
Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. xxx, 2024

Vandløb 2023

Bentiske kiselalger

Juan Pablo Pacheco Esnal og Søren Erik Larsen

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

Udkast

Revision:

Datablad

Serietitel og nummer: Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. xxx

Kategori: Rådgivningsrapporter

Titel: Vandløb 2023
Undertitel: Bentske kiselalger

Forfatter: Juan Pablo Pacheco Esnal og Søren Erik Larsen
Institution: Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

Udgiver: Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL: <http://dce.au.dk>

Udgivelsesår: Måned 2024
Redaktion afsluttet: Oktober 2024

Faglig kommentering: Christian Kjær
Kvalitetssikring, DCE: Maj-Britt Andersen Bjergager
Sproglig kvalitetssikring: Anne Mette Poulsen

Ekstern kommentering: [xxxxxxxxx](http://dce2.au.dk/pub/komm/N2020_xxx_komm.pdf). Kommentarerne findes her:
http://dce2.au.dk/pub/komm/N2020_xxx_komm.pdf

Finansiel støtte: Ingen ekstern finansiering

Bedes citeret: Esnal, J.P.P. og S. E. Larsen 2024. Vandløb 2023. Bentske Kiselalger. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, xx s. - Teknisk rapport nr. [xxx](http://dce2.au.dk/pub/TRxxx.pdf)
<http://dce2.au.dk/pub/TRxxx.pdf>

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning: Dette års rapport beskriver status og relationen til vandkemiske forhold i vandløb for indeks for bentske kiselalger SID_TID med data for perioden 2013-2022

Emneord: Vandløb, overvågning, NOVANA, alkalinitet, kvælstof, fosfor, bentske kiselalger

Foto forside: x

ISBN: 978-87-7156-[xxx-x](#)
ISSN (elektronisk): 2244-999X

Sideantal: 41

Internetversion: Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som
<http://dce2.au.dk/pub/TRxxx.pdf>

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Summary	7
1 Datagrundlag, databehandling og rapportindhold	8
1.1 Om overvågningsprogrammet	8
1.2 Bentiske kiselalger	8
1.3 Datagrundlag	9
2 Den overordnede økologiske tilstand vurderet af det bentiske kiselalgeindeks	11
3 Geografisk fordeling i den økologiske tilstand af vandløb	12
4 Oplandskarakteristika	18
5 Tidsmæssige tendenser	21
5.1 Tidsmæssig variation i SID_TID-indekset og tilknyttede miljøvariable	21
5.2 Tidsmæssige tendenser i SID_TID-indeksets økologiske tilstand på stationerne med årlig prøvetagning	25
6 Sammenhæng mellem det bentiske kiselalgeindeks' økologiske tilstand og miljømæssige variable	29
6.1 Indvirkninger af fysisk-kemiske variable på sammensætningen af kiselalger og regionale forskelle	29
6.2 Indvirkninger af fysisk-kemiske variable på EQR (SID_TID)	35
6.3 Indvirkninger af fysisk-kemiske variable på EQR (SID_TID) i forhold til regionale forskelle	37
7 Diskussion	39
8 Referencer	41

1

Forord

2

Denne rapport udgives af DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet (DCE) som et led i den landsdækkende rapportering af det Nationale program for Overvågning af Vandmiljøet og Naturen (NOVANA). NOVANA er fjerde generation af nationale overvågningsprogrammer, som med udgangspunkt i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram blev iværksat efteråret 1988. Nærværende rapport omfatter data til og med 2022.

3

4

5

6

7

8

Overvågningsprogrammet er målrettet mod at tilvejebringe det nødvendige dokumentations- og videngrundlag til at understøtte Danmarks overvågningsbehov og -forpligtelser, bl.a. i forhold til en række EU-direktiver inden for natur- og miljøområdet. Programmet er løbende tilpasset overvågningsbehovene og omfatter overvågning af tilstand og udvikling i vandmiljøet og naturen, herunder den terrestriske natur og luftkvalitet.

9

10

11

12

13

14

DCE har som en væsentlig opgave for Ministeriet for Grøn Trepert og Miljøministeriet at bidrage med forskningsbaseret rådgivning til styrkelse af det faglige grundlag for miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger. Som led heri forestår DCE med bidrag fra Institut for Ecoscience og Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet, den landsdækkende rapportering af overvågningsprogrammet inden for områderne ferske vande, marine områder, landovervågning, atmosfæren, arter og naturtyper samt miljøfarlige forurenende stoffer.

