

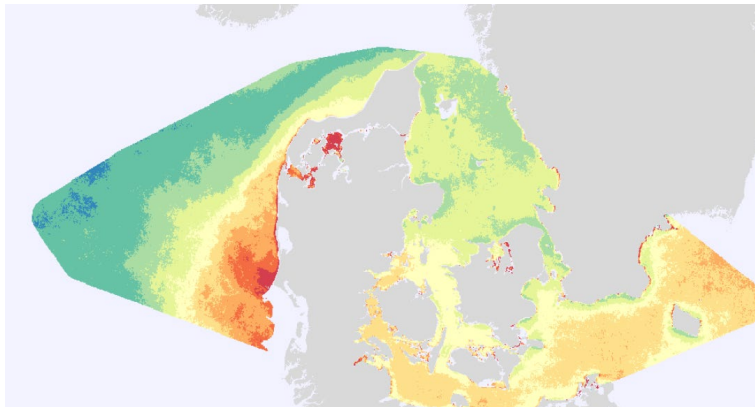
Integreret Marin Miljøovervågning (IMM) – Analysefase

IMM-Spor: Miljødata fra satellitter

Genbesøg af satellitbaseret klorofylovervågning

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 6. juni 2024 | 33



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Fagligt notat fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

Kategori: Forskningsnotat

Titel: Integreret Marin Miljøovervågning (IMM) – Analysefase
IMM-Spor: Miljødata fra satellitter
Genbesøg af satellitbaseret klorofyloovervågning

Forfatter(e): Andreas Holbach
Institution(er): Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

Faglig kommentering: Jesper Philip Aagaard Christensen
Kvalitetssikring, DCE: Anja Skjoldborg Hansen
Sproglig kvalitetssikring: Jesper Philip Aagaard Christensen

Rekvirent: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Holbach A., 2024. Integreret Marin Miljøovervågning (IMM) – Analysefase; IMM-Spor: Miljødata fra satellitter. Genbesøg af satellitbaseret klorofyloovervågning. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 16 s. – Fagligt notat nr. 2024|33

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Foto forside: A. Holbach

Sideantal: 16

Indhold

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduktion og baggrund | 4 |
| | Sammenhæng mellem satellitbaseret klorofyl og lyssvækkelse | 5 |
| | Yderlig udvikling og analyse | 5 |
| 2 | Metoder | 6 |
| 2.1 | WQSF-maskering og resampling | 6 |
| 2.2 | Daglig aggregering | 6 |
| 2.3 | Multivariat afvigerkontrol og maskering | 6 |
| 2.4 | Maskering for optisk lavvandede pixels | 7 |
| 3 | Resultater | 8 |
| 4 | Diskussion | 14 |
| 5 | Referencer | 16 |

1 Introduktion og baggrund

Delprojektet 'Miljødata fra satellitter' er et af flere spor i Miljøstyrelsens (MST) 4-årige projekt om 'Integreret Marin Miljøovervågning' (IMM), hvor egnetheden af nye teknologier og især deres sammenspil med henblik på et moderne marint overvågningssystem skal analyseres, testes, udvikles og i sidste ende operationaliseres.

I løbet af IMM projektets analysefase i sporet om 'Miljødata fra satellitter' er vi i samarbejde med DHI og MST stødt på afvigelser i nær-realtids processe-rede satellitbaserede klorofylldata, som lå systematisk udenfor det forventede område for usikkerhed. Vores første fortolkning af resultatet var en ændring i den rumlige sammenhæng mellem satellitbaseret pigmentabsorption og *in vivo* klorofylkoncentration. Denne sammenhæng har været beskrevet igennem en rumlig model baseret på NOVANA data fra 2018-2020 (se Holbach m.fl., 2022), og er så blevet anvendt på satellitbaserede nærrealtidsdata fra 2023. Derfor antog vi, at der var tale om en systematisk forskydning af data i forbindelse med en ændring i miljøforhold, som ville kræve en genkalibrering af sammenhængen med nyere overvågningsdata.

Derfor udvidede vi, efter aftale med MST, vores kontrakt for IMM-analysefasen med et tillæg, for at genkalibrere metoden til satellitbaserede klorofylestimater. Det viste sig, at hovedparten af problemet lå i en databehandlingsrelateret sammenhæng. Igennem de seneste år har vi løbende arbejdet på optimeringen af satellitbaseret databehandling og analyse. En del af dette arbejde gik ud på at optimere processeringen af data, og derfor er vi gået over fra en oprindelig Python-baseret kode, hvor vi gjorde brug af funktioner i 'satpy' (v. 0.37.0) Python library, til en selvskrevet R-baseret kode for at anvende water quality and science flags (wqsf) på de enkelte satellitbilleder. Begge koder skulle i princippet levere ens resultater, men det gjorde de ikke. Vi fandt ud af, at en funktion i det oprindelige Python-script, som skulle gemme satellitbaserede klorofyl estimater som GeoTIFF billeder, havde en default indstilling der anvendte en genskalering (Enhancement) af de numeriske værdier i filen. Denne indstilling sørgede for at værdierne blev genskaleret, så 99% af data kom til at ligge indenfor intervallet mellem 0-1. Da værdierne i Sentinel-3 OLCI Level-2 produkter er gemt som log-skalerede værdier, svarer det til et range for klorofylkoncentrationer mellem 1-10 mg/m³. For NOVANA data om overfladeklorofyl fra 2000-2020 ville dette interval dække ca. 72% af værdierne. Derfor var det ikke umiddelbart iøjnefaldende, at databehandlingsrutinen indeholdt en fejl, og det blev først opdaget da vi sammenlignede data genereret med de to forskellige koder.

Det er under ingen omstændigheder hensigtsmæssig at genskalere faktiske måleværdier på den måde. Derfor var vi nødt til at gøre mere end 'bare' at genkalibrere en eksisterende metode, men at genbesøge og gentage hele databehandlingsrutinen med den nye kode for alle år for at være 100% sikker på en fejlfri databehandling. Det inkluderede:

- Download af alle Sentinel-3 OLCI Level-2 produkter, som overlapper med den Danske EEZ.
- Maskering af alle Sentinel-3 OLCI Level-2 produkter med relevante wqsf.
- Resampling af alle maskerede Sentinel-3 OLCI Level-2 produkter i en fast arbejdsgrid rundt om DK med 500x500 m opløsning.

- Daglig aggregering af de resamplede Sentinel-3 OLCI Level-2 produkter.

