

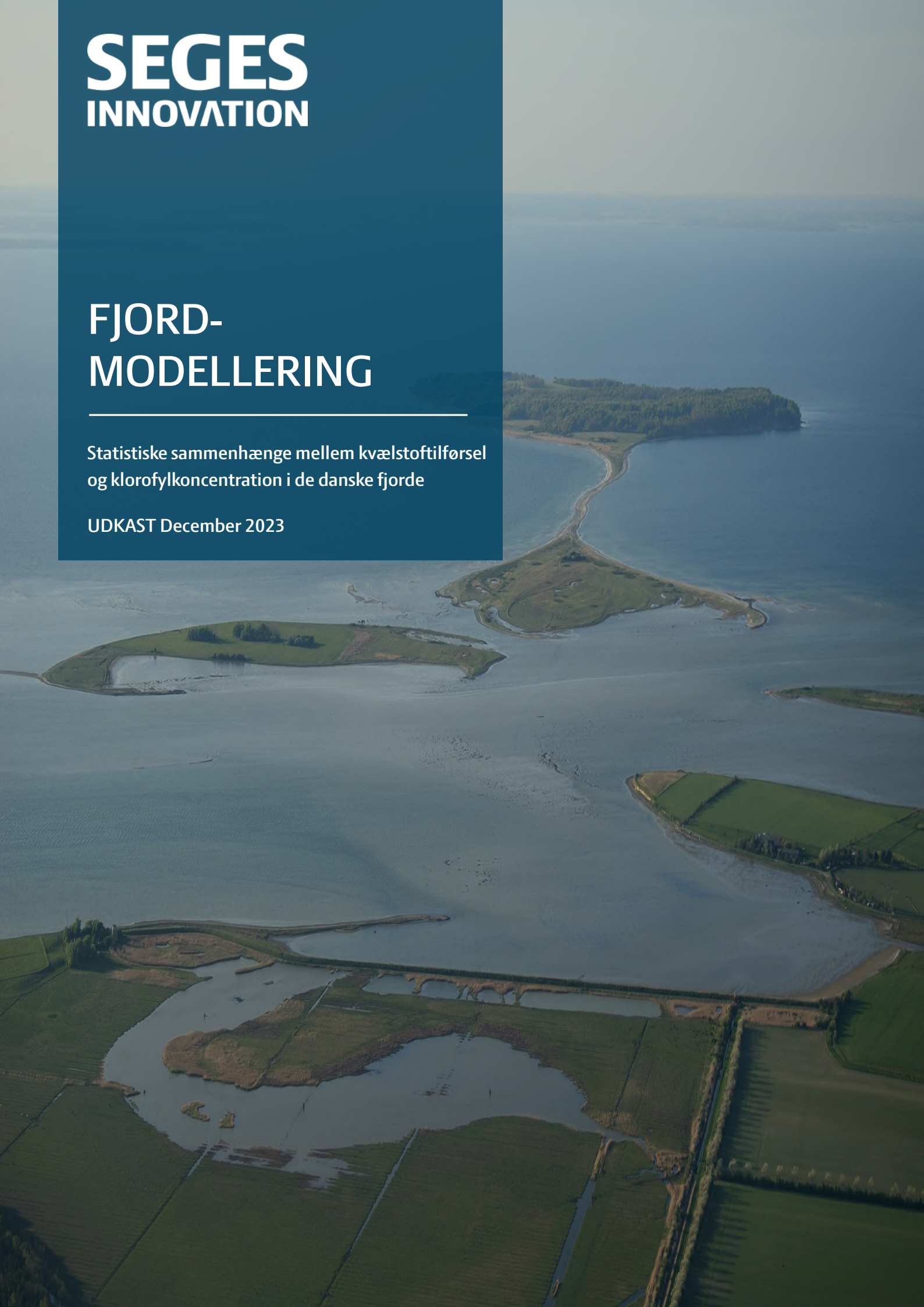
**SEGES**  
INNOVATION

# FJORD- MODELLERING

---

Statistiske sammenhænge mellem kvælstoftilførsel  
og klorofylkoncentration i de danske fjorde

UDKAST December 2023



## FJORDMODELLERING

Er udgivet af

SEGES Innovation P/S

Agro Food Park 15

8200 Aarhus N

+45 87 40 50 00

seges.dk

UDARBEJDET AF

Planter & Miljø

REDAKTØR

Flemming Gertz, chefkonsulent

FORFATTERE

Flemming Gertz, chefkonsulent

Line Kolding Thostrup, miljøkonsulent

FORSIDEFOTO

Colourbox

FINANSIERET AF

Promilleafgiftsfonden

STØTTET AF

**Promille**afgiftsfonden for landbrug

# RESUMÉ

---

# INDHOLDSFORTEGNELSE

---

1	INDLEDNING	5
2	BESKRIVELSE AF DATA	6
3	Delvis domineret af Kattegat/Lillebælt	7
3.1	Odense Yderfjord . . . . .	8
3.2	Vejle Inderfjord . . . . .	9
3.3	Kolding Inderfjord . . . . .	10
4	Domineret af intern belastning med lagdeling	13
4.1	Hjarbæk Fjord . . . . .	14
4.2	Skive Fjord . . . . .	15
5	Domineret af intern belastning uden lagdeling	16
5.1	Roskilde Inderfjord . . . . .	17
6	Domineret af relativ lang opholdstid	19
6.1	Isefjord . . . . .	20
7	Domineret af stor tilførsel fra land	22
7.1	Nissum Mellemfjord . . . . .	23
7.2	Karrebæk Fjord . . . . .	24
8	Tærskeljord	26
8.1	Mariager Fjord . . . . .	27
9	Top-down kontrolleret	28
9.1	Ringkøbing Fjord . . . . .	29
10	DISKUSSION	31
11	REFERENCER	32

Statistiske modeller er vidt udbredte og har i mange år været anvendt i forbindelse med at forstå sammenhænge mellem presfaktorer og eutrofiering i kystvande. I dansk vandplanlægning for kystvande har der været anvendt statistiske modeller i alle 3 vandplanperioder under Vandrammedirektivet og senest i 3. planperiode perioden 2021-2027 (VP3). Statistiske modeller har den fordel at de er relativt simple og nemme at opstille. I modsætning til fx mere avancerede mekanistiske/dynamiske modeller som beskriver detaljerede processer i økosystemet, så giver statistiske modeller ingen årsagssammenhæng på umiddelbare sammenhænge og det er her der ligger en risiko for fejltolkninger. Et klassisk eksempel på dette sker fx fordi de to prædiktorvariable, kvælstof- og fosfortilførsel ofte korrelerer. Hvis både kvælstof- og fosfortilførslerne er faldet inden for samme periode kan man i den statistiske modellering ikke skelne mellem hvilken af de to variable som korrelerer til fx klorofyl. Dette er håndteret af Aarhus Universitet i deres statistiske modellering i VP3 ved ikke at skelne mellem disse i den statistiske modellering og i stedet have en samlet betegnelse for tilførsel "load" og først efter den statistiske modellering forsøge påvise hvilken variabel som har betydning. I nærværende analyse er der som udgangspunkt set på sammenhænge mellem kvælstoftilførsel og klorofyl, men i enkelte tilfælde som fx for Nissum Fjord også set sammenhænge til fosfortilførsel. De statistiske modeller som Aarhus Universitet har opstillet er baseret på sammenhænge mellem tilførsel for perioden januar-september relateret til middelsommer klorofylkoncentrationen maj-september. Disse perioder er valgt jf Aarhus Universitet som de perioder der generelt giver de bedste sammenhænge. Formålet med det arbejde som SEGES har foretaget i nærværende rapport har været at lave mere detaljerede sammenhænge mellem kvælstoftilførsel og klorofyl bl.a. med den hypotese, at når vandudskiftningen er hurtig vil man kunne finde en bedre sammenhæng mellem kvælstof sommertilførsel til sommerklorofyl end tilsvarende at inkludere vintertilførsel i den statistiske model. SEGES har i forbindelse med projektet udviklet et analytisk værktøj som muliggør en relativ hurtig modelsammenhæng for forskellige tidlige perioder. Dette har medført vi har kunne teste mange mulige statistiske modeller for hvert fjordområde og dette har ført til forbedrede sammenhænge og forståelser af de økologiske processer i fjordene.

# BESKRIVELSE AF DATA

# 2

Rapporten bygger på data for klorofylkoncentration målt i fjordene samt tilførselsdata af kvælstof fra tilhørende farvand4-oplande i perioden 1990-2019. Størstedelen af klorofylldata er hentet fra tidligere datasæt, som SEGES Innovation har bearbejdet i forbindelse med foregående analyser af fjordene, hvor data er hentet fra ODA-databasen (Overfladevandsdatabasen) fra NOVANA-måleprogrammet. Yderligere klorofylldata er hentet ned fra Arealdata via Miljøportalen. Tilførselsdata af total-kvælstof (TN) er på 4. ordens farvandsniveau og er beregnet af Aarhus Universitet (DCE). Data dækker over både diffus- og punktkildeudledning fra målt og umålt opland.

De målestationer i fjordene, som indgår i analysen, er udvalgt på baggrund af måledækningen, dvs. de er udvalgt med så lange tidsperioder og så få huller som muligt. Endvidere er Farvand4-oplandene i analysen udvalgt ud fra primært at udgøre vandoplandet tilhørende den respektive målestation i fjorden. Der kan godt være flere farvand4-oplande til én målestation dels hvis det samlede opland til en målestation består af flere farvand4-oplande og dels hvis SEGES har vurderet, at tilførselsdata fra andre farvand4-oplande (dog stadig inde for samme hovedvandopland til fjorden) har betydning for klorofylniveauet ved den pågældende målestation. Målestationer og tilhørende farvand4-oplande ses i figurer under hvert fjordafsnit.

Analysen af sammenhængen mellem opland og fjord præsenteres i rapporten som korrelationsgrafer mellem udvalgte måneder af henholdsvis TN-tilførsel og klorofylkoncentration, hvor data for hver fjord er sat op i en powerpivot i Excel. Således kan månederne for henholdsvis datasættene for tilførsel og klorofyl uafhængigt kan korreleres inde for samme år. Som standard køres der fire forskellige korrelationer månederne imellem for hver fjord, se Tabel 2.1, for at undersøge hvornår kvælstoftransporten fra land har størst betydning for klorofylniveauet i fjorden. For nogle af fjordene er der behov for yderligere korrelationer og vil fremgå under afsnittene for de pågældende fjorde. De koblede datasæt for tilførsel og klorofyl præsenteres i xy-scatterplot og sammenhængen imellem vises som lineær regressionsmodel med tilhørende  $R^2$ , der er et udtryk for hvor stor en del af klorofylkoncentrationen der kan forklares af tilførselsdata. Jo tættere  $R^2$  er på 1 jo større sammenhæng.

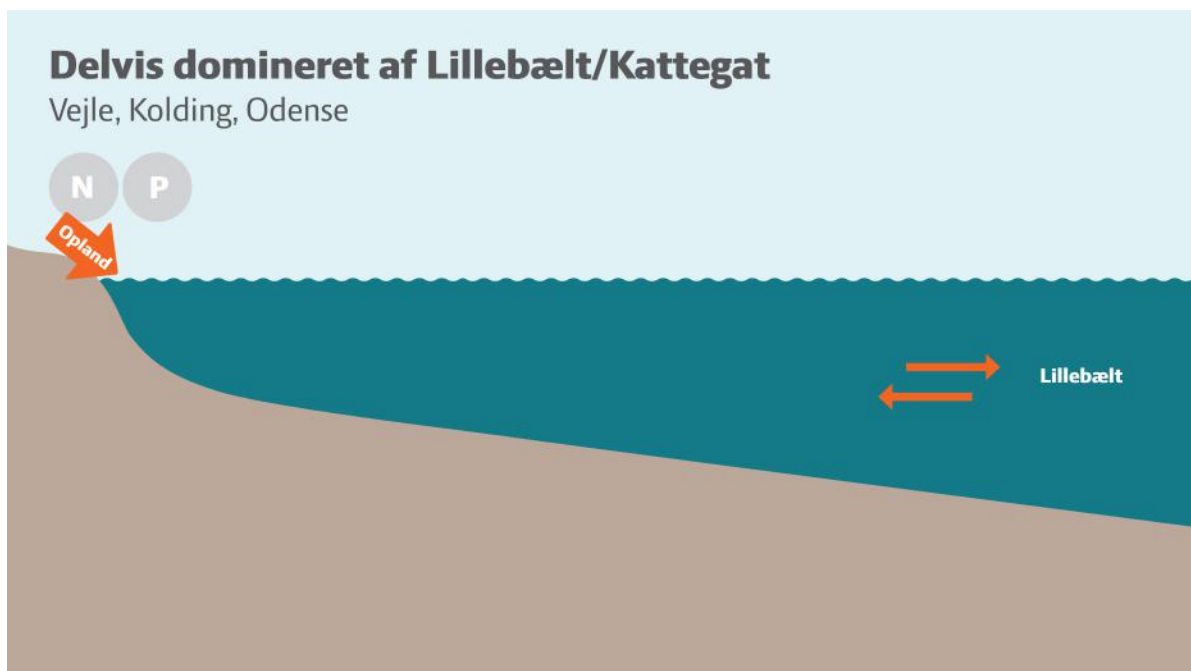
Tabel 2.1 Månedsmidler korreleret mellem tilførsel af kvælstof fra opland og klorofyl i fjord.

Opland/N-tilførsel	Fjord/klorofylkoncentration
januar-marts	maj-september
januar-september	maj-september
april-maj	april-maj
maj-september	maj-september

# Delvis domineret af Kattegat/Lillebælt

# 3

For fjorde der er delvis domineret af enten Kattegat eller Lillebælt er der fællestræk i hydrografien, da fjordene alle har en dyb og bred forbindelse til tilstødende farvand og dermed en hyppig vandudskiftning mellem fjord og farvand. Figur 3.1 er en forsimplet illustration af fjordenes hydrografiske fællestræk når de er delvis domineret af Lillebælt/Kattegat, og viser at fjordene ikke er et typisk fjordbassin, hvor fjord er adskilt fra tilstødende farvand med en mindre passage, men at fjordbunden i stedet for bliver dybere og dybere indtil ydre farvand. Disse fjorde har derfor plads til et dynamisk flow af vandmasserne mellem Kattegat/Lillebælt og fjordbassinet. Med et så hyppigt vandudskifte må det antages, at det ikke kun vil være næringspåvirkningen fra land der har betydning for miljøtilstanden i fjorden, men også næringsstoffer fra Kattegat/Lillebælt. Vejle Fjord, Kolding Fjord og Odense Fjord præsenteres i analysen som fjorde delvis domineret af Kattegat/Lillebælt.