15

16

17

18

19

20

21

22

I overvågningsprogrammet er der en arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentrene, Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV) og Miljøstyrelsen (MST). Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), fagdatacentret for punktkilder hos SGAV, mens de øvrige fagdatacentre (vandløb, søer, marine områder, landovervågning, arter og naturtyper, atmosfæren og miljøfarlige forurenende stoffer) er placeret hos DCE, Aarhus Universitet. Denne rapport er udarbejdet af Fagdatacenter for vandløbsøkologi. MST har haft mulighed for at kommentere på udkast til rapporten. Rapporten er baseret på data indsamlet af Miljøstyrelsen og diverse konsulenter på vegne af de nævnte offentlige institutioner.

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

Dette års rapport præsenterer data for bentiske kiselalger indsamlet i perioden 2013-2022. Det er første gang, at dette kvalitetselement rapporteres.

34

35

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenter-rapporter i 'Vandmiljø og natur 2023', som udgives i et samarbejde mellem DCE, GEUS og SGAV.

36

37

Sammenfatning

39 Denne rapport præsenterer det benthiske algeindeks (SID-TID) for perioden
40 2013-2022 samt en analyse af dets rumlige og tidsmæssige variation og forholdet
41 til de vigtigste fysisk-kemiske variable i danske vandløb. Resultaterne
42 viser, at tilstanden 'God' eller 'Høj', vurderet ud fra det benthiske algeindeks,
43 er dominerende i perioden, og at cirka en tredjedel af prøvetagningsstationerne
44 falder inden for kategorien 'Moderat'. SID-TID-indekset påvirkes negativt af
45 først og fremmest alkalinitet og i mindre grad af ortofosat (PO_4) og nitrat
46 eller nitrit ($\text{NO}_{2,3}$). SID_TID er forskellig mellem georegioner: Det hænger
47 hovedsageligt sammen med forskelle i alkalinitet og PO_4 . Der er ikke fundet
48 at oplandskarakteristika på SID_TID eller tilknyttede fysisk-kemiske variable
49 var af betydning. Der er ikke observeret tidsmæssige tendenser i SID_TID eller
50 i de tilknyttede fysisk-kemiske variable. Et mere omfattende datasæt med
51 parrede biologiske og fysisk-kemiske data for perioden, sammen med en bredere
52 geografisk fordeling af de overvågningsstationer hvor der er prøvetagning
53 hvert år ('år-år'-overvågningsstationer) ville udgøre et værdifuldt bidrag
54 til at forbedre dataanalysen af mønstrene, der påvirker SID_TID samt de forskellige
55 indvirkninger af naturlige i modsætning til menneskelige faktorer.

56 Resultaterne viser, at SID_TID et en velegnet indikator for den økologiske
57 vandkvalitet i danske vandløb, især som en reaktion på effekten af PO_4 og
58 alkalinitet.

59

Summary

61
62
63
64
65
66
67
68
69
70
71
72
73
74
75
76
77
78
79
80
81
82

This report presents the benthic diatom index SID_TID data for the period 2013-2022, along with an analysis of its spatial and temporal variation and its relationship with associated physicochemical variables in Danish watercourses. The results show a predominance of 'Good' and 'High' ecological status, evaluated on the ground of the benthic algae index, during the period, with approximately one-third of the sampling stations having insufficient ecological quality conditions falling in the 'Moderate' range. The SID_TID index is negatively influenced mainly by alkalinity, and to a lesser extent by PO₄ and NO₂₋₃. SID_TID showed differences between the georegions, which were mainly associated with differences in alkalinity and PO₄. However, no evidence was found of influence of catchment characteristics on SID_TID or associated physicochemical variables. No significant temporal trends were observed in SID_TID or associated physicochemical variables that would indicate a change over time in ecological quality or associated variables. A more comprehensive dataset, with paired biological and physicochemical data for the period, along with a broader geographical distribution of annual monitoring stations, would be valuable inputs for improving the data analysis of the patterns influencing SID_TID and the differential impacts of natural in contrast to anthropogenic factors. The results support SID_TID as an adequate indicator of the ecological water quality in Danish watercourses, particularly in response to the effects of PO₄ and alkalinity.

1 Datagrundlag, databehandling og rapportindhold

1.1 Om overvågningsprogrammet

Denne rapport indeholder data indsamlet i vandløb under NOVANA-programmet omhandlende bentiske kiselalger. Der indgår desuden data for oplandskarakteristika, næringsstofkoncentrationer, BI5 og alkalinitet.

Langt hovedparten af data i NOVANA er indsamlet/tilvebragt af medarbejdere i de statslige regionale enheder under Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV) samt af en række konsulentfirmaer på vegne af enhederne.