Sammenhæng mellem satellitbaseret klorofyl og lyssvækkelse

Case-2 Regional Coast Color (C2RCC) processoren, hvis output er en rutinemæssig del af de operationelle S3 OLCI Level-2 produkter, leverer estimater for 3 inherent optical properties (IOP) ved 443 nm i form af estimater for 3 optisk aktive komponenter i vandet:

| IOP | Komponent | Datasæt |
|----------------------------------|--------------------|-----------|
| Pigmentabsorption | Klorofyl | chl_nn.nc |
| Absorption af organisk materiale | organisk materiale | iop_nn.nc |
| Spredningskoefficient | TSM | tsm_nn.nc |

Disse tre komponenter er ansvarlige for vandsøjleens samlede lyssvækkelse (K_d^{PAR}). I IMM-sporet 'Miljødata fra satellitter' som en del af projektets analysefase har vi udviklet en spektral modeltilgang for at estimere K_d^{PAR} og vist at satellitbaserede K_d^{PAR} estimater er i god overensstemmelse med estimater baseret på *in situ* PAR-lysprofiler (Holbach m.fl., 2023). Den samlede lyssvækkelse kan bruges til at beregne vandsøjleens optiske dybde ($K_d^{PAR} * \text{batymetri}$), som er afgørende for havbundens mulige påvirkning af reflektanssignalet. Denne må til gengæld kun være minimal for at C2RCC algoritmen korrekt kan invertere reflektansspektrene i estimater for pigmentabsorption.

I vores tidligere IMM relaterede projekter (Holbach m.fl., 2022) har vi til gengæld arbejdet med en meget forenklet måde at estimere den optiske dybde på og brugte et årligt gennemsnitsestimat for at beregne et statisk maskeringsdatalag for optisk lavvandede pixels. Derfor afprøvede vi her en lignende tilgang med den nyudviklede, spektrale modeltilgang (Holbach m.fl., 2023) for at beregne et statisk maskeringsdatalag. Men den optiske dybde er egentlig en dynamisk størrelse og ændres i sammenspil med den tidslige dynamik af optisk aktive komponenter i vandet. Fremadrettet kan det derfor være en mulighed dynamisk at estimere den optiske dybde og tilsvarende dynamisk at maskere optisk lavvandede pixels fra hver eneste Sentinel-3 OLCI Level-2 produkt.

Yderlig udvikling og analyse

Siden analysen i Holbach m.fl. (2023) har vi implementeret databehandling for alle tre IOP'er i vores rutiner. Derfor er der nu muligt at lave et yderligt kvalitetstjek på S3-OLCI Level-2 data, baserende på en multivariat afvigeranalyse.

Derudover giver den i mellemtiden tilgængelige tidsserie af S3-OLCI Level-2 produkter nu mulighed for at beregne og sammenligne kalibreringer mellem adskilte tidsperioder.

2 Metoder

Ved hjælp af EUMETSATs Data Access Client (eumdac) er alle S3-OLCI Level-2 produkter, som overlappede med firkantet mellem 3°-17° Øst og 54°-59° Nord, blevet downloadet. Produkter kom fra to forskellige dataprocceseringsrutiner og kvalitetsniveauer:

- Reprocessed: 2016-04-26 til 2021-04-28
- Operational: 2021-04-29 til 2023-12-31

Data fra et tredje kvalitetsniveau med nærrealtidsdata har vi ikke brugt i denne sammenhæng, men det vil fremover blive aktuel ifb. med en evt. operationalisering af IMM-systemet. I alt er der blevet downloadet og behandlet 7966 S3 OLCI Level-2 produkter. Databehandlingsrutinen omfatter de følgende trin:

2.1 WQSF-maskering og resampling

For hver S3 OLCI Level-2 produkt er de tre IOP datasæt (chl_nn.nc, iop_nn.nc, tsm_nn.nc), wqsf (wqsf.nc) og tilhørende koordinater (geo_coordinates.nc) blevet indlæst. Koordinater er blevet projekteret på det koordinatreferencesystem, som vi arbejder med (epsg:3044, ETRS89/UTM zone 32N (N-E)).

Alle punkter, der ikke overlappede med vores 500x500 m arbejdsgrid for den Danske EEZ, blev sorteret fra. For alle resterende punkter anvendte vi de følgende wqsf bitflags for at sortere fejlbehæftede og sandsynligvis problematiske pixels fra: 'INVALID', 'LAND', 'CLOUD', 'SNOW_ICE', 'COSMETIC', 'SUSPECT', 'HISOLZEN', 'SATURATED', 'HIGHGLINT', 'CLOUD_AMBIGUOUS', 'CLOUD_MARGIN', 'OCNN_FAIL'.

Alle resterende pixels er så blevet resamplet på arbejdsgriddet ved at beregne gennemsnit af alle datapunkter, der overlapper med de enkelte 500x500 m gridceller. Alle resamplede produkter for de tre IOP'er er blevet gemt som GeoTIFF datafiler

2.2 Daglig aggregering

Baseret på alle S3 OLCI Level-2 produkter fra en dag er der blevet beregnet gennemsnitsværdier for hver IOP og Pixel. Der er typisk mellem 2-4 S3 OLCI Level-2 produkter per dag, der overlapper med studieområdet. Daglig aggregerede GeoTIFF datafiler er blevet gemt.

2.3 Multivariat afvigerkontrol og maskering

Da vi igennem projektet 'Miljødata fra Satellitter' har udviklet en databehandlingsrutine for alle tre IOP-produkter, kunne vi i samme omgang implementere en multivariat afvigerkontrol. Dette trin går ud på at identificere og frasortere datapunkter, hvor der er en meget usædvanlig/urealistisk kombination af de tre enkelte IOP'er, som tilsyneladende skyldes problemer med satellitdata og/eller algoritmen. Vi anvendte en metode baseret på *robust Mahalanobis distance* (ISO, 2010). Baseret på alle match-up datapunkter mellem NOVANA overfladeklorofyl (gennemsnitsdybde af prøvetagning ≤ 1 m) og

dagligt aggregerede S3-OLCI Level-2 data (2016-2023) har vi estimeret gennemsnit og covariance af 'gode' data mellem chl_nn, iop_nn, og tsm_nn, ved hjælp af *minimum covariance determinant* (MCD) metoden (ISO, 2010). For MCD metoden valgte vi en maksimal andel af afvigerdata på 15%. De på den baggrund beregnede værdier for *robust Mahalanobis distance* er blevet sammenlignet med en tærskelværdi (97,5-percentilen af en chi-squared fordeling med 3 frihedsgrader) og værdier der var større end tærsklen klassificeret som multivariat afviger.

