model. Valideringen af modellen og den økologiske modellering af klorofyl er ikke behandlet i dette kapitel, idet der henvises til beskrivelsen af modellen i (DHI 2020a) og (DHI 2020b).

B.2 Vandudveksling mellem Østersøen og Nordsøen

De åbne dele af de indre danske farvande, dvs. Kattegat, Bælthavet og Øresund, udgør den overgangszone, hvor det salte vand fra Nordsøen og Skagerrak blandes med det brakke vand fra Østersøen. En sådan overgangszone kaldes et *estuarie*. Da de to vandmasser har forskellig densitet, vil der opstå en strømning, hvor det salte vand med høj densitet skubber sig ind under det brakke vand således, at strømningsmønstret, set over længere tid, vil være en modsatrettet strømning i overflade- og bundlaget samtidigt med, at der sker en gradvis blanding af de to vandmasser. Strømningsmønstret kaldes den *estuarine cirkulation* og drives af ferskvandsoverskuddet i Østersøen og den deraf følgende højere vandstand i Østersøen. I de indre danske farvande kommer det til udtryk som en lagdeling, der adskiller et udstrømmende overfladelag af Østersøvand fra et bundlag med indstrømmende Nordsøvand (Figur B- 4).



Figur B- 4 Gennemsnitlig saltholdig i 2016 langs et tværsnit gennem de indre danske farvande fra Skagerrak til Bornholm. Bemærk, at springlaget forekommer mindre skarpt end i Figur B- 3. Det skyldes, at springlaget i årets løb flytter sig et par meter op og ned, og derfor fremstår saltgradienten mindre skarp, når der anvendes gennemsnitlige værdier.

B.3 Stoftransporter

De vandmasser, der strømmer gennem de indre danske farvande, transporterer næringsstoffer, ilt, organisk materiale og plankton ind og ud af området. Ud fra kendskab til koncentrationerne af næringsstoffer og mængden af vand, der strømmer ud og ind af området, kan man opstille et næringsstofbudget, som kan sammenlignes med de lokale tilførsler fra land, atmosfære og sediment. Sådanne budgetter siger kun noget om de gennemsnitlige forhold i hele det geografiske område, budgettet er opstillet for. Men sådanne budgetter kan være nyttige redskaber i analyser af langtidstrends i miljøforhold og deres bagvedliggende årsager.

Transporten af ilt med bundvandsstrømmen gennem de åbne dele af Kattegat og Bælthavet er afgørende for iltforholdene på havbunden. Transporttiden fra Skagerrak gennem Kattegat til Bælthavet er ca. 2-3 måneder om sommeren, som er den periode, hvor iltforbruget i bundvandet er størst (Bendtsen et al. 2009). Fordi der er tale om en bundvandsstrøm, er den atmosfæriske genluftning af vandet meget begrænset, og når vandet når frem til Bælthavet, er det kun ca. halvmættet med ilt. Hvis klimatiske forhold gør, at bundvandstransporten stagnerer, og transporttiden forlænges, og/eller hvis iltforbruget stiger, kan der udvikles iltsvind, Hansen & Bendtsen 2013b, Hansen & Bentsen 2014). Iltsvind, som fremmes af stagnerende bundvand, vil typisk starte i det sydlige Bælthav i bundvandet lige under springlaget. Her har bundvandet været undervejs og afskåret fra den atmosfæriske genluftning i længst tid. Samtidig betyder det forholdsvis tynde vandlag mellem havbunden og springlaget, at den samlede iltmængde, der er tilgængelig for havbundens respiration, er meget lille og hurtigt opbruges. Det sydlige Lillebælt er hydrografisk set endnu mere udsat for at udvikle iltsvind end det nordlige Lillebælt (sydlige Bælthav), fordi der både er et springlag og en meget ringe gennemstrømning i bundvandet. Det sydlige Lillebælt udgør derfor en form for "blindtarm" på udvekslingen af bundvand mellem Nordsøen og Østersøen, da udskiftningen af bundvand er meget ringe. I de mere lavvandede kystnære områder, hvor der ikke er noget saltspringlag, har vandtransporterne gennem de indre danske farvande noget mindre betydning for udvikling af iltsvind. I fjorde, bugter og vige har det lokale vejrlig og de vandkemiske forhold langt større betydning for, hvor meget vandsøjlen bliver iltet og dermed for risikoen for udvikling af iltsvind. Her kan en enkelt vindhændelse afslutte et iltsvind, fordi der ikke er noget stærkt springlag, der afskærmer bunden fra nedblanding af iltrigt overfladevand.