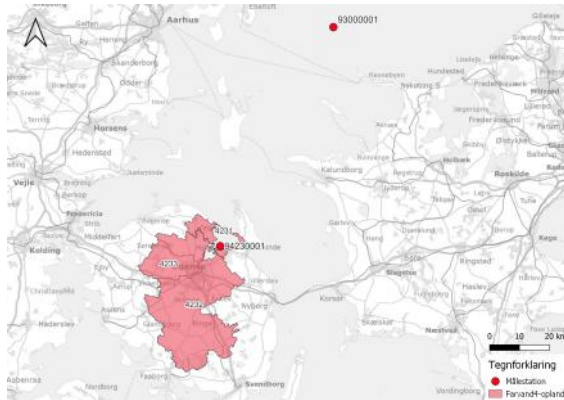


**Figur 3.1** Forsimplet illustration af et fjordsystem, som er delvis domineret af enten Lillebælt eller Kattegat. De fjorde som i analysen kan klassificeres således er Vejle Fjord, Kolding Fjord og Odense Fjord.



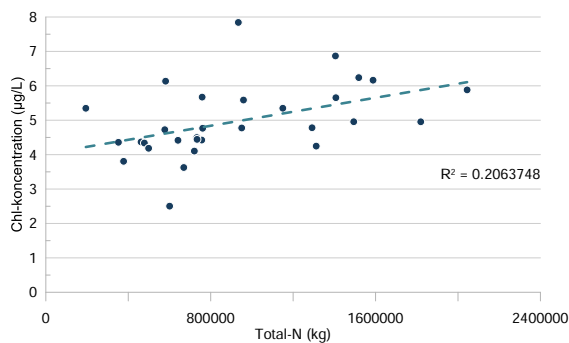
### 3.1 Odense Yderfjord

Kvælstoftilførslen til Odense Yderfjord er i analysen fra farvand4-oplandene 4231, 4232 og 4233 og klorofyl-koncentrationen fra målestation 94230001. Samtidig indgår koncentrationen af DIN (uorganisk kvælstof) for stationen 93000001, der ligger midt i Kattegat, også i analysen. Se oplande og målestationer i Figur 3.2.

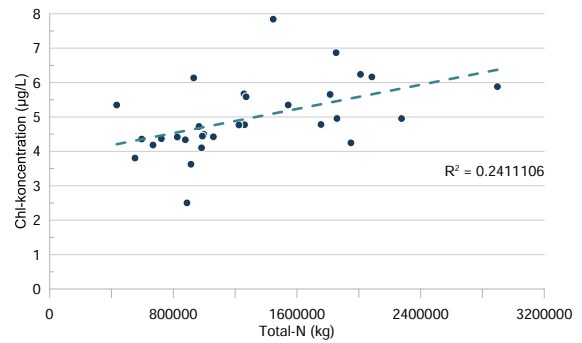


**Figur 3.2** Kort over målestation for klorofylkoncentration og Farvand4-oplande for kvælstoftilførsel til Odense Fjord ydre samt målestation i Kattegat.

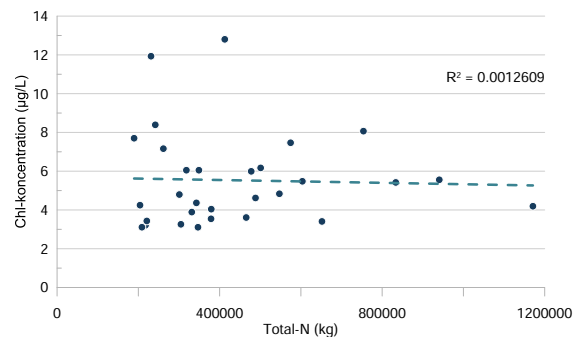
Når vinterens kvælstoftilførsel (januar-marts) korreleres med sommerens klorofylkoncentration fås en  $R^2$  på 0,2, se Figur 3.3, hvilket indikerer at noget af det kvælstof transporteret fra land om vinteren kan beskrive klorofylniveaue om sommeren. Det samme gør sig gældende når summen af kvælstof tilført fjorden fra januar-september korreleres med sommerens klorofyl i Figur 3.4 samt når sommerens kvælstof korreleres med sommerens klorofyl i Figur 3.6. Dog findes der ingen sammenhæng i Figur 3.5 mellem kvælstof og klorofyl i foråret, da  $R^2$  nærmest er lig 0. Derfor indikerer data, at både vinterens og sommerens tilførsel har betydning for sommerens klorofylniveau, men i begrænset omfang når  $R^2$  ligger omkring 0,2.



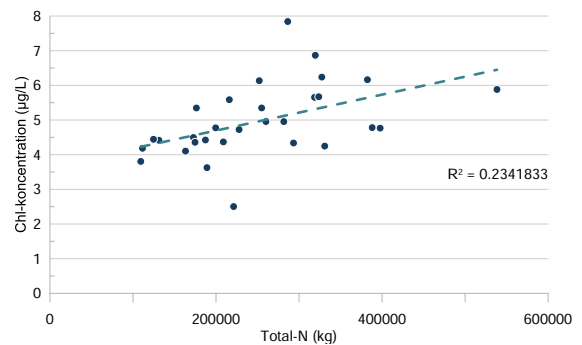
**Figur 3.3** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandene 4231+4232+4233 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration ( $\mu\text{g/l}$ ) fra maj-september i toppen af vandsøjlen ( $\leq 1$  meter) ved målestation 94230001 i Odense Yderfjord fra 1990-2019.



**Figur 3.4** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 4231+4232+4233 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration ( $\mu\text{g/l}$ ) fra maj-september i toppen af vandsøjlen ( $\leq 1$  meter) ved målestation 94230001 i Odense Yderfjord fra 1990-2019.



**Figur 3.5** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 4231+4232+4233 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration ( $\mu\text{g/l}$ ) fra marts-maj i toppen af vandsøjlen ( $\leq 1$  meter) ved målestation 94230001 i Odense Yderfjord fra 1990-2019.



**Figur 3.6** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandene 4231+4232+4233 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration ( $\mu\text{g/l}$ ) fra maj-september i toppen af vandsøjlen ( $\leq 1$  meter) ved målestation 94230001 i Odense Yderfjord fra 1990-2019.

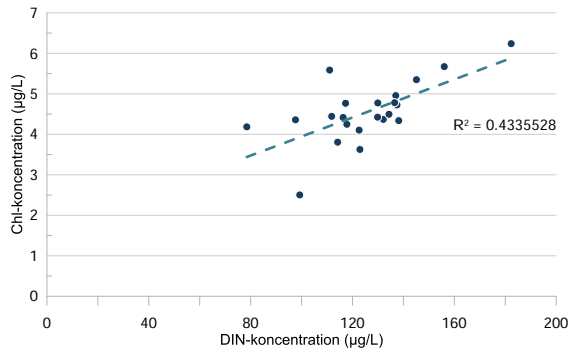
For at undersøge hvor stor en næringsstofpåvirkning Kattegat har på Odense Fjord er kvælstof (DIN-koncentration) ved en målestation midt i Kattegat korreleret med klorofylkoncentrationen i fjorden. Se Figur 3.7. Her ser vi en  $R^2$  på hele 0,43 når vinterens kvælstofkoncentration i Kattegat korreleres med sommerklorofyl.

Med en bedre sammenhæng mellem Kattegat og Odense Fjord end oplandet må der antages, at kvælstof



### 3. Delvis domineret af Kattegat/Lillebælt

stof fra Kattegat har en mindst lige så stor betydning for fjordens klorofyl niveau som oplandets bidrag af kvælstof.



**Figur 3.7** Sammenhængen mellem gennemsnitskoncentrationen af DIN (µg/l) fra januar-marts i bunden af vandsøjlen (≥20 meter) ved målestationen 93000001 i Kattegat og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1 meter) ved målestation 94230001 i Odense Yderfjord fra 1998-2019.

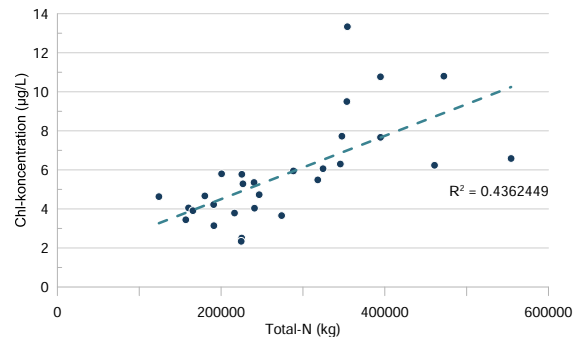
### 3.2 Vejle Inderfjord

Kvælstoftilførslen til Vejle inderfjord er i analysen fra farvand4-oplandene 5134 og 5135 og klorofylkoncentrationen fra målestation 95130002. Samtidig indgår koncentrationen af DIN (uorganisk kvælstof) for stationen 94300001 i Lillebælt, også i analysen. Se oplande og målestationer i Figur 3.8.

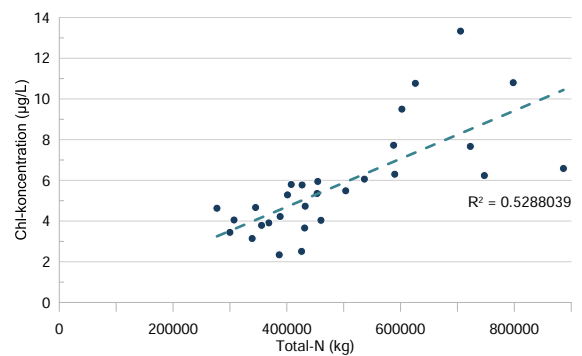


**Figur 3.8** Kort over målestation for klorofylkoncentration og Farvand4-oplande for kvælstoftilførsel til Vejle Fjord indre.

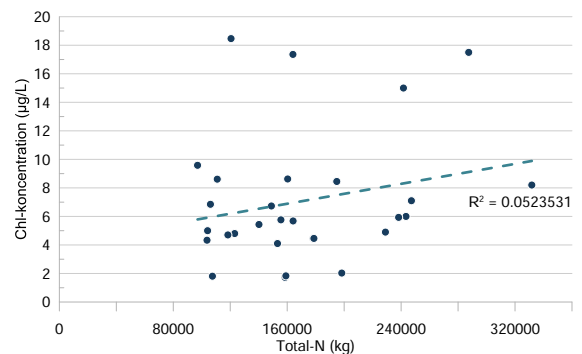
Sammenhængen mellem vinterens kvælstoftilførsel fra oplandet og sommerens klorofylkoncentration er relativ god med en  $R^2$  på 0,43 (se Figur 3.9). En endnu bedre sammenhæng ses når januar-september korreleres med sommerklorofyl (se Figur 3.10). Dette kan sandsynligvis forklares af sommerperiodens bedre sammenhæng mellem kvælstof og klorofyl end vinterens, da Figur 3.12 viser en stærkere  $R^2$  på 0,56 mens at forårets korrelation i Figur 3.11 viser ingen sammenhæng.



**Figur 3.9** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandene 5134+5135 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95130002 i Vejle Inderfjord fra 1990-2019.

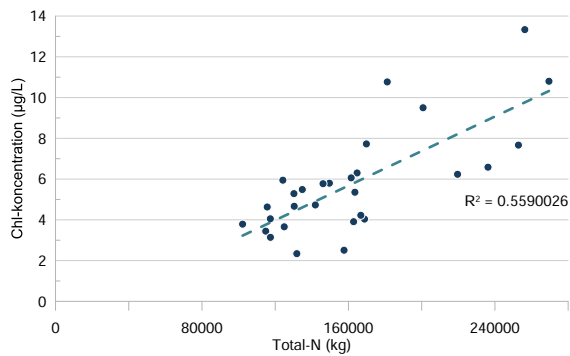


**Figur 3.10** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 5134+5135 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95130002 i Vejle Inderfjord fra 1990-2019.



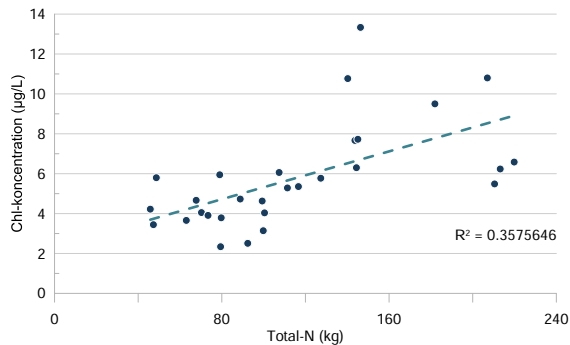
**Figur 3.11** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 5134+5135 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95130002 i Vejle Inderfjord fra 1990-2019.

### 3. Delvis domineret af Kattegat/Lillebælt



**Figur 3.12** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-områdene 5134+5135 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95130002 i Vejle Inderfjord fra 1990-2019.

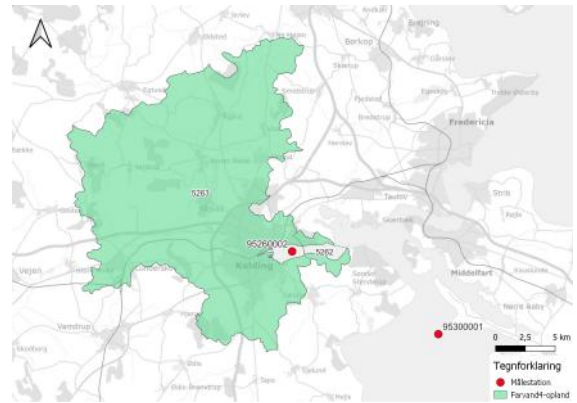
På trods af en relativ god sammenhæng mellem oplandets kvælstof og fjordens klorofyl, så viser figur 3.13, at der også er en fin sammenhæng mellem Lillebælt og Vejle Fjord med en  $R^2$  på 0,36, som er på højde med korrelationen mellem vinterens opland og sommerens klorofyl. Det understreger, at Vejle Fjord er delvis påvirket af næringsstoffer fra Lillebælt/Kattegat.



**Figur 3.13** Sammenhængen mellem gennemsnitskoncentrationen af DIN (µg/l) fra januar-marts i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestationen 94300001 i Lillebælt og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95130002 i Vejle Inderfjord fra 1990-2019.