For hver dag er alle aggregerede IOP-værdier blevet indlæst og maskeret for multivariate afviger. De resterende data er blevet gemt som GeoTIFF datafiler.

2.4 Maskering for optisk lavvandede pixels

Optisk lavvandede pixels kan være både faktisk lavvandede pixels og dybere steder med meget lav lyssvækkelse og dermed en lav optisk dybde. Derfor har vi brugt begge kriterier, batymetri og optisk dybde, for at definere en maske for optisk lavvandede pixels.

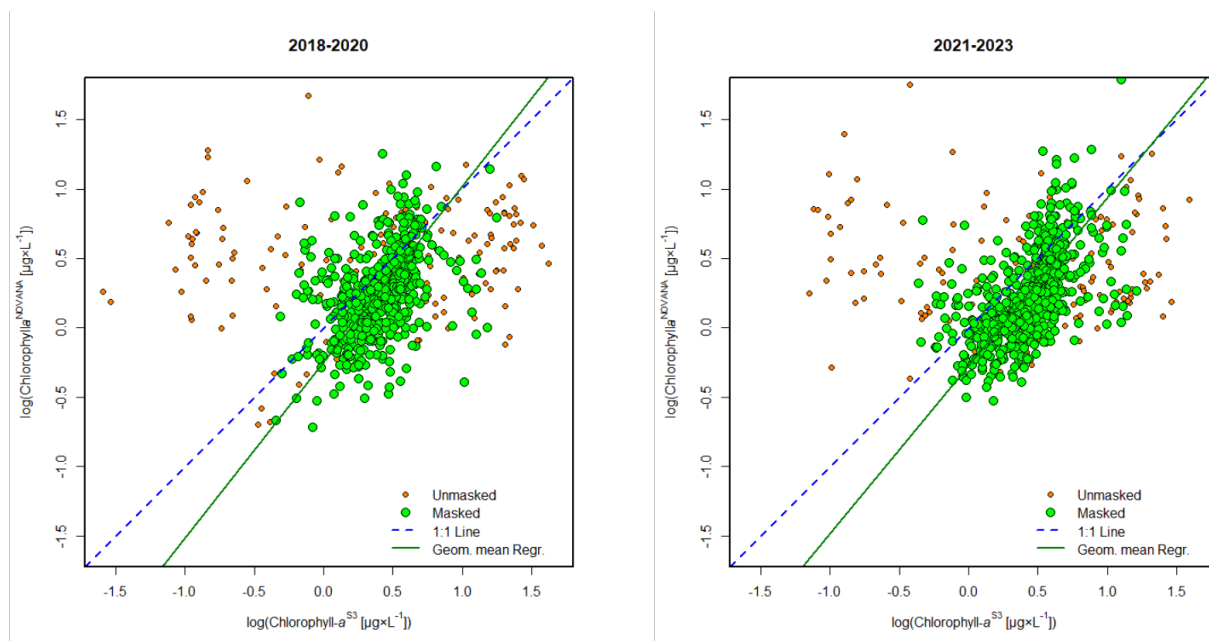
På baggrund af alle ovennævnte aggregerede og maskerede data har vi beregnet 25-percentilen for hver IOP og hver pixel hen over hele dataperioden fra 2016-2023. De resulterende datalag brugte vi så til at estimere 25-percentilen for K_d^{PAR} for hver pixel med den spektrale modeltilgang udviklet i IMM-sporet 'Miljødata fra satellitter' som en del af projektets analysefase (Holbach m.fl., 2023). 25-percentilen for den optiske dybde er så blevet beregnet igennem $K_d^{\text{PAR}} * \text{batymetri}$.

For alle match-up datapunkter mellem satellit- og NOVANA-baseret overfladechlorofyl sammenlignede vi den absolutte afvigelse mellem disse datasæt med intervalklasser for både batymetri og optisk dybde. Spørgsmålet var så, om vi kunne aflede meningsfyldte tærskelværdier for et tilsvarende maskeringsdatalag.

3 Resultater

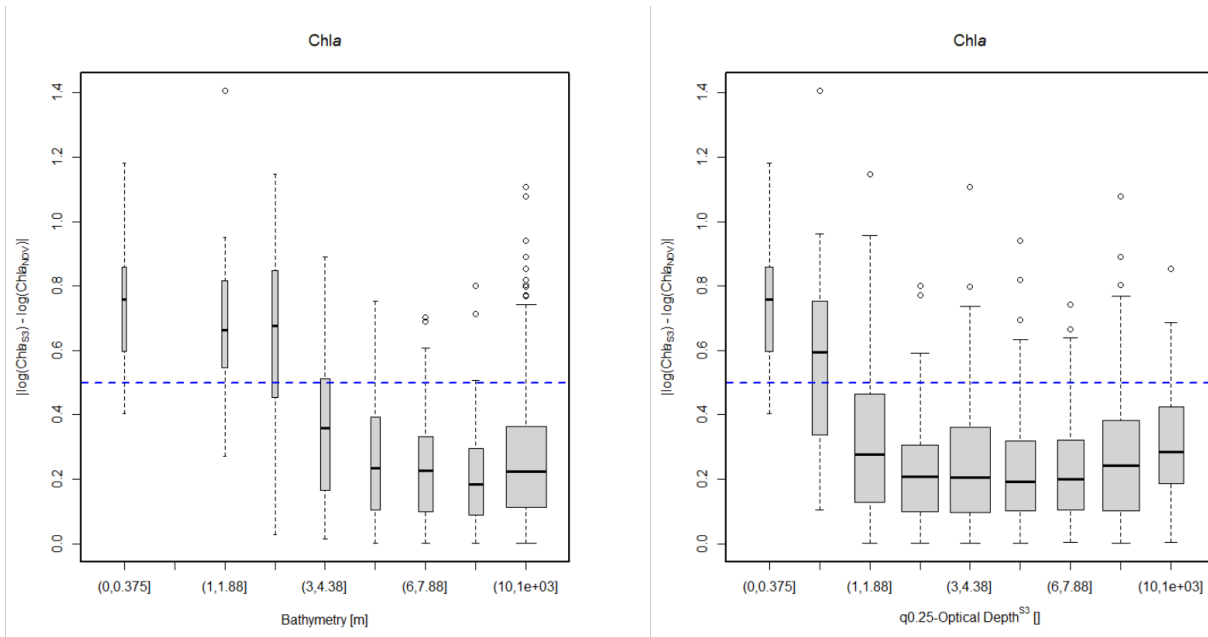
Ud fra de 7966 S3-OLCI Level-2 produkter er der i alt blevet beregnet GeoTIFF datafiler for 5666 dage efter resampling og wqsf maskering. De resterende produkter indeholder åbenbart ingen valide datapunkter indenfor studieområdet og arbejdsgriddet. Daglig aggregering leverede så datalag for i alt 2429 dage.