Den økologiske overvågning i vandløb gennemføres med det formål at give et generelt overblik over danske vandløbs natur- og miljøtilstand, hvilket indebærer en tilstandsvurdering, der både omfatter biologiske- og fysisk-kemiske kvalitetselementer.

Et vigtigt formål med NOVANA er at kunne præsentere både en oversigt over den generelle økologiske tilstand i danske vandløb, men også at beskrive udviklingen i denne tilstand. Overvågningen sker som udgangspunkt mindst én gang i løbet af en seksårig periode, men på klimastationerne og DVFI-tidsse-riestationerne foretages overvågningen hyppigere, henholdsvis hvert og hvert andet år.

Indsamlingen/tilvebringelsen af data bygger på tekniske anvisninger for 'Delprogram for vandløb'.

1.2 Bentiske kiselalger

Denne rapport præsenterer data vedrørende bentiske kiselalger som indikator for den økologiske tilstand i danske vandløb i henhold til NOVANA-overvågningsprogrammet. Rapporten omhandler de rumlige og tidsmæssige variationer i økologisk kvalitet ved brug af bentiske kiselalger som bioindikatorer og betydningen af de vigtigste fysisk-kemiske vandkvalitetsvariabler.

Fytobenthos er en biologisk kvalitetsindikator i NOVANA-programmet for vandløb i Danmark, hvilket er i overensstemmelse med kravene i vandrammedirektivet (WFD). Bentiske kiselalger er valgt som et mål for fytobenthos (European Standard, 2003). Kiselalger er en udbredt og mangfoldig gruppe af akvatiske organismer, som på grund af deres følsomhed over for miljøforhold bruges til at vurdere de økologiske forhold i vandløb (Kelly *et al.*, 2008; Poikane *et al.*, 2016).

Det bentiske kiselalgeindeks, SID_TID, er udviklet som en indikator til vurdering af danske vandløbs økologiske kvalitet (Andersen *et al.*, 2018; Baattrup-Pedersen *et al.*, 2021). Indekset sammenholdes med koncentrationen af ortofosfat (PO_4) og er testet for forskellige størrelsesklasser af vandløb (Andersen *et al.*, 2018). Det har vist sig velegnet til at oversætte virkningerne af organisk forurening til en standardiseret måleenhed baseret på sammensætningen af bentiske kiselalger (Pacheco *et al.*, 2023; Baattrup-Pedersen *et al.*,

2021, 2024). Ud over PO₄, som er hovedindikatoren for organisk forurening i vandløb, har indekset også vist en vigtig sammenhæng med alkalinitet (Baatrup-Pedersen *et al.*, 2022; Pacheco *et al.*, 2023). I danske vandløb hænger alkalinitet normalt sammen med naturlige faktorer, især jordtype, som varierer mellem geologiske regioner (georegioner), men øget alkalinitet kan også være afstedkommet af menneskelige påvirkninger som f.eks. landbrugets brug af gødning (Pacheco *et al.*, 2023). Både alkalinitet og næringsstofkoncentrationer kan påvirke den økologiske kvalitet vurderet ved SID_TID. Rapporten fokuserer på analyse af PO₄ og alkalinitet som variable, der påvirker sammensætningen af benthiske kiselalger og dermed den økologiske kvalitet vurderet af SID_TID-indekset.

Rapporten præsenterer den økologiske tilstand i danske vandløb i henhold til SID_TID-indekset, dets rumlige og tidsmæssige variation og dets sammenhæng med næringsstoffer og alkalinitet.

1.3 Datagrundlag

Rapporten præsenterer resultaterne af prøvetagningen af kiselalger på 795 kontrolovervågningsstationer og 35 år-år'-stationer i vandløb i NOVANA-programmet for de seneste ti år, svarende til perioden 2013-2022. For kontrolovervågningsstationerne blev data indsamlet én eller to gange i løbet af rapporteringsperioden, mens data var tilgængelige for hvert år i hele perioden for år-år'-stationerne.

Kategorierne for vandløbenes økologiske tilstand er defineret ud fra SID_TID-grænseværdierne, som er fastsat i 'bekendtgørelse om overvågning af overfladevandets, grundvandets og beskyttede områders tilstand og om naturovervågning af internationale naturbeskyttelsesområder nr. 792 (tabel 1.1).

Tabel 1.1. Grænser for kategorierne af økologisk tilstand for danske vandløb baseret på SID_TID.