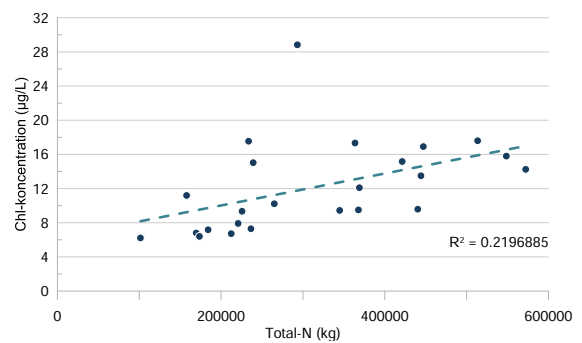
### 3.3 Kolding Inderfjord

Kvælstoftilførslen til Kolding Inderfjord er i analysen fra farvand4-områdene 5262 og 5263 og klorofylkoncentrationen fra målestation 95260002. Samtidig indgår koncentrationen af DIN (uorganisk kvælstof) for Lillebælt stationen 95300001, der ligger ved Bredningen, også i analysen. Se figur Figur 3.14. For Kolding Fjord præsenteres data med og uden året 1992, da dette år har en stor påvirkning på udfaldet af sammenhængen mellem kvælstof og klorofyl.

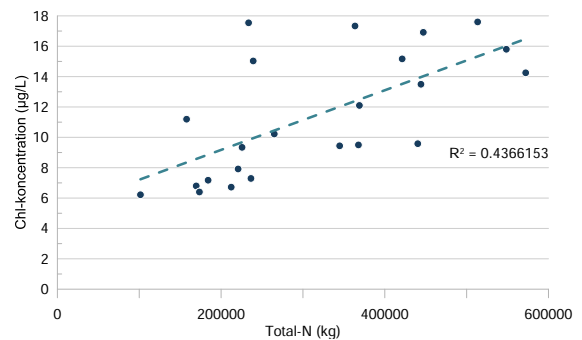


**Figur 3.14** Kort over målestation for klorofylkoncentration og Farvand4-område for kvælstoftilførsel til Kolding Fjord indre.

Når vinterens kvælstoftilførsel fra januar til marts korreleres med sommerens klorofylkoncentration (maj-september) fåes en  $R^2$  på lige under 0,2, se Figur 3.15), der antyder en lille sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og klorofylniveau. Hvis analysen igen laves uden året 1992, se Figur 3.16), fåes en betydelig højere sammenhæng med en  $R^2$  på 0,43, der indikerer en sammenhæng mellem vinterens kvælstoftilførsel og fjordens klorofylniveau.

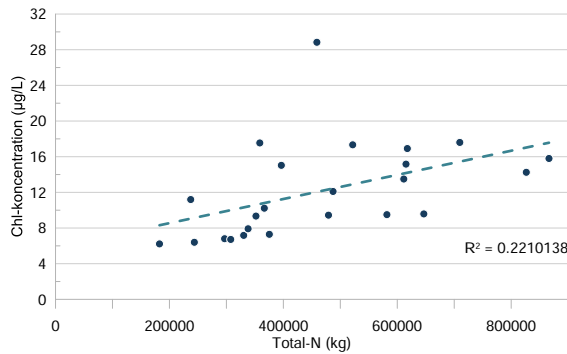


**Figur 3.15** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-områdene 5262+5263 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95260002 i Kolding Inderfjord fra 1990-2019.

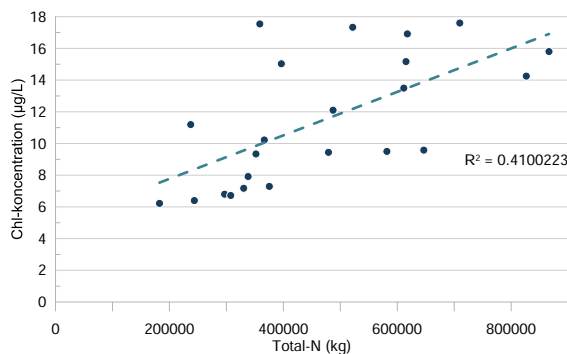


**Figur 3.16** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-områdene 5262+5263 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95260002 i Kolding Inderfjord fra 1990-2019 uden året 1992.

### 3. Delvis domineret af Kattegat/Lillebælt

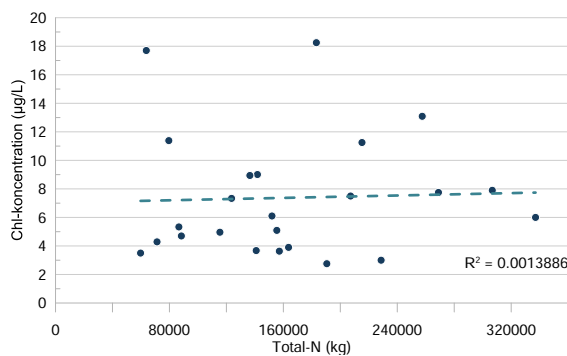


**Figur 3.17** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 5262+5263 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95260002 i Kolding Inderfjord fra 1990-2019.

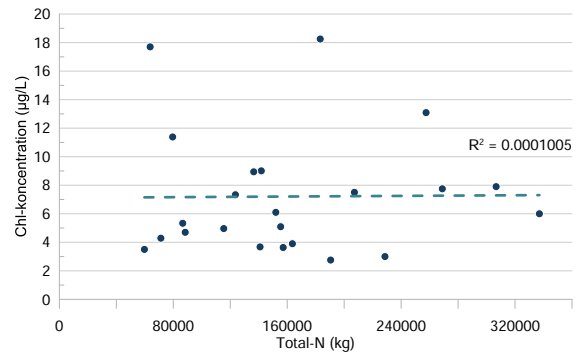


**Figur 3.18** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 5262+5263 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95260002 i Kolding Inderfjord fra 1990-2019 uden året 1992.

I foråret (marts-maj) ses ingen sammengæng mellem kvælstoftilførsel og klorofylniveau, se figur Figur 3.19) og Figur 3.20).

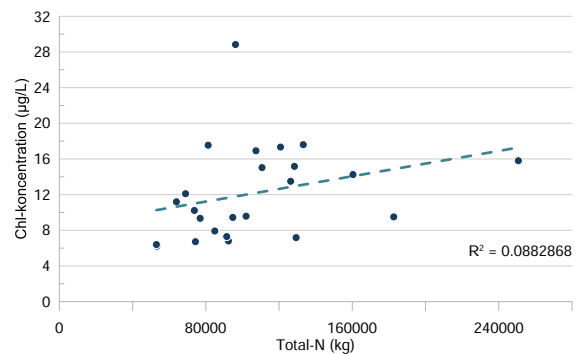


**Figur 3.19** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 5262+5263 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95260002 i Kolding Inderfjord fra 1990-2019.

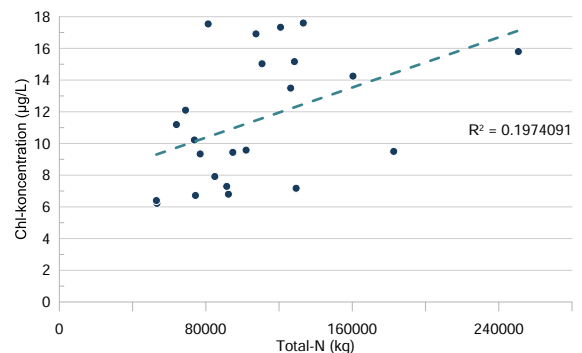


**Figur 3.20** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 5262+5263 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95260002 i Kolding Inderfjord fra 1990-2019 uden året 1992.

Når sommerens tilførsel af kvælstof korreleres med sommerens klorofylkoncentration ses ingen sammenhæng med en  $R^2$  tæt ved 0, se (Figur 3.21). Derimod ser sommerens korrelation lidt bedre ud når året 1992 fjernes, hvor  $R^2$  er lige knap 0,2 (Figur 3.22).



**Figur 3.21** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandene 5262+5263 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95260002 i Kolding Inderfjord fra 1990-2019.



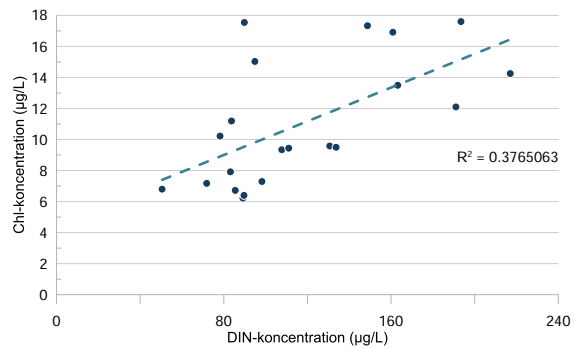
**Figur 3.22** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandene 5262+5263 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95260002 i Kolding Inderfjord fra 1990-2019 uden året 1992.

Sammenhængen mellem kvælstofkoncentrationen i Lillebælt og klorofyl i Kolding Fjord ses i (Figur 3.23). Her ser vi en  $R^2$  på 0,37 mellem vinternes koncentration af

### 3. Delvis domineret af Kattegat/Lillebælt

---

DIN og sommerens koncentration af klorofyl. Dette indikerer, at både vinterens kvælstof tilført fra oplandet og kvælstof transporteret ind via vandudskiftningen med Lillebælt har betydning for Kolding Inderfjords klorofyl-niveau. Derfor kan man sige, at Kolding Fjord delvis er domineret af Lillebælt.



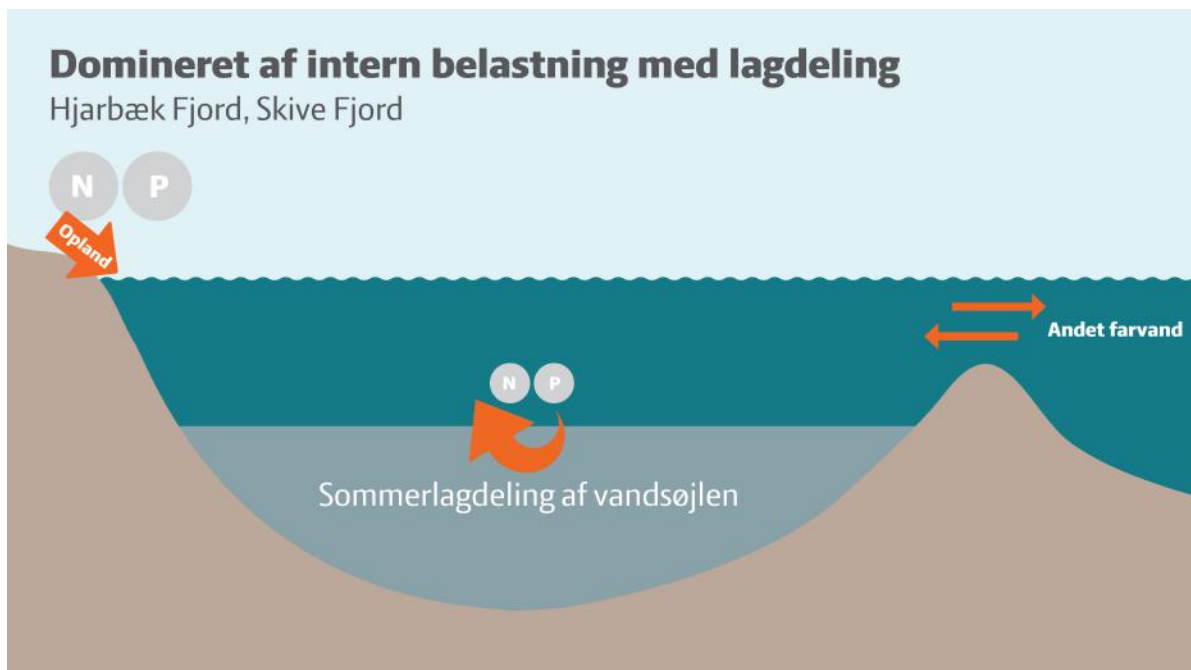
**Figur 3.23** Sammenhængen mellem gennemsnitskoncentrationen af DIN (µg/l) fra januar-marts i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestationen 95300001 i Lillebælt bredningen og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1,5 meter) ved målestation 95260002 i Kolding Inderfjord fra 1993-2019.

# Domineret af intern belastning med lagdeling

# 4

Fjorde der er domineret af intern belastning med lagdeling er fællestrækket, at der sker en lagdeling af vandsøjlen. En lagdeling skabes af forskelle i massefylden af vandmasserne, hvormed der skabes to adskilte lag i vandsøjlen. Oftest er det fysiske karakteristika såsom salinitet og/eller temperatur, der skaber forskellen i massefylden. Når vandsøjlen deles op i to stiger risikoen for en utilstrækkelig tilførsel af ilt til bundlaget og der kan optræde iltvind. Når bundlaget bliver anaerobt uden ilttilførsel fra toplaget vil der ske frigivelse af næringsstoffer fra fjordbunden der transporteres op og give algevækst, den såkaldte interne belastning, og bidrage til en ringe miljøtilstand. Se figur 4.1 for en forsimplet illustration af karakteristika.

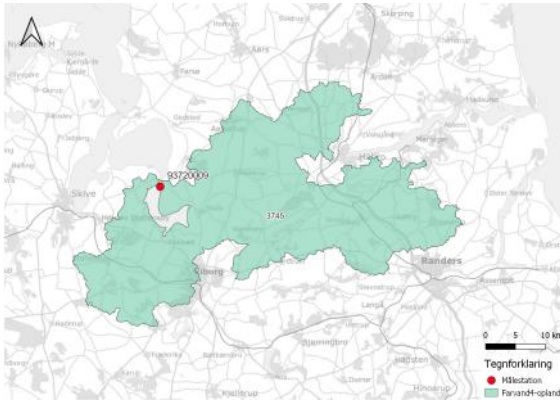
Skive Fjord og Hjarbæk Fjord karakteriseres begge som fjorde domineret af intern belastning med lagdeling. Begge fjorde er afsnørrede dele af Limfjorden, hvor saliniteten i fjordene ikke er så høj i forhold til andre områder i Limfjorden. Derfor vil der i vandtransporten med de tilstødende vandområder transporteres mere salint vand ind i fjordene og skabe en lagdeling der om sommeren vil medføre iltvind og fastholde fjordene i ringe tilstand med den betydelige interne belastning af næringsstoffer til vandsøjlen.