Match-up analyse mellem NOVANA overfladechlorofyl og dagligt aggregerede S3-OLCI Level-2 data (2016-2023) leverede i alt 1665 punkter med data-værdier fra samme dag og samme 500x500 m pixel. I perioden 2018-2020 var der i alt 675 match-up punkter, hvoraf 164 (ca. 24%) er blevet identificeret som multivariat afviger (Figur 3.1). I perioden 2021-2023 var der i alt 720 match-up punkter, hvoraf 138 (ca. 19%) er blevet identificeret som multivariat afviger (Figur 3.1). Der kan ses at multivariat afvigerkontrol mellem de tre IOPer er en effektiv måde at fjerne mange af de værste uoverensstemmelser mellem satellit- og NOVANA-baseret overfladechlorofyl. De resterende punktskyer ligger ellers bredt fordelt langs 1:1 linjen.



Figur 3.1. Daglige match-up punkter mellem satellit- og NOVANA-baseret overfladechlorofyl i perioden 2018-2020 (t.v.) og 2021-2023 (t.h.). Orange punkter viser multivariate afviger, der er blevet sorteret fra.

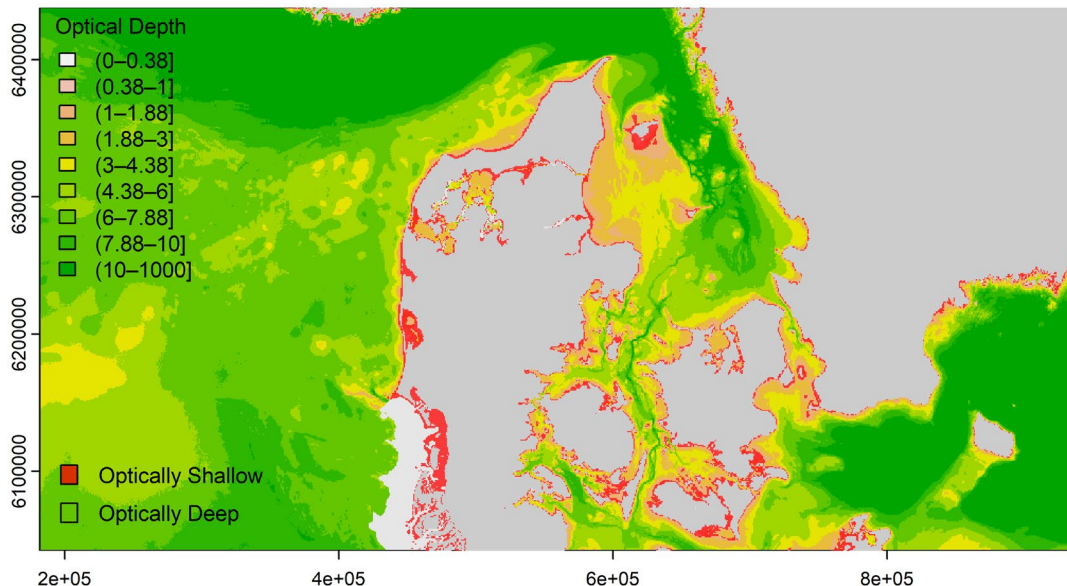
Efter multivariat afvigerkontrol har vi sammenstillet afvigelsen mellem satellit- og NOVANA baseret overfladechlorofyl (på log-skala) og forskellige vanddybde- og optisk dybdeintervaller (Figur 3.2). Der kan tydelig ses signifikante knæk af afvigelsen hen til større vanddybder (>3 m) og større optisk dybde (>1).



Figur 3.2. Afvigelse mellem S3- og NOVANA-baseret overfladeklorofyl vist som boxplots for vanddybdeklasser (t.v.) og optiske dybdeklasser (t.h.). Bredden af boxplots afspejler det relative antal match-up punkter der indgår.

På baggrund af to tærskelværdier for både vanddybde (<3 m) og 25-percentil af optisk dybde (<1) har vi beregnet et maskeringslag for optisk lavvandede pixels (Figur 3.3). Alle røde områder i Figur 3.3 er klassificeret som optisk lavvandet. De lysegrå områder i vadehavet er maskeret fra på baggrund af wqsf, derfor er der ikke muligt at estimere optisk dybde. Til gengæld kan masken på baggrund af vanddybde godt beregnes. Derfor er de indre dele af vadehavet indfarvet i rødt.

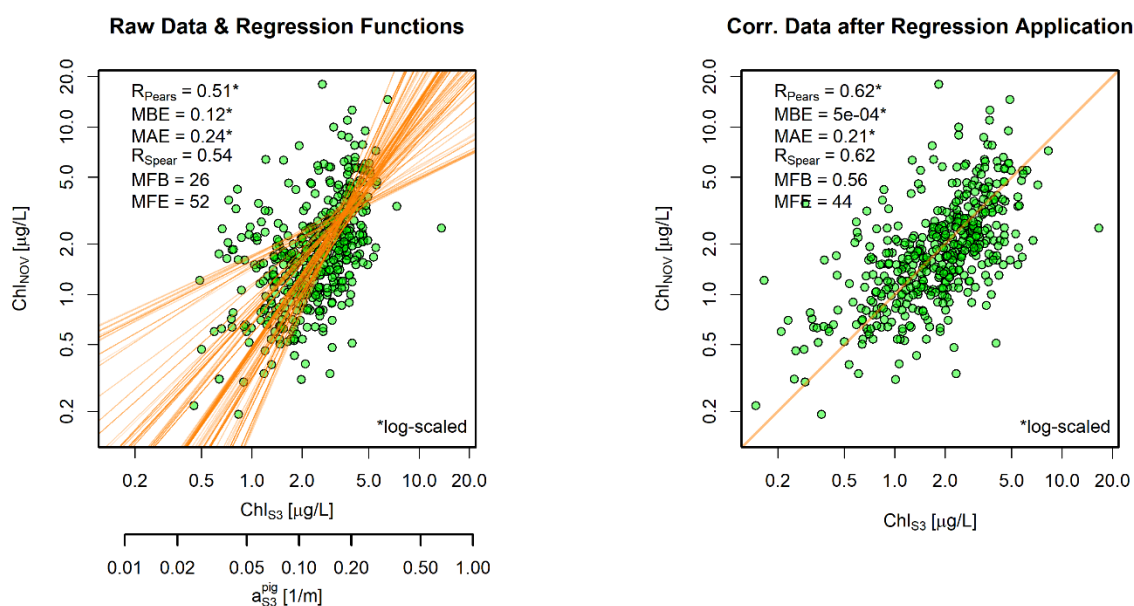
Optical Depth and Optically Shallow Pixels