Indeksværdi SID_TID	Grænse høj/god	Grænse god/moderat	Grænse moderat/ringe	Grænse ringe/dårlig
1.798	2.104	2.503	2.897	3.513

Fysisk-kemiske data varierer normalt betydeligt over tid og er markant forskellige mellem varmere og koldere måneder. Derfor bruger rapporten gennemsnittene af fysisk-kemiske data for perioden april-september (varmere måneder) for hvert år for hver prøvestation. Data på benthiske kiselalger kommer fra prøver indsamlet i den første halvdel af maj i henhold til teknisk anvisning TA V21 for fytobenthos i vandløb (Wiberg-Larsen *et al.*, 2023). Alle data, der anvendes i denne rapport, er hentet fra ODA-databasen (overfladevandsdatabasen, tilgængelig på <http://odaforalle.au.dk>).

Data blev analyseret samlet og efter georegion for at vurdere påvirkningen af den rumlige fordeling af de vurderede biologiske og miljømæssige variable.

Data er analyseret på forskellige niveauer:

- Den overordnede økologiske tilstand vurderet af det benthiske algeindeks.

- 164
165
- Den geografiske fordeling af vandløbenes økologiske tilstand og tilknyttede fysisk-kemiske variabler.
- 166
167
- Indvirkningerne af oplandets karakteristika på den økologiske tilstand vurderet af det benthiske kiselalgeindeks.
- 168
169
170
171
- Tidsmæssige tendenser, herunder: 1) den tidsmæssige variation i SID_TID-indeksets økologiske tilstand og de tilknyttede miljøvariabler og 2) de tidsmæssige tendenser i SID_TID-indeksets økologiske tilstand på prøvetagningsstationerne på år-til-år stationerne.
- 172
173
174
175
176
177
- Sammenhængen mellem den økologiske tilstand vurderet af det benthiske algeindeks og miljøvariabler, herunder: 1) effekterne af fysisk-kemiske variabler på sammensætningen af benthiske kiselalger og regionale forskelle, 2) effekten af fysisk-kemiske variabler på EQR (SID_TID) og 3) effekten af fysisk-kemiske variabler på EQR (SID_TID) med hensyn til regionale forskelle.

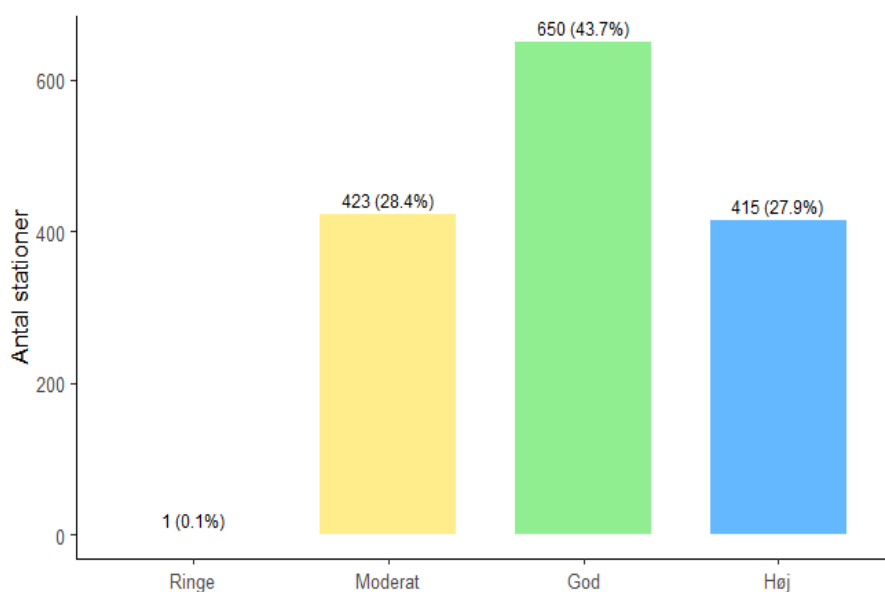
178
179

2 Den overordnede økologiske tilstand vurderet af det bentiske kiselalgeindeks

180
181
182
183
184
185

Vandløbenes økologiske kvalitet vurderet ved hjælp af SID_TID-indekset for bentiske kiselalger for perioden 2013-2022 var primært niveauerne 'God' eller 'Høj' (figur 2.1. og tabel 3.1.). Cirka 72 % af stationerne lå i hele perioden inden for 'God' og 'Høj', med næsten 30 % i 'Høj' (figur 2.1.). Dog lå næsten 30 % af det samlede antal prøver i perioden under grænserne for 'God' økologisk tilstand, næsten udelukkende i kategorien 'Moderat' (figur 2. 1.).

Figur 2.1. Samlet antal og procentdel af vandløbsstationer i forhold til økologisk tilstandskategori iht. SID_TID-indekset for hele perioden 2013-2022 (øverst) og de seneste data for hver station (nederst).