**Figur 4.1** Forsimplet illustration af et fjordsystem, som er domineret af intern belastning med lagdeling. De fjorde som i analysen kan klassificeres således er Hjarbæk Fjord og Skive Fjord.

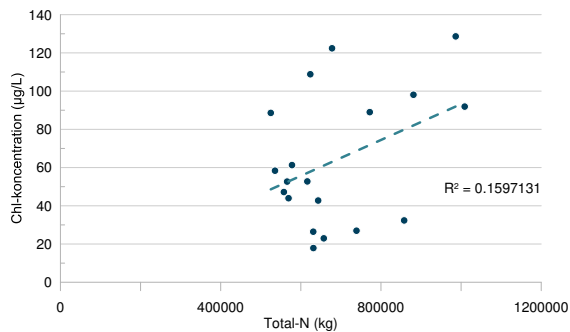
### 4.1 Hjarbæk Fjord

For Hjarbæk Fjord er der i rapporten korreleret klorofylkoncentration fra station 93720009 i fjorden med tilførsler af kvælstof fra farvand4-oplandet 3745. Data er fra 1990 til 2019. Se kort på figur 4.2.

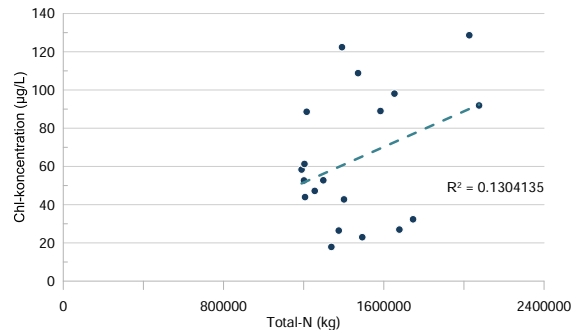


**Figur 4.2** Kort over målestation for klorofylkoncentration og Farvand4-oplande for kvælstoftilførsel til Hjarbæk Fjord.

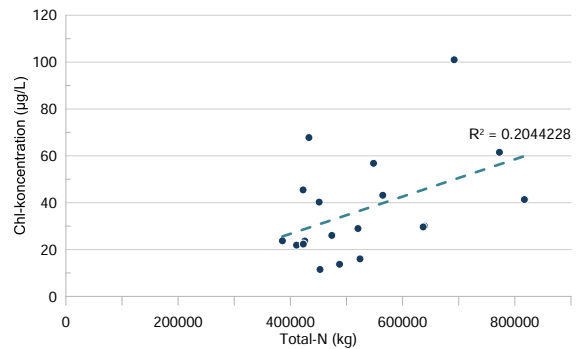
Vinternes kvælstoftilførsel fra oplandet korreleret med sommerens klorofylkoncentration med en  $R^2$  på kun 0,16 og vintrens kvælstof fra land kan derfor forklare lidt af klorofylniveauet om sommeren, men ikke meget. Se figur figur 4.3. Forårets tilførsel er lidt højere korreleret med forårets klorofylniveau på  $R^2=0,2$  (figur 4.5).



**Figur 4.3** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandet 3745 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1 meter) ved målestation 93720009 i Hjarbæk Fjord fra 1990-2019.

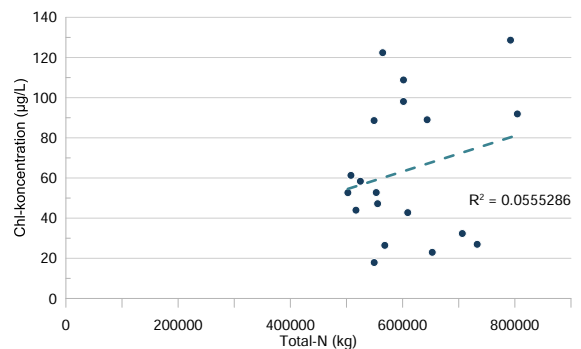


**Figur 4.4** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandet 3745 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1 meter) ved målestation 93720009 i Hjarbæk Fjord fra 1990-2019.



**Figur 4.5** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandet 3745 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i toppen af vandsøjlen (≤1 meter) ved målestation 93720009 i Hjarbæk Fjord fra 1990-2019.

Når der om sommeren sker tilførsel fra land til fjorden, vil man forvente et direkte udslag i klorofylkoncentration i et så lukket system som Hjarbæk Fjord. Dog viser korrelationen imellem sommerens kvælstoftilførsel og sommerens klorofylkoncentration en meget lav  $R^2$  tæt ved 0, hvilket betyder absolut ingen sammenhæng. Hvis man ser på fordelingen af data på figur 4.6, så er data meget spredt uden nogen former for tegn på sammenhæng. Dette skyldes lagdelingen i fjorden, hvor sommerens mere eller mindre permanente iltsvind forårsager betydelige mængder næringsstoffer frigives fra fjordbunden og giver algeopblomstring.



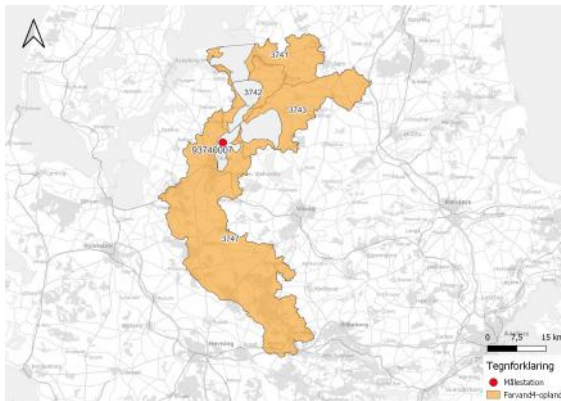
**Figur 4.6** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandet 3745 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1 meter) ved målestation 93720009 i Hjarbæk Fjord fra 1990-2019.

#### 4. Domineret af intern belastning med lagdeling

Derfor kan man sige, at Hjarbæk Fjord er kontrolleret af den interne belastning i stedet for den direkte påvirkning af næringsstoffer fra land.

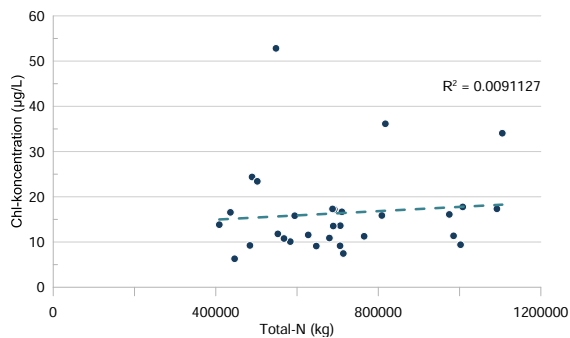
#### 4.2 Skive Fjord

For Skive Fjord er der korreleret klorofylkoncentration fra station 93740007 i fjorden med tilførsler af kvælstof fra farvand4-oplandene 3741, 3742, 3743 og 3747. Data er fra 1990 til 2019. Se kort på figur 4.7.

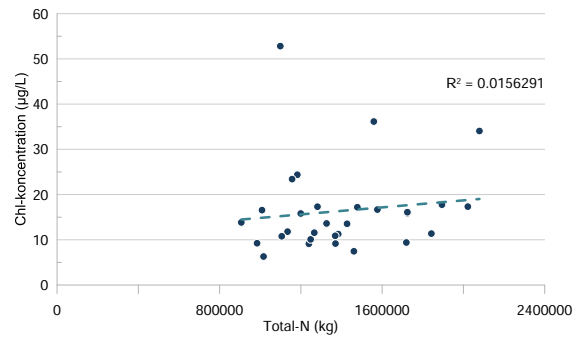


Figur 4.7 Kort over målestation for klorofylkoncentration og Farvand4-oplande for kvælstoftilførsel til Skive Fjord.

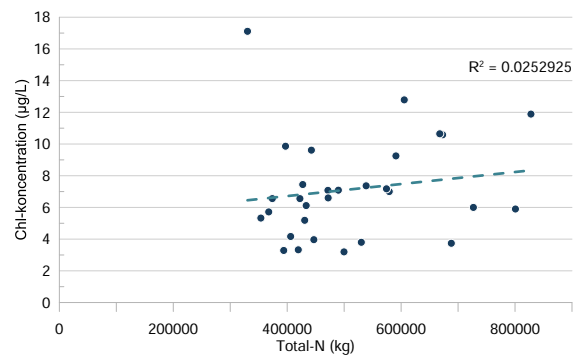
Når både vinterens og sommerens tilførsel af kvælstof korreleres med sommerens klorofylniveau på figur 4.8 og figur 4.11, ses absolut ingen sammenhæng og  $R^2$  er lige med 0 i begge tilfælde. Samtidig findes der heller ingen sammenhæng mellem forårets kvælstoftilførsel og klorofylniveau, se figur 4.10.



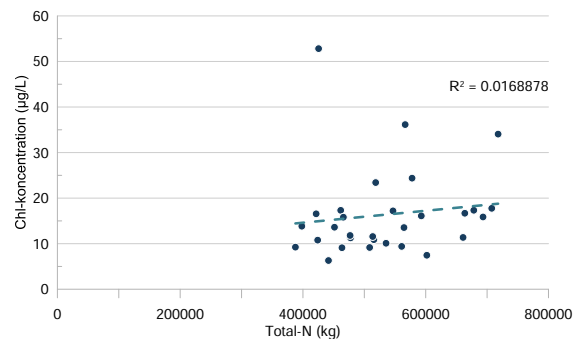
Figur 4.8 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandene 3741+3742+3743+3747 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1 meter) ved målestation 93740007 i Skive Fjord fra 1990-2019.



Figur 4.9 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 3741+3742+3743+3747 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1 meter) ved målestation 93740007 i Skive Fjord fra 1990-2019.



Figur 4.10 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 3741+3742+3743+3747 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i toppen af vandsøjlen (≤1 meter) ved målestation 93740007 i Skive Fjord fra 1990-2019.



Figur 4.11 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandene 3741+3742+3743+3747 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤1 meter) ved målestation 93740007 i Skive Fjord fra 1990-2019.



# Domineret af intern belastning uden lagdeling

# 5

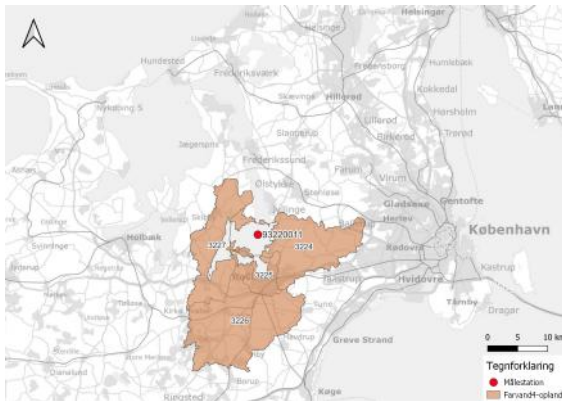
Intro.....



**Figur 5.1** Forsimplet illustration af et fjordsystem, som er domineret af intern belastning uden lagdeling. Den fjord som i analysen kan klassificeres således er Roskilde Fjord.

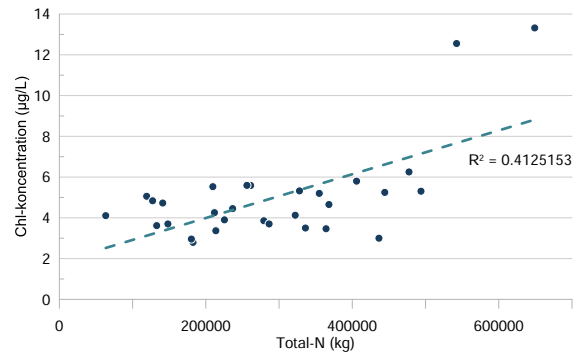
### 5.1 Roskilde Inderfjord

Roskilde Fjord består af en snæver ydre del og en mere åben indre del. Vandudskiftet er beregnet til at være cirka 3 uger (Nielsen, 2022a). Det meste af Roskilde Fjord er relativ lavvandet med en god og konstant opblanding af vandsøjlen, hvorfor hverken lagdeling eller iltsvind i fjorden forekommer hyppigt. I analysen indgår den indre del af fjorden med målestationen 93220011 og tilhørende farvand4-oplande 3224+3225+3226+3227, se figur 5.2. Analysen af Roskilde Fjord er lavet både med og uden årene 1994 og 1995. Dette skyldes at årene har en stærk påvirkning på sammenhængen mellem data.

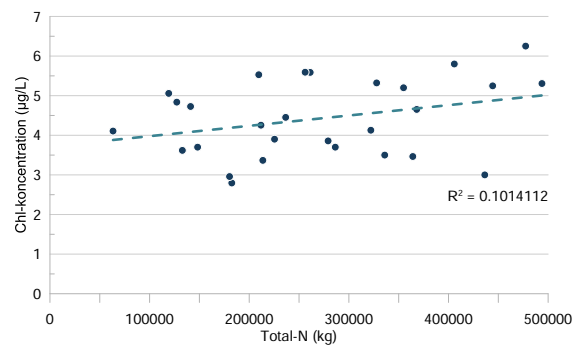


Figur 5.2 Kort over målestation for klorofylkoncentration og Farvand4-oplande for kvælstoftilførsel til Roskilde Fjord indre.

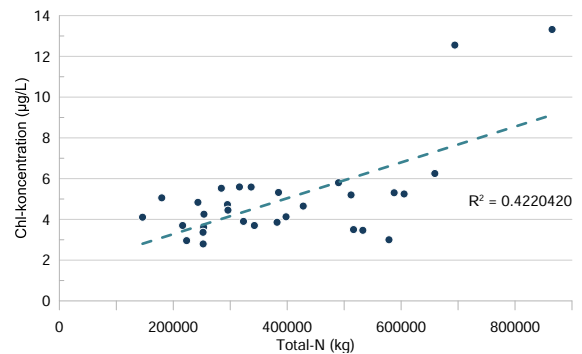
Vinterens tilførsel af kvælstof korreleret med sommerens klorofylniveau giver ved første øjekast en ret fornuftig  $R^2$  på lige over 0,4, se figur 5.3. Men når årene 1994 og 1995 fjernes fra analysen, ses en betydelig dårligere sammenhæng mellem data på kun  $R^2=0,1$ , se figur 5.4. En lavere sammenhæng mellem vinterens afstrømning og sommeren klorofyl giver også god mening, da med et vandudskifte på 3 uger i fjorden, må man forvente af at vinterens afstrømning af næringsstoffer må forventes at være ude i Kattegat inden sommeren algeopblomstring. Samme tendens gør sig gældende når man kigger på sammenhængen mellem kvælstoftilførslen fra januar-september og klorofylkoncentrationen fra maj-september, se figurerne figur 5.5 og figur 5.6.