Figur 3.3. 25-percentil af optisk dybde estimeret ud fra S3-OLCI Level-2 IOP dataprodukter. Kortet viser intervaller af optisk dybde ($K_d^{PAR} * batymetri$), som er beregnet efter Holbach m.fl. (2023). Røde områder indikerer optisk lavvandede pixels med enten <3 m vanddybde og/eller <1 optisk dybde. Bemærk: lysegrå områder er maskeret på baggrund af wqsf.

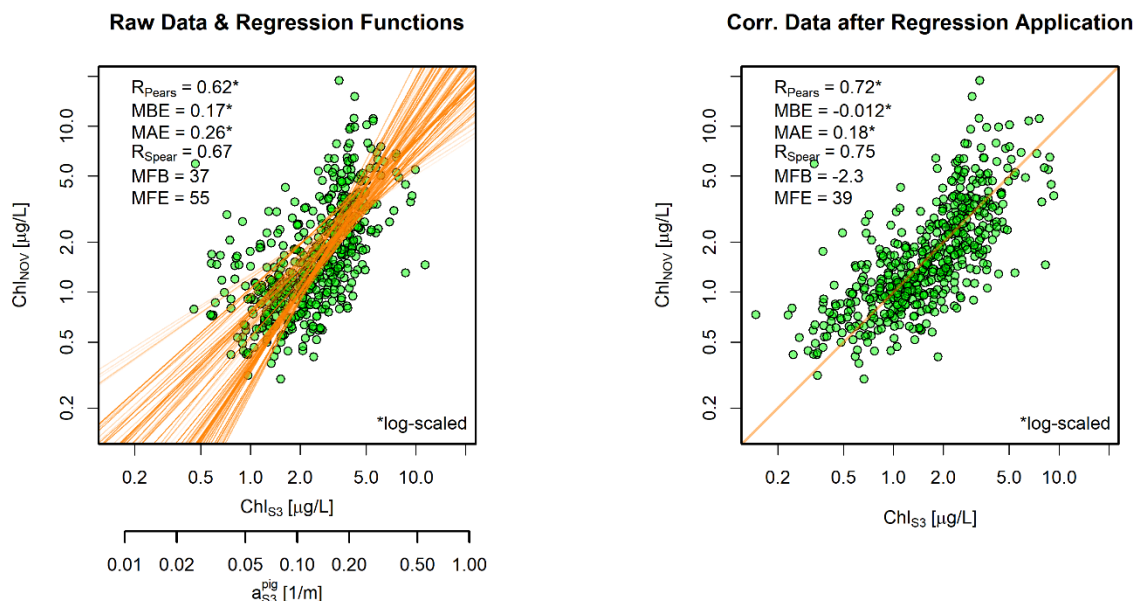
Alle maskerede og dagligt aggregerede satellitbaserede overfladeklorofyl datalag er blevet lagt ind i et R-baseret værktøj til rumlig regressionsmodelle-

ring af sammenhængen mellem satellit- og NOVANA-baseret overfladeklorofyl (se Holbach m.fl., 2022). I dette værktøj bliver to skaleringsfaktorer (Chl_{exp} og Chl_{fact}), der definerer en empirisk sammenhæng mellem pigmentabsorption og klorofylkoncentration (default: $Chl_{exp} = 1.04$, $Chl_{fact} = 21$), rumligt tilpasset igennem en distancebaseret vægtnings- og lineær regressionsprocedure, så hver NOVANA station og hver pixel på arbejdsgriddet kan få tildelt sin helt egen lineære regressionsfunktion. I Figur 3.4, Figur 3.5 er denne øvelse vist grafisk for to adskilte tidsperioder, 2018-2020 og 2021-2023. De orange linjer i plottene t.v. viser de enkelte NOVANA stationers lineære regressionsfunktioner. I plottene t.h. er regressionsfunktionerne så blevet anvendt for at beregne et rumligt optimeret estimat for satellitbaseret overfladeklorofyl.



Figur 3.4. Rumlig kalibrering af lineære regressionsfunktioner for de enkelte NOVANA stationer på baggrund af match-ups mellem satellitbaserede estimater for pigmentabsorption og *in situ* overfladeklorofyl i perioden 2018-2020. De orange linjer i plot t.v. viser de enkelte NOVANA stationers lineære regressionsfunktioner. I plot t.h. er regressionsfunktionerne så blevet anvendt for at beregne et rumligt optimeret estimat for satellitbaseret overfladeklorofyl.