186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199

Når man sammenligner med de nyeste data for hver station (baseret på op til de tre seneste tilgængelige prøvetagninger), er næsten halvdelen af stationerne i 'God' økologisk tilstand, mens andelen af stationer i 'Høj' økologisk tilstand spænder fra 27,9% for hele perioden 2013-2022 til 24,4% for de seneste data. Desuden er andelen af stationer i 'Moderat' tilstand næsten uændret, mens der ikke er nogen stationer i 'Ringe' tilstand (figur 2.1.). Generelt viser de nyeste data en lavere andel af stationer i 'God' økologisk tilstand sammenlignet med hele perioden. Disse resultater viser den mest aktuelle situation for SID_TID sammenlignet med hele datasættet for den analyserede periode 2013-2022 og repræsenterer den nuværende økologiske tilstand på stationerne, hvor der foretages prøvetagning af bentiske kiselalger. De bør dog ikke fortolkes som tidsmæssige tendenser for det samme sæt stationer, men som et øjebliksbillede af de nyeste forhold for SID_TID-indeksets vurdering af økologiske kvalitet på prøvetagningsstationerne.

200
201

3 Geografisk fordeling i den økologiske tilstand af vandløb

202
203
204
205
206
207
208
209
210
211

Den geografiske fordeling af SID_TID-kategorier, alkalinitet, BI5 og næringsstoffer i de varmere måneder i vandløb blev vurderet for at fastslå mulige forskelle i økologisk kvalitet og tilknyttede miljøvariabler mellem Danmarks georegioner. Koncentrationerne af alkalinitet og totalindhold og opløste næringsstoffer i vandløbene viste en stor variation på både regionalt og overordnet niveau i perioden 2013-2022 (tabel 3.1.). Alkaliniteten var generelt lavere i Vestjylland og Midtjylland og højere i Sydøstdanmark og Østdanmark (tabel 1.1). Tilsvarende var næringsstofniveauerne generelt lavere i Vestjylland og Midtjylland, mens de højeste værdier blev fundet i Sydøstdanmark (tabel 3.1.).

Tabel 3.1. Alkalinitet og næringsstoffer i vand iht. georegion for danske vandløb i perioden 2013-2022. Gennemsnit, standardafvigelse (i parentes) og interval (min.-maks.).

Region	Alkalinitet (meq/L)	TP (mg/L)	PO ₄ (mg/L)	TN (mg/L)	NO ₂₋₃ (mg/L)	NH ₄ (mg/L)
Thy	2,80 (1,11)	0,10 (0,10)	0,04 (0,02)	2,97 (1,48)	2,47 (1,68)	0,07 (0,07)
	0,36 - 5,15	0,02 - 0,73	0,01 - 0,17	0,51 - 7,2	0,07 - 8,97	0,01 - 0,55
Nordjylland	3,11 (0,80)	0,14 (0,06)	0,07 (0,03)	2,87 (1,47)	2,21 (1,56)	0,14 (0,18)
	1,90 - 6,80	0,04 - 0,35	0,02 - 0,19	0,91 - 9,05	0,03 - 8,95	0,01 - 1,46
Vestjylland	1,24 (0,86)	0,06 (0,07)	0,02 (0,04)	2,91 (1,66)	2,36 (1,52)	0,07 (0,10)
	0,11 - 3,9	0,01 - 0,94	0,01 - 0,58	0,36 - 10,10	0,01 - 9,27	0,01 - 1,28
Himmerland	2,96 (0,75)	0,09 (0,04)	0,06 (0,03)	5,85 (3,00)	5,38 (3,01)	0,06 (0,10)
	0,42 - 6,2	0,03 - 0,25	0,01 - 0,21	0,64 - 16,0	0,08 - 14,00	0,01 - 0,83
Djursland	3,67 (1,23)	0,46 (1,35)	0,21 (0,52)	9,04 (10,26)	5,18 (3,59)	2,06 (8,93)
	2,2 - 7,7	0,05 - 5,50	0,03 - 2,50	1,35 - 45,0	0,38 - 13,33	0,01 - 42,0
Midtjylland	2,36 (1,00)	0,08 (0,07)	0,04 (0,04)	3,07 (2,25)	2,56 (2,17)	0,08 (0,33)
	0,13 - 4,65	0,01 - 0,65	0,01 - 0,45	0,11 - 11,0	0,04 - 12,7	0,01 - 4,65
Østdanmark	4,76 (1,37)	0,12 (0,08)	0,07 (0,06)	2,62 (1,65)	1,86 (1,46)	0,09 (0,23)
	1,8 - 24,0	0,03 - 0,55	0,01 - 0,43	0,36 - 16,00	0,02 - 15,0	0,01 - 3,03
Nordsjælland	4,45 (0,79)	0,13 (0,10)	0,06 (0,06)	2,12 (1,76)	1,23 (1,57)	0,07 (0,06)
	2,5 - 5,7	0,04 - 0,49	0,01 - 0,32	0,48 - 8,10	0,06 - 7,8	0,01 - 0,28
Bornholm	3,15 (1,38)	0,24 (0,56)	0,18 (0,45)	2,62 (2,42)	2,02 (2,29)	0,11 (0,21)
	1,25 - 5,2	0,02 - 2,30	0,01 - 2,00	0,63 - 11,99	0,05 - 10,85	0,01 - 0,97
Sydøstdanmark	5,53 (1,66)	0,39 (1,06)	0,25 (0,59)	3,91 (7,38)	1,93 (2,29)	0,81 (5,95)
	3,0 - 14,0	0,03 - 8,20	0,02 - 5,40	0,71 - 65,00	0,01 - 15,0	0,01 - 61,0
Overall	3,07 (1,85)	0,13 (0,37)	0,07 (0,20)	3,34 (3,27)	2,57 (2,23)	0,16 (1,97)
	0,11 - 24,0	0,01 - 8,20	0,01 - 5,40	0,11 - 65,00	0,01 - 15,0	0,01 - 61,0