Figur 5.3 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandene 3224+3225+3226+3227 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤2,5 meter) ved målestation 93220011 i Roskilde Inderfjord fra 1990-2019.

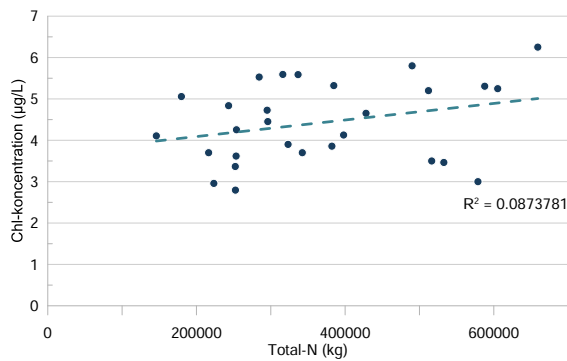


Figur 5.4 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandene 3224+3225+3226+3227 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤2,5 meter) ved målestation 93220011 i Roskilde Inderfjord fra 1990-2019 uden årene 1994 og 1995.



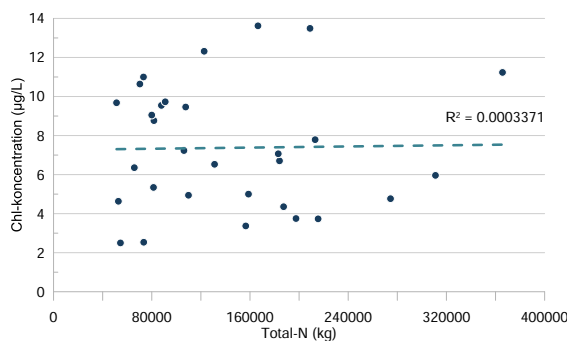
Figur 5.5 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 3224+3225+3226+3227 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤2,5 meter) ved målestation 93220011 i Roskilde Inderfjord fra 1990-2019.

## 5. Domineret af intern belastning uden lagdeling

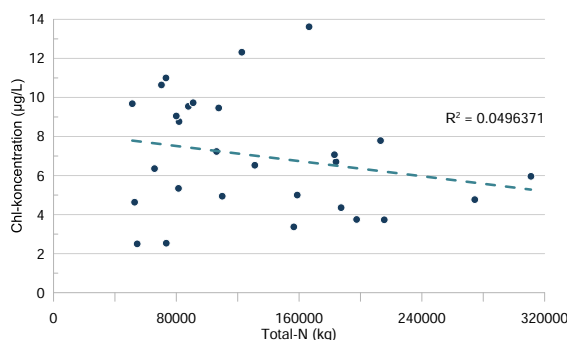


**Figur 5.6** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 3224+3225+3226+3227 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤2,5 meter) ved målestation 93220011 i Roskilde Inderfjord fra 1990-2019 uden årene 1994 og 1995.

En endnu dårligere sammenhæng fåes der når forårets tilførsel af kvælstof til fjorden korreleres med forårets klorofyl, ligegyldigt om årene 1994 og 1995 er med i analysen. Se figurene figur 5.7 og figur 5.8. Forårets kvælstoftilførsel ser dermed ud til ingen påvirkning at have på forårets niveau af klorofyl.



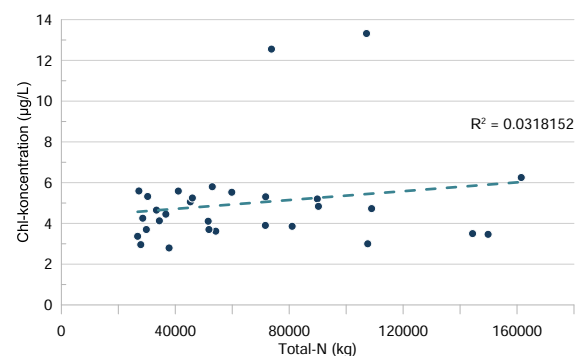
**Figur 5.7** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 3224+3225+3226+3227 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i toppen af vandsøjlen (≤2,5 meter) ved målestation 93220011 i Roskilde Inderfjord fra 1990-2019.



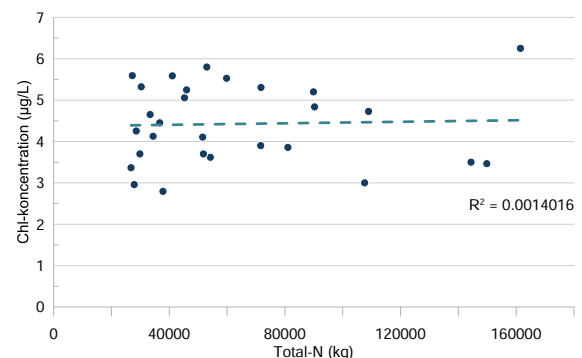
**Figur 5.8** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 3224+3225+3226+3227 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i toppen af vandsøjlen (≤2,5 meter) ved målestation 93220011 i Roskilde Inderfjord fra 1990-2019 uden årene 1994 og 1995.

Om sommeren kan man i fjorden forvente bedre sammenhæng mellem tilførslen af kvælstof og fjordens kl-

orofyl, da opholdstiden i fjorden er længere om sommeren end om vinteren, hvorfor næringsstofferne opholder sig længere tid i fjorden. Dog viser analysen, at der er en ikke eksisterende sammenhæng mellem sommerens kvælstofpåvirkning og klorofylkoncentrationen, uafhængig af om årene 1994 og 1995 er inkluderet - se figur 5.9 og figur 5.10. Dette kan formentlig skyldes, at vinterens tilførsel af organisk kvælstof og fosfor i højere grad aflejres på fjordbunden til trods for et hurtigt vandudskifte om vinteren, og i takt med at temperaturen stiger vil disse næringsstoffer frigives til vandsøjlen og give algevækst.



**Figur 5.9** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandene 3224+3225+3226+3227 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤2,5 meter) ved målestation 93220011 i Roskilde Inderfjord fra 1990-2019.

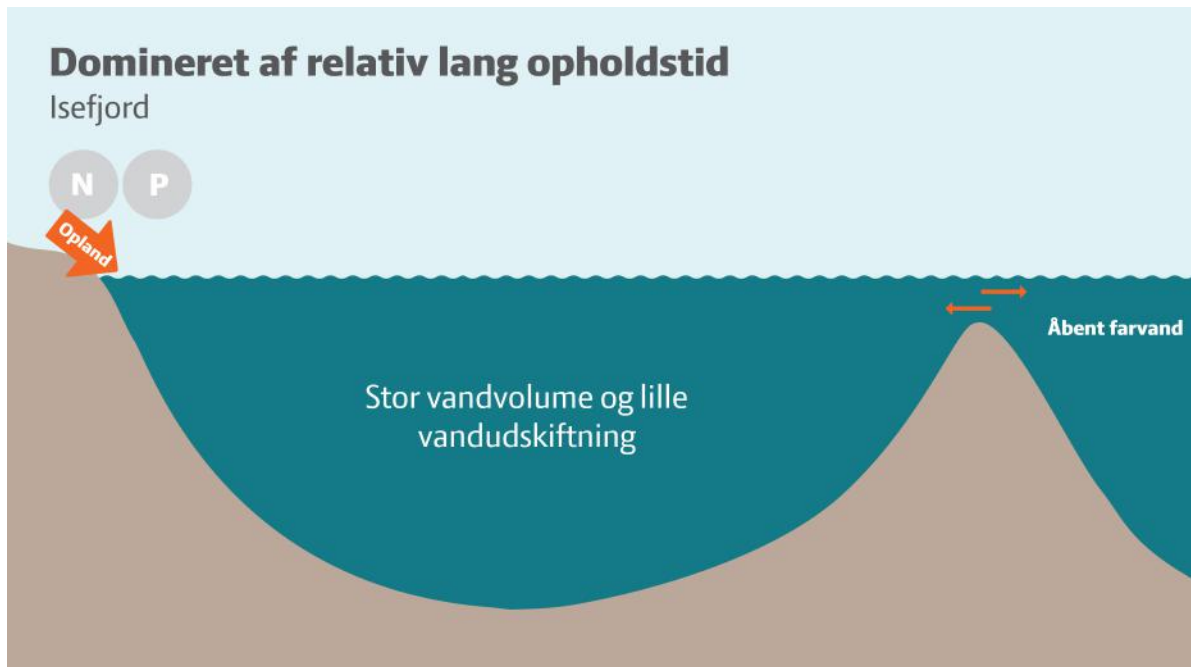


**Figur 5.10** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandene 3224+3225+3226+3227 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤2,5 meter) ved målestation 93220011 i Roskilde Inderfjord fra 1990-2019 uden årene 1994 og 1995.

# Domineret af relativ lang opholdstid

# 6

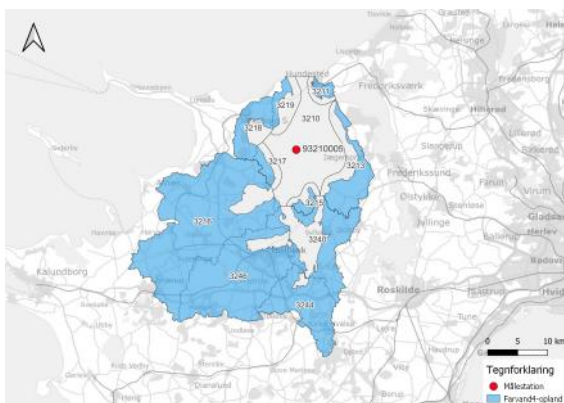
En forsimplet illustration af fjorde der kan karakteriseres som domineret af relativ lang opholdstid ses som en forsimplet illustration i figur 6.1. En lang opholdstid kan forårsages af flere faktorer, men i denne rapport fokuseres der på fjorde, hvor den relative lange opholdstid skyldes et stort vandvolumen. Den fjord som i analysen kan klassificeres som en fjord domineret af lang opholdstid er Isefjord. Isefjord er en relativ stor fjord med et stort vandvolumen. Fjorden er oftest velblandet og derfor ses der typisk ingen lagdeling. At fjorden er så dyb og bred har afgørende betydning for vandudskiftet i fjorden, og man kan nærmest kalde det en tærskel der forsinker vandudskiftet med Kattegat.



Figur 6.1 Forsimplet illustration af et fjordsystem, som er domineret af relativ lang opholdstid. Den fjord som i analysen kan klassificeres således er Isefjord.

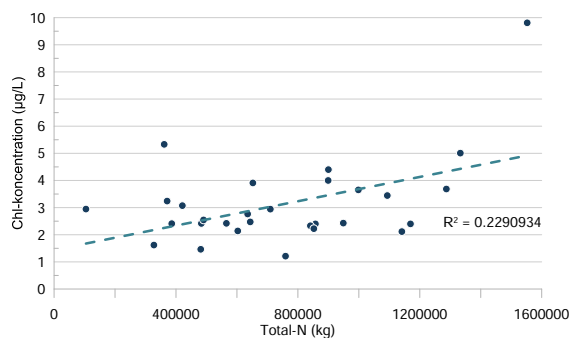
## 6.1 Isefjord

Der indgår klorofylldata for Isefjord ydre i analysen fra målestation 93210005 og tilhørende farvand4-oplande 3210, 3211, 3213, 3215, 3216, 3217, 3218, 3219, 3240, 3244 og 3246. Det er både farvand4-oplande til indre og ydre fjord der indgår i analysen. Se målestation og farvand4-oplande i figur 6.2.

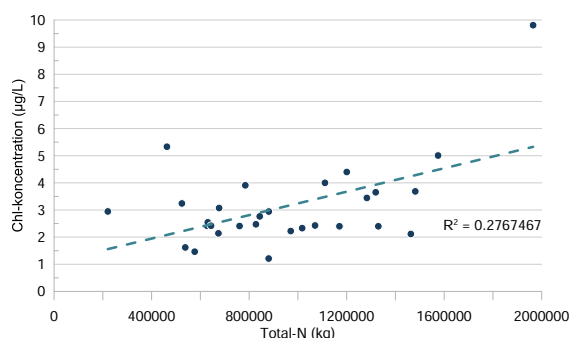


Figur 6.2 Kort over målestation for klorofylkoncentration og Farvand4-oplande for kvælstoftilførsel til Isefjord ydre.

Sammenhængen mellem vinterens tilførsel af kvælstof og sommerens klorofylkoncentration i indre Isefjord har en  $R^2$  på 0,23 fra 1990-2019, hvilket kan tolkes som at vinterens afstrømning kan forklare lidt af sommerens klorofylniveau. Se figur 6.3. Dog ligger året 1994 som en outlier i højre hjørne, og når dette år udelades i analysen bliver  $R^2$  næsten lig med 0, hvilket indikerer at vinterens afstrømning i endnu mindre grad har betydning for klorofylkoncentrationen om sommeren i fjorden. Vandudskiftet i Isefjord er om vinteren estimeret til at være cirka to måneder (Nielsen, 2022a) og betyder, at vinterens kvælstoftilførsel fra land oftest er ude af fjorden inden opblomstring af klorofyl om sommeren og kan forklare den dårlige sammenhæng mellem vinterens kvælstof og sommerens klorofyl. Samme mønster gør sig gældende når summen af kvælstof fra januar-september korreleres med sommerens klorofyl, se figur 6.4.

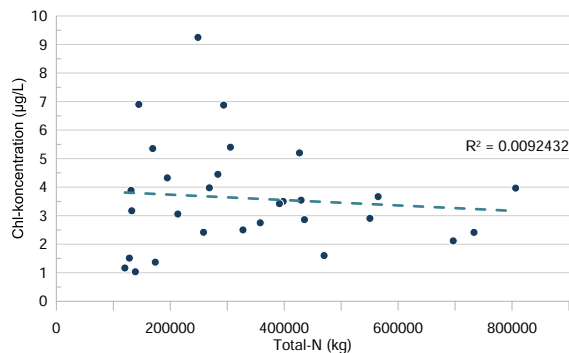


Figur 6.3 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandene 3210+3211+3213+3215+3216+3217+3218+3219+3240+3244+3246 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤4 meter) ved målestation 93210005 i ydre Isefjord fra 1990-2019.



Figur 6.4 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 3210+3211+3213+3215+3216+3217+3218+3219+3240+3244+3246 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤4 meter) ved målestation 93210005 i ydre Isefjord fra 1990-2019.