B.4 Transporter

I 2018 var nettovolumen af udstrømmende vand ud fra Østersøen ca. 510 km^3 ($5,1 \times 10^{11} \text{ m}^3$), og den samlede udstrømning fra Kattegat til Skagerrak var ca. 560 km^3 . Udstrømningen fra Kattegat til Skagerrak inkluderer de ca. 10 % ekstra ferskvandsafstrømning, der tilføres Kattegat, Bælthavet og Øresund fra danske og svenske afstrømningsområder. Begge afstrømningsmål ligger meget tæt på det gennemsnitlige niveau for perioden 2000 – 2017. I denne periode har udstrømningen fra Østersøen varieret mellem 180 km^3 (2003) og 750 km^3 (2012). Udstrømningen har gennem årene (2000 – 2017) haft en nogenlunde konstant fordeling med ca. 50 % gennem Storebælt, 40 % gennem Øresund og ca. 10 % gennem Lillebælt. Dog var andelen, der strømmede ud gennem Øresund, relativt stor i 2003, hvor der, samlet set, var en meget lille udstrømning fra Østersøen (Figur B- 5). Det vand, der strømmer ud fra Østersøen forbi Darss-tærsklen i Femern Bælt, har en gennemsnitlig saltholdighed på ca. 10 ‰. Derfor vil nettoudstrømningen af vand fra Østersøen medføre en transport af omkring 5×10^9 tons salt. Det samlede saltbudget for Østersøen viser imidlertid, at der stort set var balance i 2018. Dvs., at den saltmængde, der strømmede ud med de ca. 510 km^3 overfladevand, blev erstattet af en tilsvarende indstrømning af salt via bundvand med en væsentligt højere saltholdighed. Netto- og bruttoudstrømning fra Østersøen er ikke opgjort separat for overflade- og bundvand i de præsenterede modelscenarier.

En sammenligning af salttransporterne gennem Lillebælt, Storebælt og Øresund viser tydeligt, at den generelle vandtransport i overflade- og bundlag er modsatrettet. I Lillebælt er der i gennemsnit en årlig nordgående nettotransport af salt ud af Østersøen på i gennemsnit 850 megaton ($850 \times 10^9 \text{ kg}$ salt). I modsætning hertil kan nettotransporten gennem Storebælt og Øresund gå i begge retninger, og dermed kan enkelte år afvige betydeligt fra den gennemsnitlige indstrømning af salt på ca. 600 og 200 megaton gennem henholdsvis Storebælt og Øresund. Det skyldes, at indstrømningen af saltvand via bundvandet sker uregelmæssigt i forbindelse med stormhændelser. Ved sådanne enkeltstående hændelser kan der på få dage strømme en saltmængde ind i Østersøen, der svarer til flere gange den normale årlige indstrømning. F.eks. var indstrømningen af salt gennem Storebælt i 2003 ca. 10 gange højere (ca. 6.000 megaton) end gennemsnittet for perioden 2000-2017.



Figur B- 5 Modellerede årlige nettotransporter i perioden 2000 – 2018 af vand (venstre kolonne) og salt (højre kolonne) ud af Østersøen gennem Øresund, Storebælt og Lillebælt. Vandrette linjer angiver middelværdi og henholdsvis én og to standardafvigelse.

Der forekommer ikke større indstrømningshændelser gennem Lillebælt, fordi denne passage har et lille tværsnit, og i den nordlige del (det nordlige Lillebælt) er der ikke dybt nok til, at der kan strømme væsentlige mængder bundvand ind denne vej. Herudover er vandstuvningen ved stærk vestenvind, som er en af de faktorer, der skaber de store indstrømningshændelser, større i den østlige del af Kattegat. Det øger den relative betydning af Øresund i forbindelse med overstrømning af Drogdentærsklen, selvom tærsklen ligger højt sammenlignet med passagerne gennem Lillebælt og Femern Bælt. Det forhold, at der således er tre "overløb" fra Østersøen (Lillebælt, Storebælt og Øresund) men kun to "indløb" for bundvandet (Storebælt og Øresund), medfører, at bundvandet kan være stagnerende i lange perioder i det sydlige Lillebælt, fordi der ikke er noget væsentligt gennemløb af bundvandet. I Øresund skiftes bundvandet oftere, når der sker en overstrømning af Drogdentærsklen, og i Storebælt er bundvandet kun sjældent stagnerende. Udskiftning af bundvand gennem disse tre passager mellem Kattegat og Østersøen er således meget forskellig, og det kan forklare den generelle forskel, der er mellem de tre områdes følsomhed for at udvikle iltsvind.

Der er sæsonvariationer i vand- og saltudvekslingen i Østersøen og Nordsøen. Udstrømning er typisk størst om vinteren og foråret og følger dermed sæsonvariationen i afstrømningen fra land. I 2018 skete den største udstrømning i februar, maj, oktober og november. Sæsonvariationen i vandudvekslingen gennem de indre danske farvande via bundlag og overfladelag er især vigtig set i forhold til den produktive sæson, hvor der er store forskelle i vandkemien ned gennem vandsøjlen. Vandudvekslingen kan påvirke transporterne af næringsstoffer, organisk stof og ilt gennem de indre danske farvande. Der er dog ikke udført beregninger af transporten af disse

(ikke konservative) stoffer, og betydningen heraf for år til år variationerne i de åbne farvandes miljøforhold i perioden 2000-2018 indgår derfor ikke i denne rapportering.