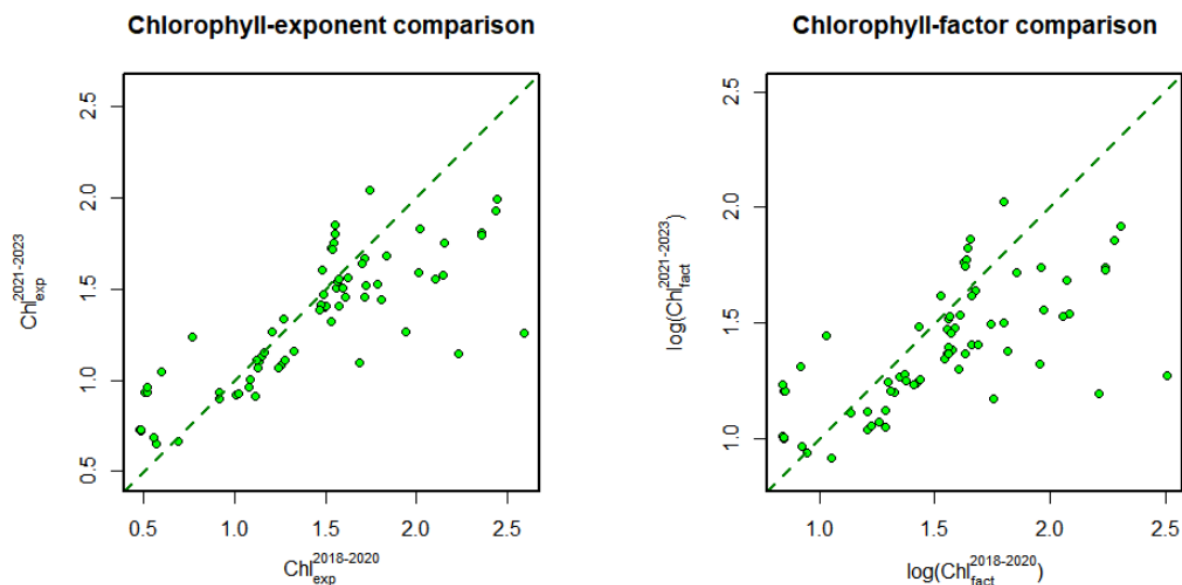
Der kan ses at de statistiske sammenhæng bliver stærkere igennem denne procedure (e.g. Pearson korrelationskoefficient (R_{pears}) og Mean Bias Error (MBE)).



Figur 3.5. Rumlig kalibrering af lineære regressionsfunktioner for de enkelte NOVANA stationer på baggrund af match-ups mellem satellitbaserede estimater for pigmentabsorption og *in situ* overfladechlorofyl i perioden 2021-2023. De orange linjer i plot t.v. viser de enkelte NOVANA stationers lineære regressionsfunktioner. I plot t.h. er regressionsfunktionerne så blevet anvendt for at beregne et rumligt optimeret estimat for satellitbaseret overfladechlorofyl.

Hovedspørgsmål af tillægsprojektet var i starten, om der er en tidsmæssig variation i den rumlige beskrivelse af sammenhængen mellem satellitbaseret pigmentabsorption og NOVANA-baseret overfladechlorofyl. Selvom vi identificerede en fejl i databehandlingsproceduren som det egentlige problem, er dette spørgsmål stadigvæk relevant og kan med den nuværende årrække af tilgængelige data også betragtes. Derfor har vi sammenlignet de rumlige estimater for de to skaleringsfaktorer fra perioden 2018-2020 med 2021-2023. Dvs., der er tale om to helt uafhængige datasæt og kalibreringer.

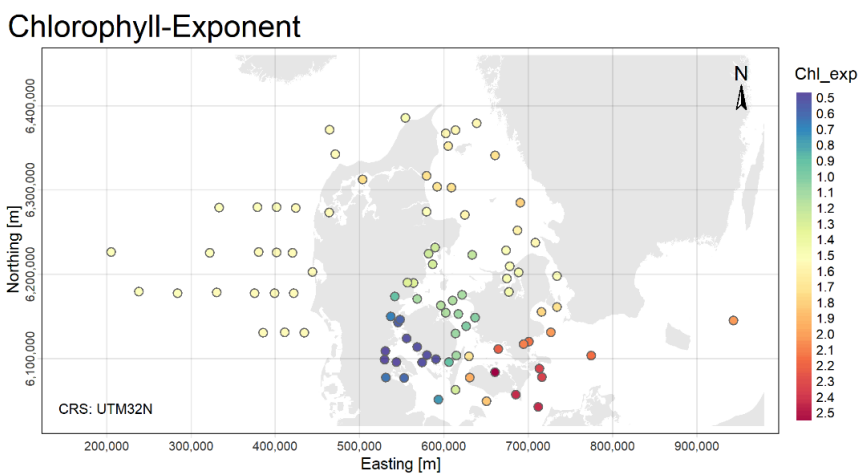
I Figur 3.6 vises sammenhængen af Chl_{exp} og Chl_{fact} mellem de to adskilte tidsperioder for alle NOVANA stationer, der var dækket med match-up data i begge tidsrum. Der kan ses tydelige sammenhæng, som ligger fordelt rundt omkring 1:1 linjen.



Figur 3.6. Sammenligning mellem skaleringsfaktorerne Chl_{exp} (t.v.) og Chl_{fact} (t.h.) efter kalibrering med to uafhængige datasæt fra adskilte tidsperioder (2018-2020 (x-akse) vs. 2021-2023 (y-akse)).

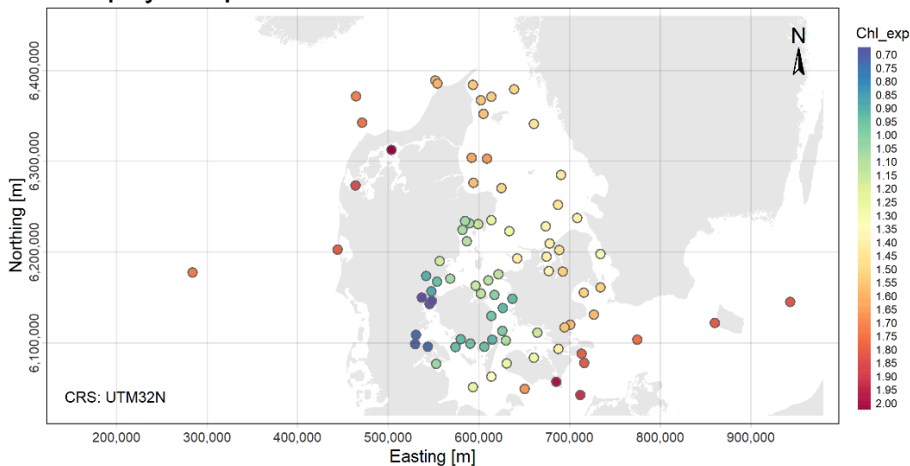
Ved sammenligning af Figur 3.7 og Figur 3.8, som viser de rumlige fordelinger af Chl_{exp} for begge perioder kan man se to ret ens mønstre. Men det bliver også tydeligt, at der er en meget uens rumlig fordeling af overvågningsstationer med tilgængelige match-ups. Hele Nordsøen er næsten ikke dækket med tilsvarende punkter i perioden 2021-2023, mens der er rimelig tæt dækning med værdier i perioden 2018-2020.

Figur 3.7. Kalibreringsresultat for skaleringsfaktoren Chl_{exp} baseret på alle match-ups mellem S3-OLCI Level-2 data og NO-VANA overfladechlorofyl i perioden 2018-2020.