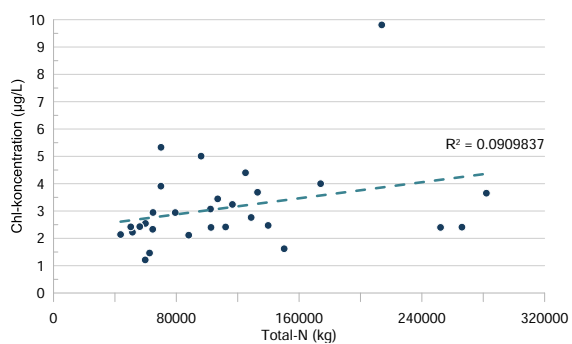
Når både forårets og sommerens tilførsel af kvælstof korreleres med klorofyl ses heller ingen sammenhæng mellem data med begge  $R^2$ -værdier tæt ved 0. Når outlieren 1994 fjernes er  $R^2$  ikke synderligt uændret og stadig lig 0. Se figur 6.5 og figur 6.6. I en fjord med så lang opholdstid om sommeren ville det ellers være forventeligt med en sammenhæng mellem sommerens kvælstof og klorofyl.



Figur 6.5 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 3210+3211+3213+3215+3216+3217+3218+3219+3240+3244+3246 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i toppen af vandsøjlen (≤4 meter) ved målestation 93210005 i ydre Isefjord fra 1990-2019.

## 6. Domineret af relativ lang opholdstid

---

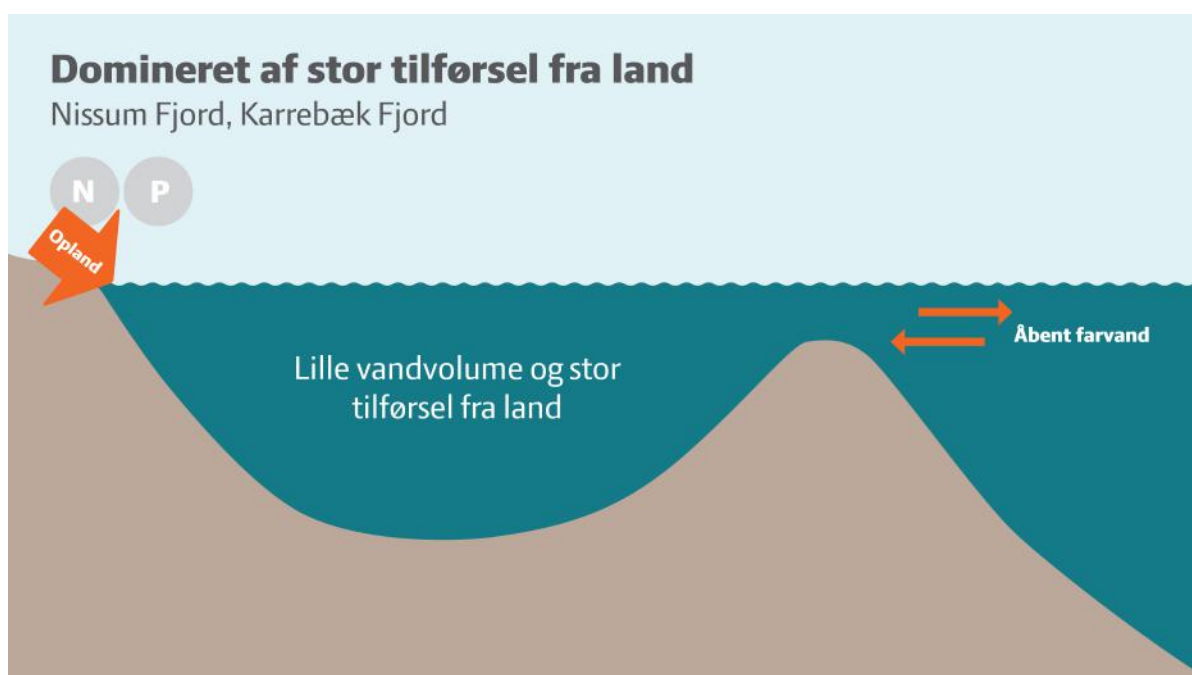


**Figur 6.6** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandene 3210+3211+3213+3215+3216+3217+3218+3219+3240+3244+3246 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤4 meter) ved målestation 93210005 i ydre Isefjord fra 1990-2019.

# Domineret af stor tilførsel fra land

# 7

Fjorde hvis system er domineret af stor tilførsel fra land er i analysen klassificeret som fjorde med et relativt lille vandvolumen i forhold til det betydelig store opland der afvander til fjorden. Se en forsimplet illustration på figur 7.1. Dermed vil næringsstofpåvirkningen fra land have større betydning for fjorden når vandvolumet er småt. Nissum Fjord og Karrebæk Fjord karakteriseres som fjorde domineret af stor tilførsel fra land i denne analyse. Begge fjorde er lavvandet og laguneagtige. Om vinterne har begge fjorde, men især Karrebæk Fjord et hurtigt vandudskifte på blot 10 dage.

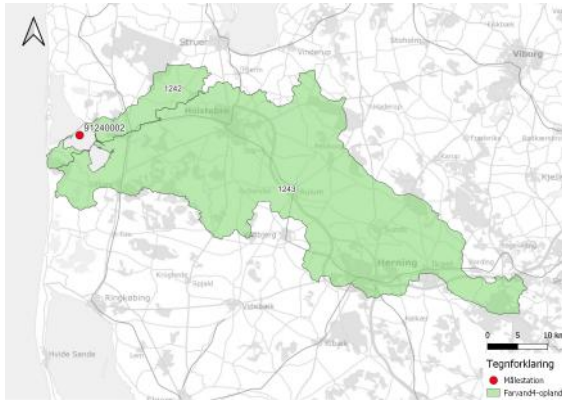


**Figur 7.1** Forsimplet illustration af et fjordsystem, som er domineret af stor tilførsel fra land. De fjorde som i analysen kan klassificeres således er Nissum Fjord og Hjarbæk Fjord.



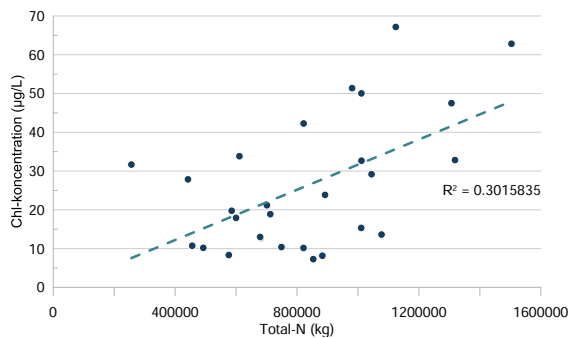
### 7.1 Nissum Mellemfjord

I analysen indgår Nissum Mellemfjord med målestationen 91240002 og tilhørende farvand4-oplande 1242+1243 der er oplandet til mellemfjorden og den indre Felsted Kog, se figur 7.2.

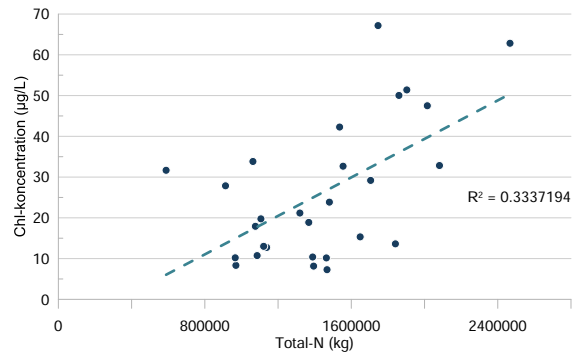


Figur 7.2 Kort over målestation for klorofylkoncentration og Farvand4-oplande for kvælstoftilførsel til Nissum Fjord mellem

Sammenhængen mellem vinterens tilførsel af kvælstof og sommerens klorofylkoncentration ses i figur 7.3. Her ses en  $R^2$  på 0,3, hvilket fortæller at vinterens kvælstof til en hvis grad kan forklare sommerens klorofylniveau, da 0,3 ikke anses for at være en dårlig sammenhæng, men heller ikke god. Fjordens hurtige vandudskifte om vinteren kan forklare hvorfor, at vinterens næringsstofftilførsel fra land ikke kan beskrive hele sommerens klorofylniveau, men kun  $R^2$  på 0,3. Samme sammenhængstendenser ses for figur 7.4.

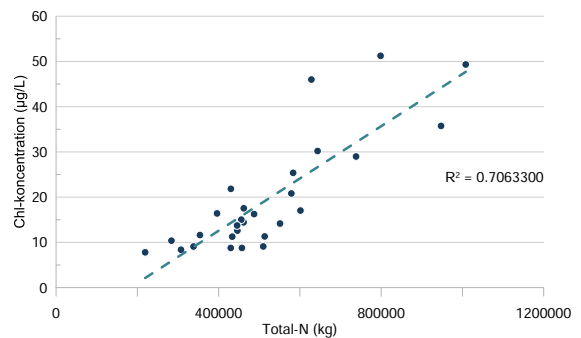


Figur 7.3 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandene 1242+1243 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjlen ved målestation 91240002 i Nissum Mellemfjord fra 1990-2019.



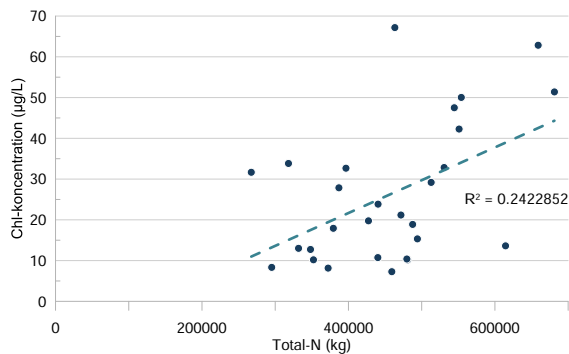
Figur 7.4 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 1242+1243 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjlen ved målestation 91240002 i Nissum Mellemfjord fra 1990-2019.

Tilgængæld viser analysen, at forårets kvælstoftilførsel har stor påvirkning på forårets klorofylkoncentration med en  $R^2$  på hele 0,7. Derfor må man antage at forårets kvælstofpåvirkning har betydning for forårets algeopblomstring. Til at kunne forstå dynamikken mellem næringsstoffer og klorofyl i foråret er fosfor også inkluderet i analysen. Når forårets kvælstoftilførsel korreleres med forårets fosfortilførsel ser vi en god sammenhæng, se figur 7.7. Derfor må man også antage, at når kvælstof og fosfor følger samme udvikling hen over årene, at fosfor også har en udemærket sammenhæng til klorofyl om foråret. På figur 7.8 ser vi også, at sammenhængen mellem forårets fosfortilførsel og forårets klorofylniveau har en  $R^2$  på 0,4, og man må kunne konkluderes at fosfor dermed også kan forklare noget af forårets klorofylkoncentration sammen med kvælstof.

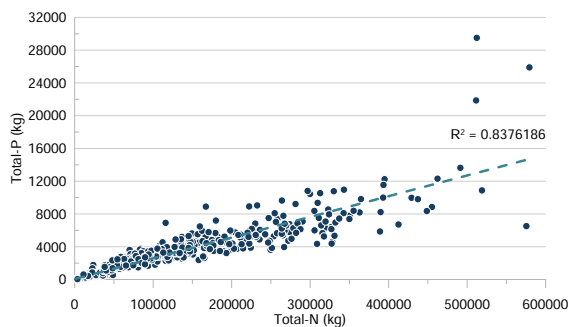


Figur 7.5 Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 1242+1243 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i hele vandsøjlen ved målestation 91240002 i Nissum Mellemfjord fra 1990-2019.

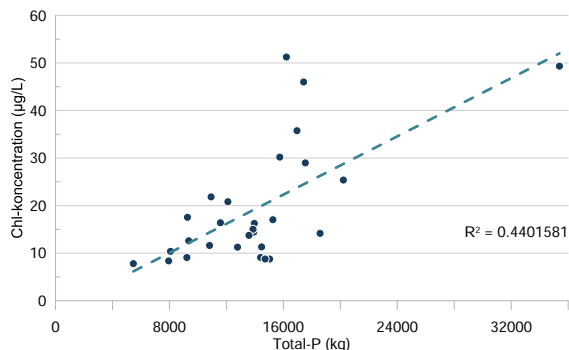
## 7. Domineret af stor tilførsel fra land



**Figur 7.6** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandene 1242+1243 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjlen ved målestation 91240002 i Nissum Mellemfjord fra 1990-2019.



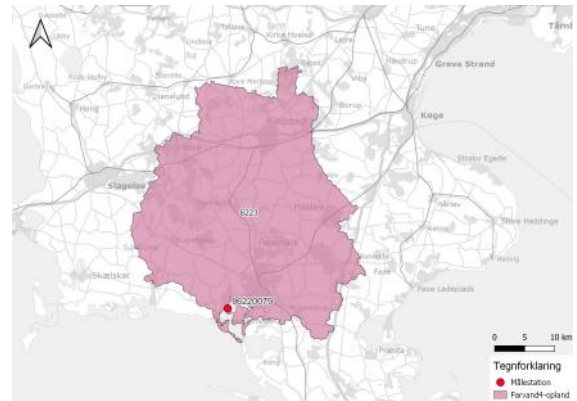
**Figur 7.7** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj og summen af fosfortilførslen (total P i kg) fra marts-maj i Nissum Mellemfjord fra 1990-2019.



**Figur 7.8** Sammenhængen mellem summen af fosfortilførslen (total P i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 1242+1243 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i hele vandsøjlen ved målestation 91240002 i Nissum Mellemfjord fra 1990-2019.

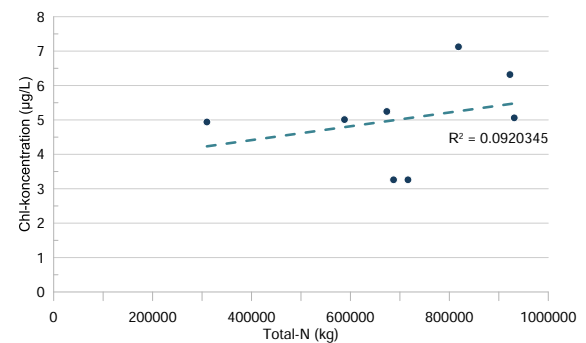
## 7.2 Karrebæk Fjord

For Karrebæk Fjord indgår målestation 96220079 og tilhørende store farvand4-opland 6223 i perioden 2011-2019 i analysen, se figur 7.9. Desværre er klorofylldata for Karrebæk Fjord sparsomt før 2011, at analysen kun kan laves efter 2011.