212
213
214
215
216
217
218
219

Den økologiske kvalitet baseret på SID_TID viste ligeledes generelt lav variation mellem regionerne (tabel 3.1.), med undtagelse af Vestjylland, hvor de fleste stationsprøver havde en høj ('Høj') kvalitetsprocent med cirka dobbelt så høj en procentdel som i de øvrige regioner (tabel 3.1.). Omvendt havde Østdanmark, Sydøstdanmark og Nordjylland den laveste andel af stationer med 'Høj' økologisk kvalitet og den højeste andel 'Moderat' økologisk kvalitet. I de øvrige regioner var de fleste stationer i 'God' økologisk tilstand iht. SID_TID-kategoriseringen (tabel 3.1.).

220

Tabel 3.2. SID_TID, EQR(SID_TID) og andel af vandløbsstationer for hver kategori af økologisk tilstand baseret på SID_TID. Der angives gennemsnit, standardafvigelse (i parentes), interval (min.-maks.) for de to indekseværdier og procentdel stationer per kategori for perioden 2013-2022.

Region	SID_TID	EQR (SID_TID)	Ringe (%)	Moderat (%)	God (%)	Høj (%)
Thy	2,30 (0,24) 1,81 - 2,79	0,77 (0,11) 0,55 - 1,00	0	22,9	52,9	24,3
Nordjylland	2,52 (0,20) 2,02 - 2,88	0,67 (0,09) 0,51 - 0,90	0	57,1	37,7	5,2
Vestjylland	2,06 (0,35) 0,82 - 2,93	0,88 (0,16) 0,49 - 1,44	0,25	8,9	36,2	54,7
Himmerland	2,24 (0,22) 1,69 - 2,85	0,80 (0,10) 0,52 - 1,05	0	12,6	57,9	29,6
Djursland	2,31 (0,28) 1,81 - 2,68	0,77 (0,13) 0,60 - 0,99	0	33,3	41,7	25,0
Midtjylland	2,32 (0,32) 1,43 - 2,88	0,77 (0,14) 0,51 - 1,17	0	29,7	45,9	24,4
Østdanmark	2,42 (0,26) 1,57 - 2,89	0,72 (0,12) 0,51 - 1,11	0	42,6	45,4	12,0
Nordsjælland	2,36 (0,25) 1,83 - 2,78	0,75 (0,11) 0,56 - 0,99	0	32,4	47,1	20,6
Bornholm	2,25 (0,32) 1,57 - 2,71	0,80 (0,15) 0,59 - 1,11	0	31,3	43,8	25,0
Sydøstdanmark	2,48 (0,26) 1,53 - 2,87	0,69 (0,12) 0,52 - 1,12	0	54,1	37,8	8,1
Overall	2,28 (0,33) 0,82 - 2,93	0,78 (0,15) 0,49 - 1,44	0,1	28,4	43,7	27,9