Figur 3.8. Kalibreringsresultat for skaleringsfaktoren Chl_{exp} baseret på alle match-ups mellem S3-OLCI Level-2 data og NO-VANA overfladechlorofyl i perioden 2021-2023.

Chlorophyll-Exponent

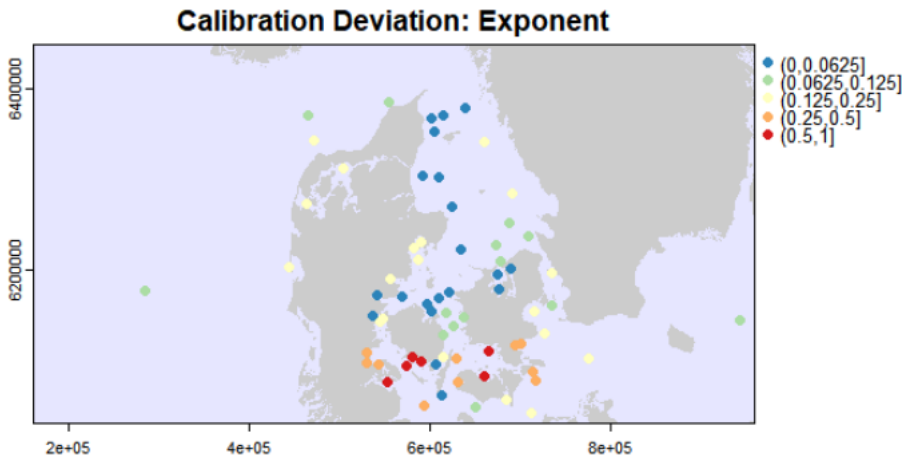


Vi har sammenlignet størrelsen af afvigelsen af Chl_{exp} mellem de to perioder (Figur 3.9). Figur 3.9 viser en normaliseret forskel mellem Chl_{exp} for de to kalibreringsperioder δChl_{exp} . Normaliseringen er blevet foretaget med et tilsvarende estimat af Chl_{exp} for hele perioden fra 2018-2023.

$$\delta Chl_{exp} = \frac{|Chl_{exp}^{2018-2020} - Chl_{exp}^{2021-2023}|}{Chl_{exp}^{2018-2023}}$$

Der kan ses en rød/orange punktsky på tværs af bæltehavet (Lillebælt, Storebælt, Øresund). Dvs. at de største uoverensstemmelser mellem kalibrering for forskellige tidsperioder findes i denne region. Det samme billede viser sig også for den anden skaleringsfaktor Chl_{act} (Figur ikke vist her).

Figur 3.9. Afvigelse af skaleringsfaktor Chl_{exp} mellem de to kalibreringer for 2018-2020 og 2021-2023. Den absolutte forskel er blevet normaliseret med Chl_{exp} beregnet for hele perioden 2018-2023.

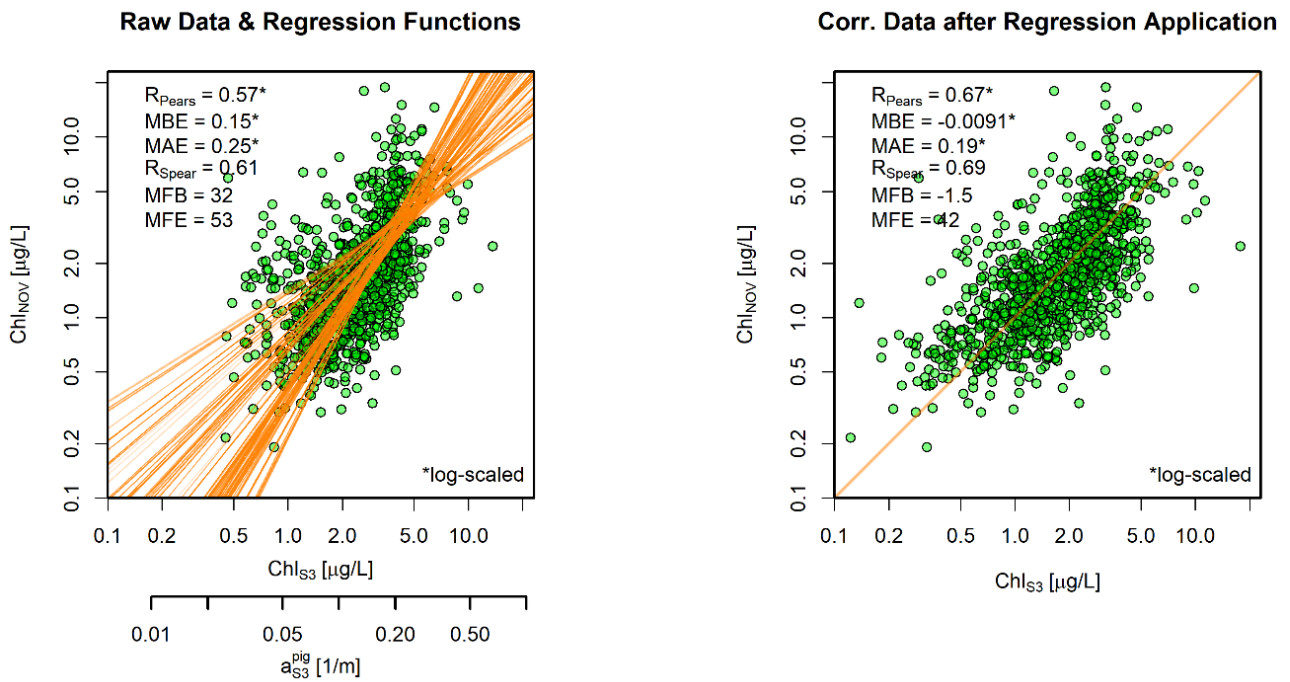


4 Diskussion

På grund af de ovennævnte nye resultater kan vi konkludere følgende:

- Selvom der var en fejl i den tidligere brugte databehandlingsrutine, så kunne vi vise at den udviklede metode for at optimere satellitbaserede klorofylestimer i de komplekse marine farvande rundt om Danmark virker.
- Vi kunne succesfuldt integrere vores arbejde om K_d^{PAR} for at optimere et maskeringsdatalag for optisk lavvandede pixels, men også for en multivariat afvigeranalyse.
- De rumlige mønstre af skaleringsfaktorer igennem kalibrering med uafhængige datasæt fra adskilte tidsperioder (2018-2020 vs. 2021-2023) viser stor overensstemmelse. De største forskelle mellem begge kalibreringsperioder træder frem på tværs af bæltet.
- Den rumlige dækning med match-ups for NOVANA stationerne er meget forskellig mellem de to betragtede tidsperioder.