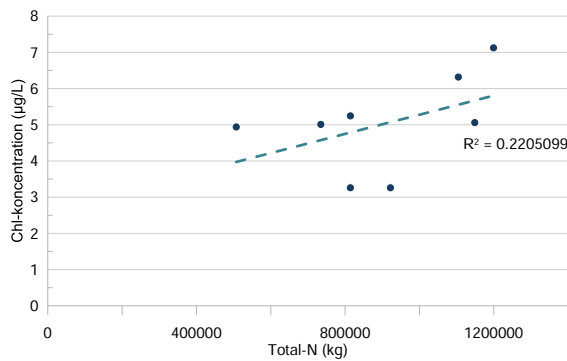
**Figur 7.9** Kort over målestation for klorofylkoncentration og Farvand4-oplande for kvælstoftilførsel til Karrebæk Fjord.

På figur 7.10 ses ingen sammenhæng mellem vinterens tilførsel af kvælstof til Karrebæk Fjord og sommerens klorofylniveau med en  $R^2$  nærmest lige 0. Ikke overraskende da med vinterens hurtige vandudskiftning må det være forventeligt, at størstedelen af oplandets tilførte kvælstof om vinteren vil være ude af fjorden inden det får betydning for sommerens klorofylniveau. Lidt bedre sammenhæng ses der når januar-september kvælstof korreleres med sommerklorofyl i figur 7.11 med en  $R^2$  på 0,22, og er sandsynligvis et udtryk for at sommerens tilførsel har betydning for fjorden.

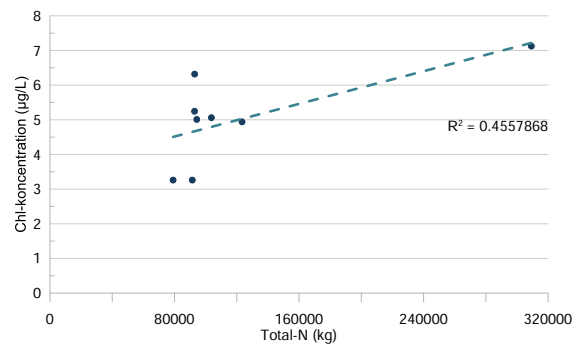


**Figur 7.10** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandet 6223 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjlen ved målestation 96220079 i Karrebæk Fjord fra 2011-2019.

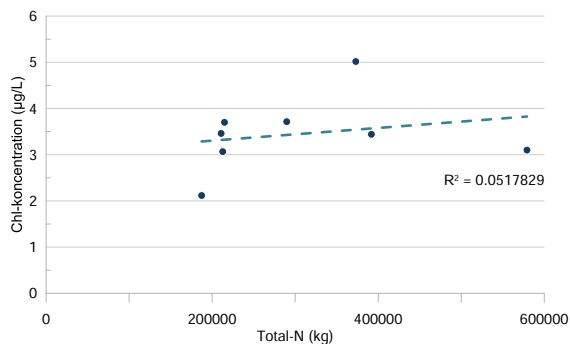
## 7. Domineret af stor tilførsel fra land



**Figur 7.11** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandet 6223 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjlen ved målestation 96220079 i Karrebæk Fjord fra 2011-2019.



**Figur 7.13** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandet 6223 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjlen ved målestation 96220079 i Karrebæk Fjord fra 2011-2019.

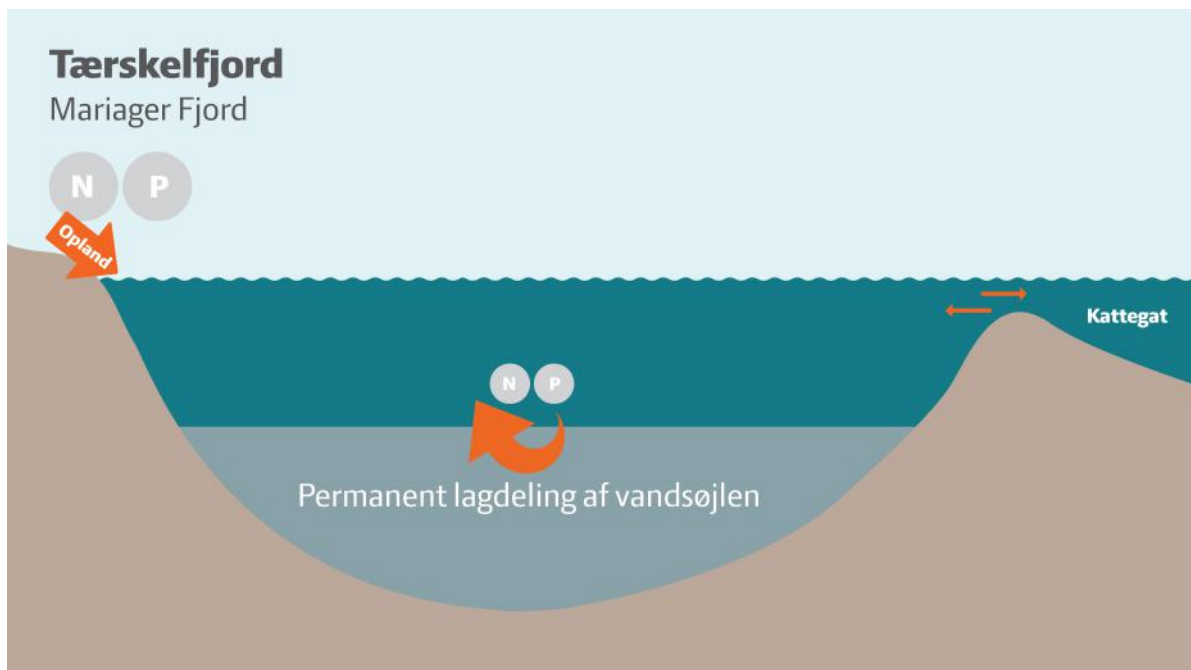


**Figur 7.12** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandet 6223 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i hele vandsøjlen ved målestation 96220079 i Karrebæk Fjord fra 2011-2019.

Når sommerens kvælstoftilførsel korreleres med sommerens klorofylniveau ses en markant bedre  $R^2$  på 0,45, se figur 7.13. Dog hvis 2011, der ligger som en outlier til højre på grafen, fjernes, er  $R^2$  knap så god på 0,13. Dog er året 2011 værd at kigge lidt videre på for at forstå sommerens sammenhæng mellem kvælstof og klorofyl. Drænene løber normalvis ikke om sommeren til Karrebæk Fjord, men lige præcis i 2011 løb drænene, hvorfor datapunktet også er en outlier da året adskiller sig fra de andre års relative stabile kvælstoftilførsel. Derfor viser 2011 også, at når drænene løber og dermed tilfører kvælstof til Karrebæk Fjord så reagerer fjorden med en høj klorofylkoncentration. Derfor må vi antage, at sommerens tilførsel har betydning for sommerens klorofylniveau.

Fjorde der kan betegnes som tærskelfjorde har fællestrækkene at fjordbassinet er dybt, men har en lav udmunding til tilstødende farvand der danner en slags tærskel mellem fjord og farvand. Tærsklen påvirker vandudskiftet og oftest også opblanding af vandsøjlen i fjorden, da det mindre vandudskifte med tilstødende farvand ikke når ned og fornyer bundvandet i det dybe fjordbassin.

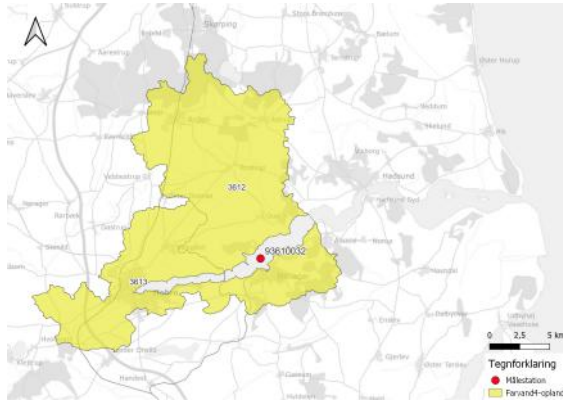
Mariager Fjord er et kendt eksempel på en tærskelfjord i Danmark. Tærsklen gør at der transporteres lidt salint vand ind fra Kattegat, men ikke nok vand til at bundvandet fornyes. Derfor skabes der en lagdeling mellem top og bund i det dybe fjordbassin. Samtidig er fjordens så dyb, at en vindpåvirkning ikke er nok til at opløse lagdelingen, som man ellers oftest ser i lagdelte fjorde om vinteren. Derfor kan man sige, at der mere eller mindre er tale om en permanent lagdeling af vandsøjlen i Mariager Fjord. Se figur 8.1 for en forsimplet illustration af en tærskelfjord.



Figur 8.1 Forsimplet illustration af et fjordsystem, som er en tærskelfjord. Den fjord som i analysen kan klassificeres således er Mariager Fjord.

### 8.1 Mariager Fjord

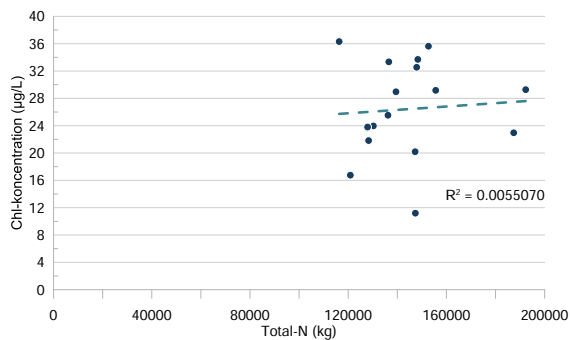
For Mariager Fjord indgår målestation 93610032 og tilhørende farvand4-oplande 3612+3613 i perioden 2002-2019 i analysen, se figur 8.2.



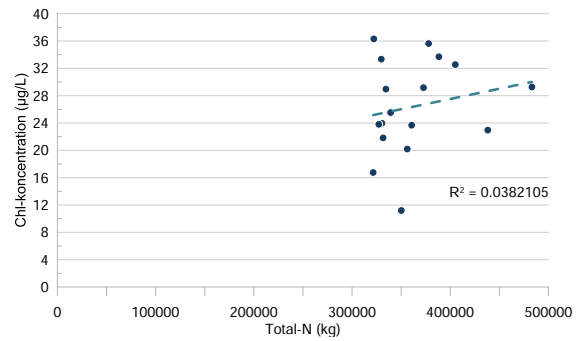
**Figur 8.2** Kort over målestation for klorofylkoncentration og Farvand4-oplande for kvælstoftilførsel til Mariager Fjord

Når både vinterens og sommerens tilførsel af kvælstof korreleres med sommerens klorofylkoncentration findes der ingen sammenhæng med  $R^2$  tæt ved 0 i begge tilfælde, se figur 8.3 og figur 8.6. Samme gør sig gældende når januar-september kvælstoftilførslen korreleres med sommerens klorofyl, se figur 8.4.

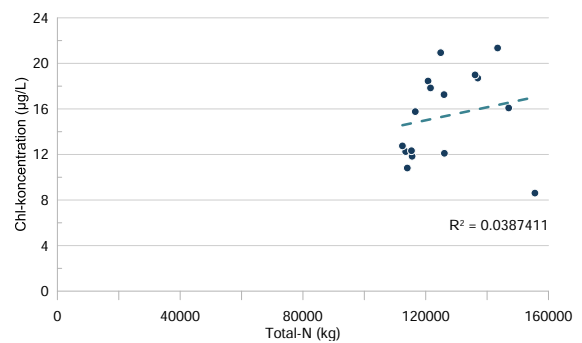
Når fjorden er permanent lagdelt vil det om sommerens oftest betyde iltsvind, og derfor må der antages, at fjordens klorofylniveau påvirkes af den konstante næringsstofftilførsel fra bundlaget i stedet for den direkte næringsstofpåvirkning fra land. Det samme må gøre sig gældende for forårsopblomstringen af alger, da forårets tilførsel korreleret med forårets klorofylniveau og så har en  $R^2$  tæt ved 0, se figur 8.5.



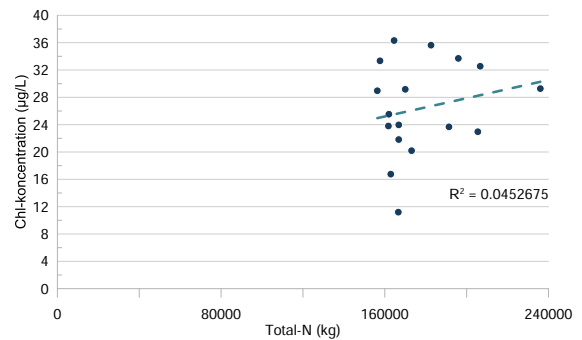
**Figur 8.3** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandene 3612+3613 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤5 meter) ved målestation 93610032 i Mariager Inderfjord fra 2002-2019.



**Figur 8.4** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 3612+3613 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤5 meter) ved målestation 93610032 i Mariager Inderfjord fra 2002-2019.



**Figur 8.5** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 3612+3613 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i toppen af vandsøjlen (≤5 meter) ved målestation 93610032 i Mariager Inderfjord fra 2002-2019.