221
222
223
224
225
226
227

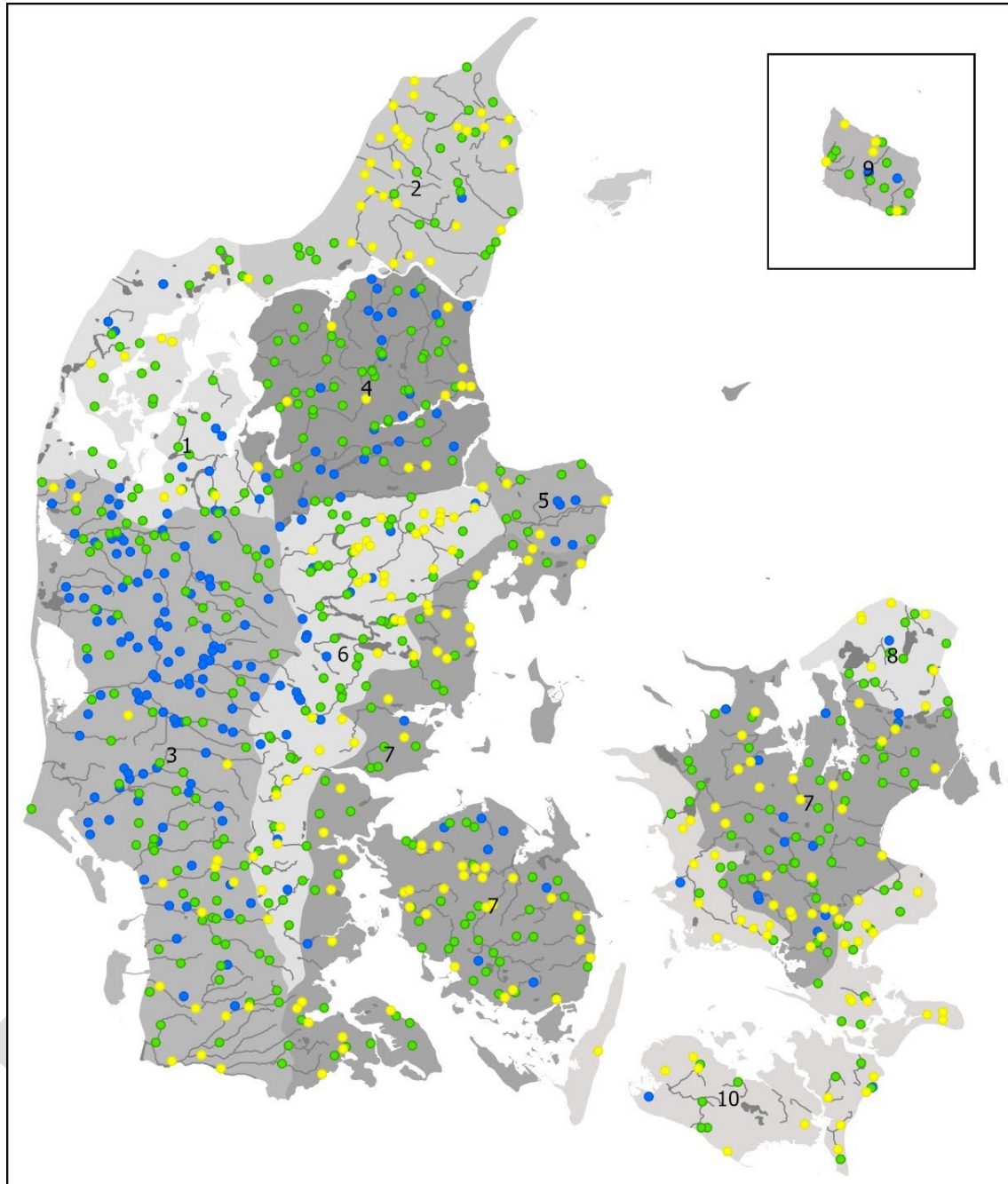
På grund af forskelle i prøvetagningstidspunkter og -frekvenser mellem prøvetagningsstationerne for bentiske kiselalger blev analysen af økologisk kvalitet baseret på gennemsnittet af de senest tilgængelige prøver for hver station. For stationer med hyppigere prøvetagning (fx år-år stationer) blev de seneste tre prøver taget i betragtning, mens en eller to prøver blev anvendt for de øvrige stationer.

228
229
230
231
232
233
234
235
236

Data for de seneste prøvetagninger viser lignende resultater som det samlede datasæt fra 2013-2022 med en stor andel stationer i 'God' eller 'Høj' økologisk tilstand (figur 3.1. og figur 3.2.). Vestjylland er ligeledes den højeste økologiske kvalitet, der gennemsnitligt lå inden for 'Høj'-området (figur 3.1.). Desuden har Vestjylland de laveste gennemsnitsværdier for alkalinitet, BI5 og PO₄ (figur 3.2.). Omvendt har Sydøstdanmark og Nordjylland den laveste økologiske kvalitet, som gennemsnitligt er i 'Moderat'-området (figur 3.2.). Sydøstdanmark har også de højeste gennemsnitsværdier for alkalinitet, BI5 og PO₄ (figur 3.2.).