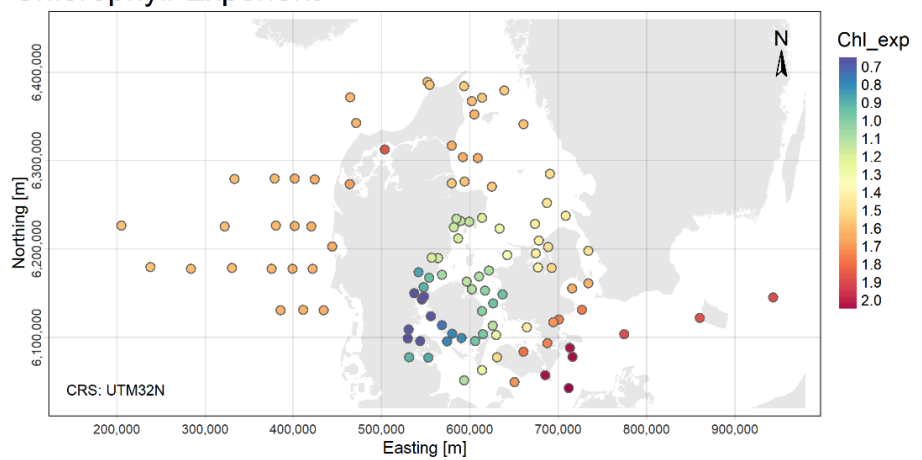
På baggrund af disse nye resultater og ovenfor nævnte konklusioner, er det vores synspunkt at det er mest retvisende at bruge en længere tidsperiode end kun tre år til kalibrering af den udviklede metode for et optimeret satellitbaseret klorofylprodukt. Det kunne godt tænkes, at der løbende (f.eks. årligt) beregnes en genkalibrering på baggrund af de seneste seks år. I Figur 4.1, Figur 4.2 og Figur 4.3 vises der tilsvarende kalibreringsresultater for en seksårs tidsperiode fra 2018-2023. En længere tidsperiode betyder flere match-up punkter, en mere jævn fordeling henover studieområdet og dermed en større repræsentativitet. Vi kunne vise at der også er en tidlig dynamik i sammenhængen mellem satellitbaseret pigmentabsorption og NOVANA overfladeklorofyl, og at denne dynamik er størst på tværs af bæltet. Denne region er kendetegnet ved kraftige miljøgradienter, bl.a. salinitet, CDOM, lagdeling, m.fl., men også periodisk iltsvind. Disse gradienter og muligvis også iltsvindsføremst afspejler forskelle i miljøforhold for fytoplankton, som igen er afgørende for fytoplanktons specifikke absorptionsegenskaber. Vores analyser tyder dog på, at den rumlige dynamik er større end den tidlige. Alligevel vil tidlig dynamiske områder være karakteriseret af en forøget usikkerhed i den rumlige regressionsmodel for satellitbaserede klorofylestimer. Fremover kan det derfor være en mulighed at inddrage denne information i usikkerhedsestimer af klorofylproduktet og dets påtænkte efterfølgende modelassimilering i IMM projektet.



Figur 4.1. Rumlig kalibrering af lineære regressionsfunktioner for de enkelte NOVANA stationer på baggrund af match-ups mellem satellitbaserede estimater for pigmentabsorption og *in situ* overfladechlorofyl i perioden 2018-2023. De orange linjer i plot t.v. viser de enkelte NOVANA stationers lineære regressionsfunktioner. I plot t.h. er regressionsfunktionerne så blevet anvendt for at beregne et rumligt optimeret estimat for satellitbaseret overfladechlorofyl.

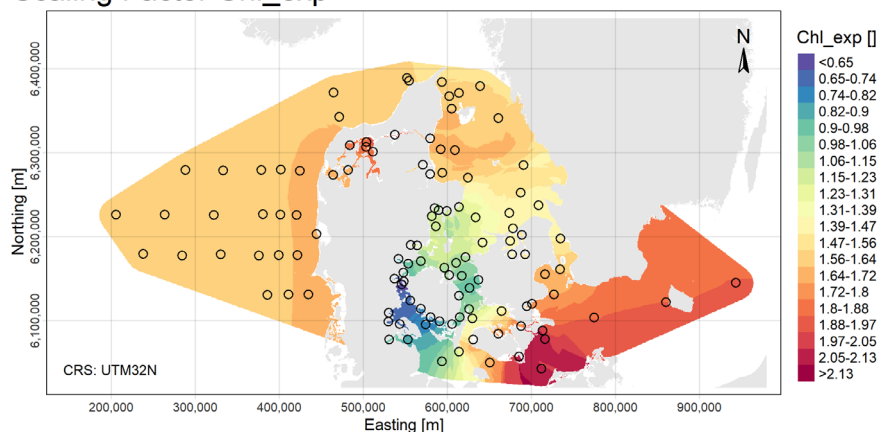
Figur 4.2. Kalibreringsresultat for skaleringsfaktoren Chl_{exp} baseret på alle match-ups mellem S3-OLCI Level-2 data og NOVANA overfladechlorofyl i perioden 2018-2023.

Chlorophyll-Exponent



Figur 4.3. Kontinuerlig rumlig regressionsmodel for skaleringsfaktoren Chl_{exp} baseret på alle match-ups mellem S3-OLCI Level-2 data og NOVANA overfladechlorofyl i perioden 2018-2023.

Scaling Factor Chl_{exp}



5 Referencer

Holbach A., Upadhyay Stæhr S., Markager S., 2023. Integreret Marin Miljøovervågning (IMM) – Analysefase (2023) IMM-Spor: Miljødata fra satellitter. Hovedresultater fra analysefasen og konkrete forslag for det videregående arbejde i projektets implementeringsfase 2024-2026. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 12 s. Fagligt notat nr. 2023 | 70.

Holbach A., Markager S., Closter R.M., Mariegaard J.S., Erichsen A.C., Kronborg M.-B., 2022. Operationalisering og modelassimilering af satellitbaserede klorofyldata. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 74 s. Videnskabelig rapport nr. 508.

ISO, 2010. Statistical interpretation of data – Part 4: Detection and treatment of outliers. International Standard ISO 16269-4.