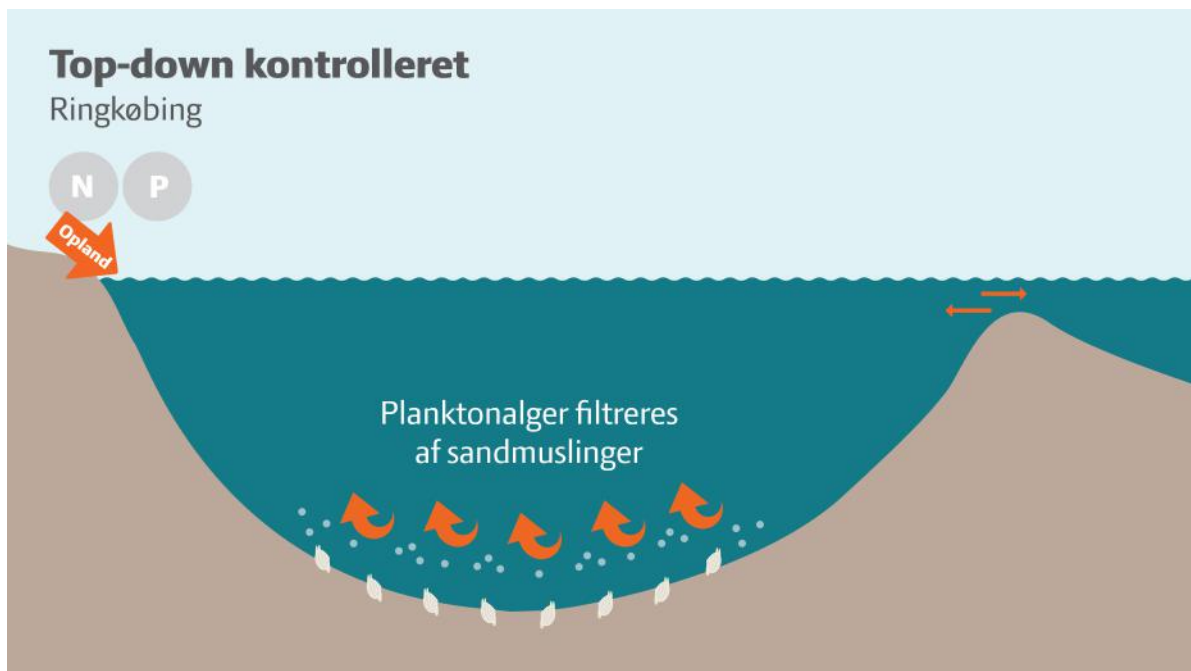


**Figur 8.6** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandene 3612+3613 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i toppen af vandsøjlen (≤5 meter) ved målestation 93610032 i Mariager Inderfjord fra 2002-2019.

# Top-down kontrolleret

# 9

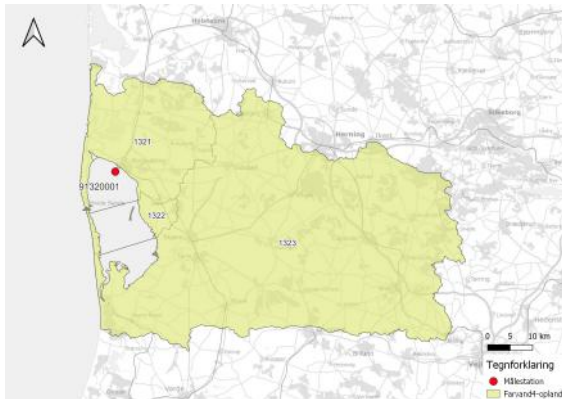
Når en fjord er top-down kontrolleret betyder det, at tilstedeværelsen af en organisme nøglestyrer tilstanden af fjorden. Ringkøbing Fjord er et godt eksempel på en top-down kontrolleret fjord. Ringkøbing Fjord er en slusefjord, hvor fjordens vandudskifte med Vesterhavet reguleres af slusepraksis. Fjorden er lavvandet og med god opblanding på grund af relativ stor vindpåvirkning. Fjorden er top-down kontrolleret fordi fjorden i 1997 blev koloniseret af sandmuslingen, der filtrerer hele fjorden og dermed styrer planktonalgekoncentrationen. Se figur 9.1 for en forsimplet illustration af en top-down kontrolleret fjord.



**Figur 9.1** Forsimplet illustration af et fjordsystem, som er top-down kontrolleret. Den fjord som i analysen kan klassificeres således er Ringkøbing Fjord.

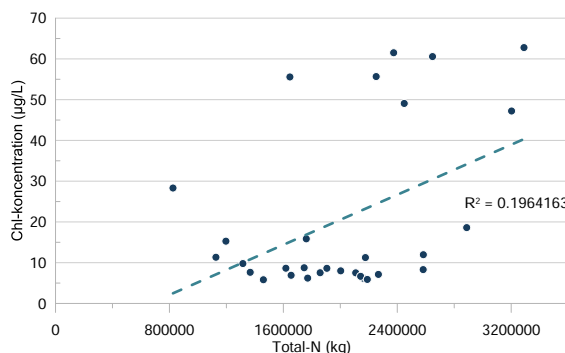
### 9.1 Ringkøbing Fjord

I analysen af Ringkøbing Fjord indgår målestationen 91320001 i det nordlige af fjorden og alle tre farvand4-oplande 1321+1322+1323 til fjorden. Se målestation og farvand4-oplande i figur 9.2. I 1997 blev Ringkøbing Fjord koloniseret af sandmuslingen og der indgår derfor to forskellige måleperioder i analysen: perioden 1990-2019 og perioden efter kolonisering 1998-2019.

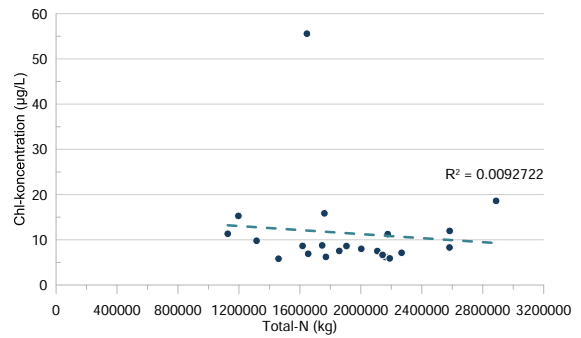


**Figur 9.2** Kort over målestation for klorofylkoncentration og Farvand4-oplande for kvælstofforførsel til Ringkøbing Fjord.

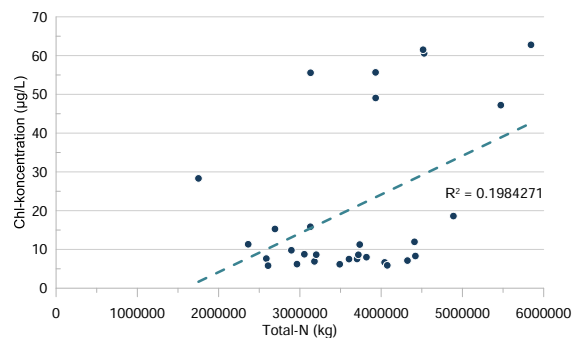
Når der ses på sammenhængen mellem vinterens tilførsel af kvælstof og sommerens klorofylniveau i figur 9.3 ses en  $R^2$  på lige knap 0,2, men samtidig ses der også at data omkring tendenslinjen er meget spredt og nærmest opdelt i to. Så dermed ikke en tydelig god sammenhæng mellem kvælstof og klorofyl. Hvis man derimod ser på sammenhængen efter introduktion af sandmuslingen, figur 9.4, ser man en endnu dårlige sammenhæng mellem vinterens afstrømning og sommerens klorofyl med en  $R^2$  lig 0. Hvis outlieren midt på grafen fjernes vil dette ikke give en bedre  $R^2$ . Samme tendens ser vi også for figur 9.5 og figur 9.6.



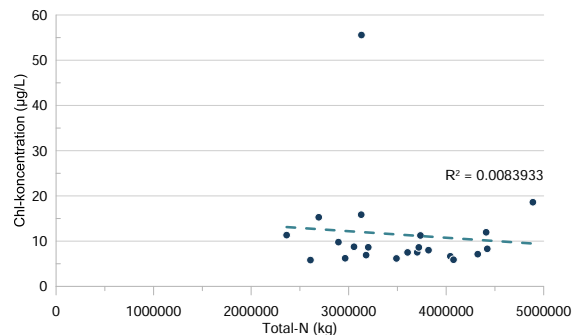
**Figur 9.3** Sammenhængen mellem summen af kvælstofforførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandene 1321+1322+1323 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjen ved målestation 91320001 i Ringkøbing Fjord fra 1990-2019.



**Figur 9.4** Sammenhængen mellem summen af kvælstofforførslen (total N i kg) fra januar-marts fra farvand4-oplandene 1321+1322+1323 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjen ved målestation 91320001 i Ringkøbing Fjord fra 1998-2019.



**Figur 9.5** Sammenhængen mellem summen af kvælstofforførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 1321+1322+1323 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjen ved målestation 91320001 i Ringkøbing Fjord fra 1990-2019.

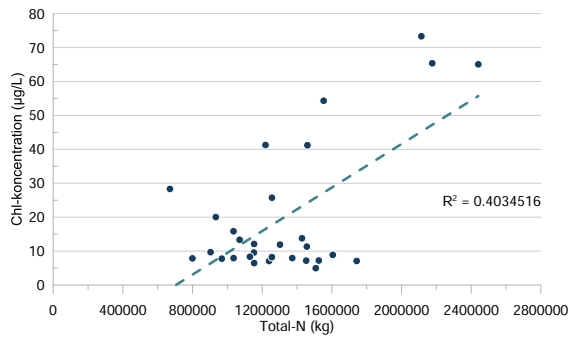


**Figur 9.6** Sammenhængen mellem summen af kvælstofforførslen (total N i kg) fra januar-september fra farvand4-oplandene 1321+1322+1323 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjen ved målestation 91320001 i Ringkøbing Fjord fra 1998-2019.

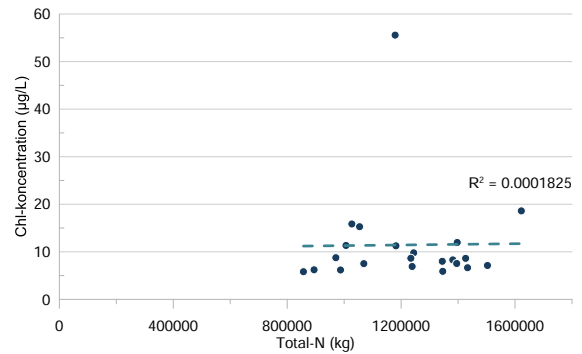
Når forårets kvælstof korreleres med forårets klorofyl ser vi igen samme tendens, da  $R^2$  viser sig at være  $R^2$  på 0,4 (figur 9.7) i perioden 1990-2019, mens at sammenhængen går i 0 efter sandmuslingens introduktion i fjorden, se figur 9.8.



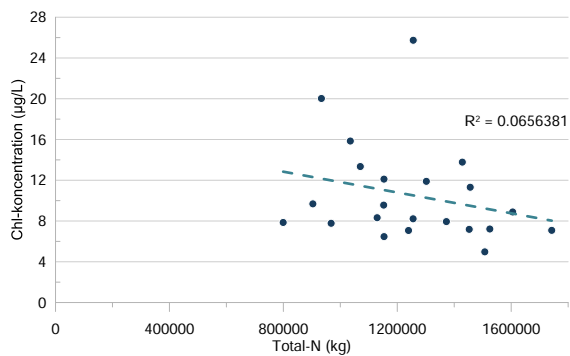
## 9. Top-down kontrolleret



**Figur 9.7** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 1321+1322+1323 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i hele vandsøjlen ved målestation 91320001 i Ringkøbing Fjord fra 1990-2019.

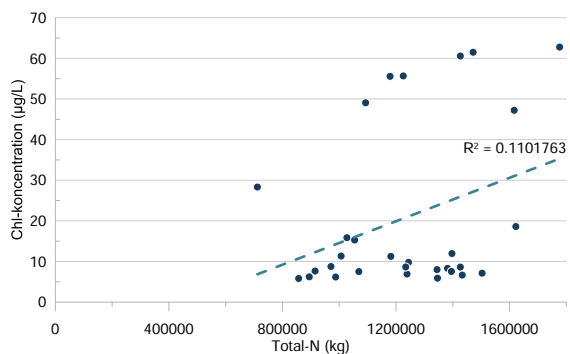


**Figur 9.10** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandene 1321+1322+1323 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjlen ved målestation 91320001 i Ringkøbing Fjord fra 1998-2019.



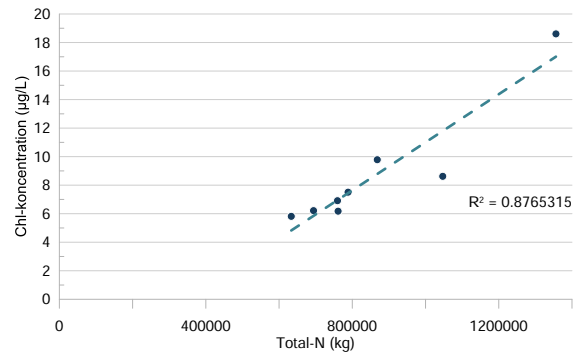
**Figur 9.8** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra marts-maj fra farvand4-oplandene 1321+1322+1323 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra marts-maj i hele vandsøjlen ved målestation 91320001 i Ringkøbing Fjord fra 1998-2019.

Når vi ser på sammenhængen mellem sommerens tilførsel af kvælstof og sommerens klorofylkoncentration, så ser vi en knap så god sammenhæng i perioden 1990-2019 (se figur 9.9, og en endnu dårligere sammenhæng i perioden efter 1998 (se figur 9.10).



**Figur 9.9** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-september fra farvand4-oplandene 1321+1322+1323 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjlen ved målestation 91320001 i Ringkøbing Fjord fra 1990-2019.

Når alle korrelationer viser absolut ingen sammenhæng mellem kvælstof og klorofyl når analysen laves fra 1998-2019 indikerer det, at klorofyl styres af en anden faktor, nemlig sandmuslingens filtration. Dog er det sådan, at så længe at pumpen ikke styres på baggrund af at skulle opretholde en stabil sandmuslinge population, så vil der være tider, hvor sandmuslingens filtration er så lav, at man godt kan finde en god sammenhæng mellem kvælstoftilførsel og klorofylkoncentration. Eksempelvis er der i figur 9.11, hvor korrelationen er lavet mellem kvælstoftilførslen fra maj-august og klorofylkoncentrationen maj-september, fundet en god sammenhæng mellem data med en  $R^2$  på hele 0,88.



**Figur 9.11** Sammenhængen mellem summen af kvælstoftilførslen (total N i kg) fra maj-august fra farvand4-oplandene 1321+1322+1323 og den gennemsnitlige klorofylkoncentration (µg/l) fra maj-september i hele vandsøjlen ved målestation 91320001 i Ringkøbing Fjord fra 2007-2014.



# REFERENCER

---

11

(Nielsen, 2022a) (ROSKILDE+ISE)

(Nielsen, 2022b) (Nissum)

# KONTAKT OS

## **Flemming Gertz**

Chefkonsulent

M +45 30 92 17 63

E [flg@seges.dk](mailto:flg@seges.dk)



## **Line Kolding Thostrup**

Miljøkonsulent

M +45 30 27 28 30

E [likt@seges.dk](mailto:likt@seges.dk)



**SEGES**  
**INNOVATION**