237
238
239

Indikatorerne for organisk forurening, PO₄ og BI₅, viste det samme mønster som alkalinitet for de forskellige georegioner. Omvendt var nitrat- og ammoniumniveauerne meget forskellige (figur 3.2.).



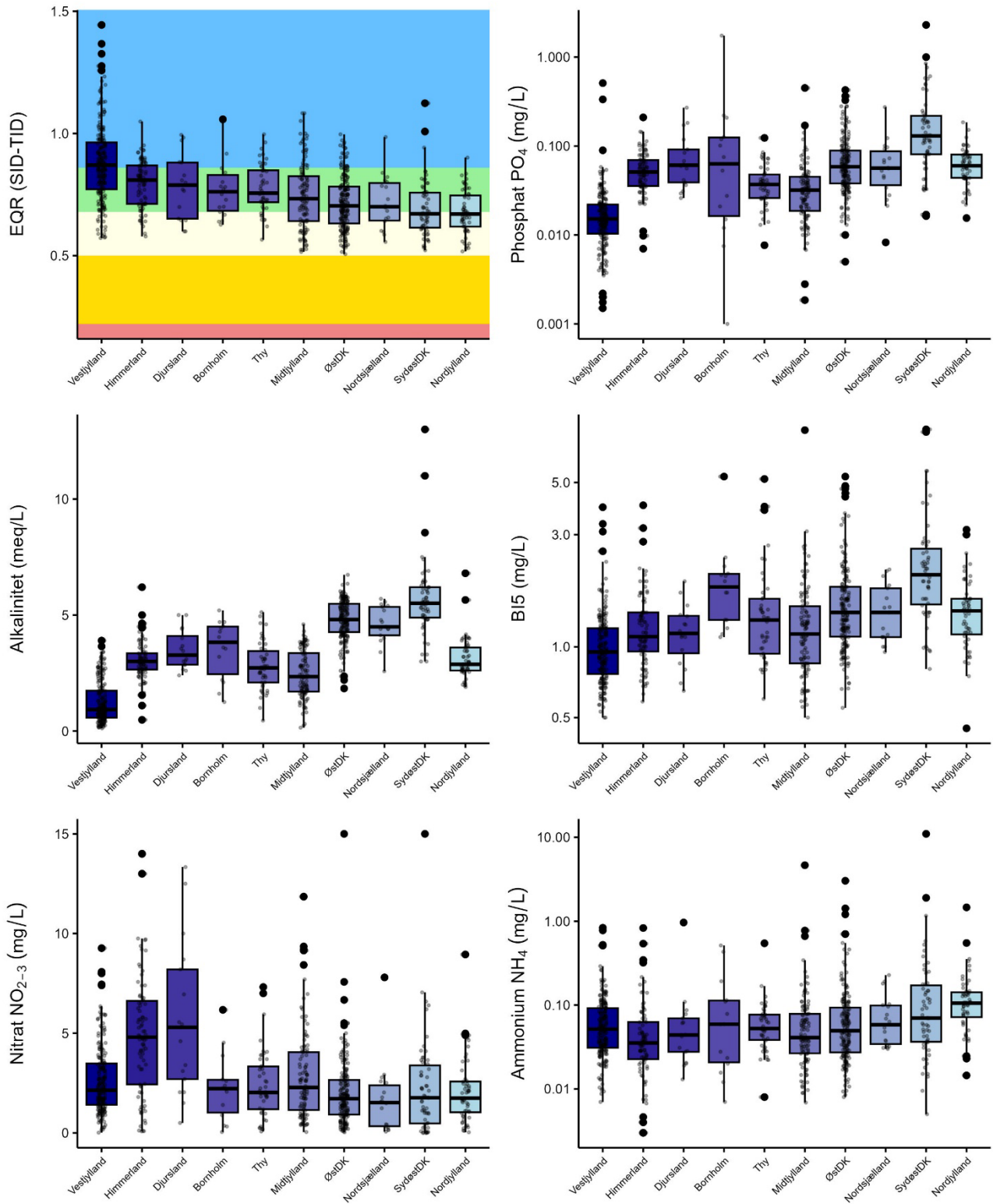
Georegion

- 1 Thy
- 2 Nordjylland
- 3 Vestjylland
- 4 Himmerland
- 5 Djursland
- 6 Midtjylland
- 7 Østdanmark
- 8 Nordsjælland
- 9 Bornholm
- 10 Sydøstdanmark

Tilstand (SID-TID)

- Høj
- God
- Moderat

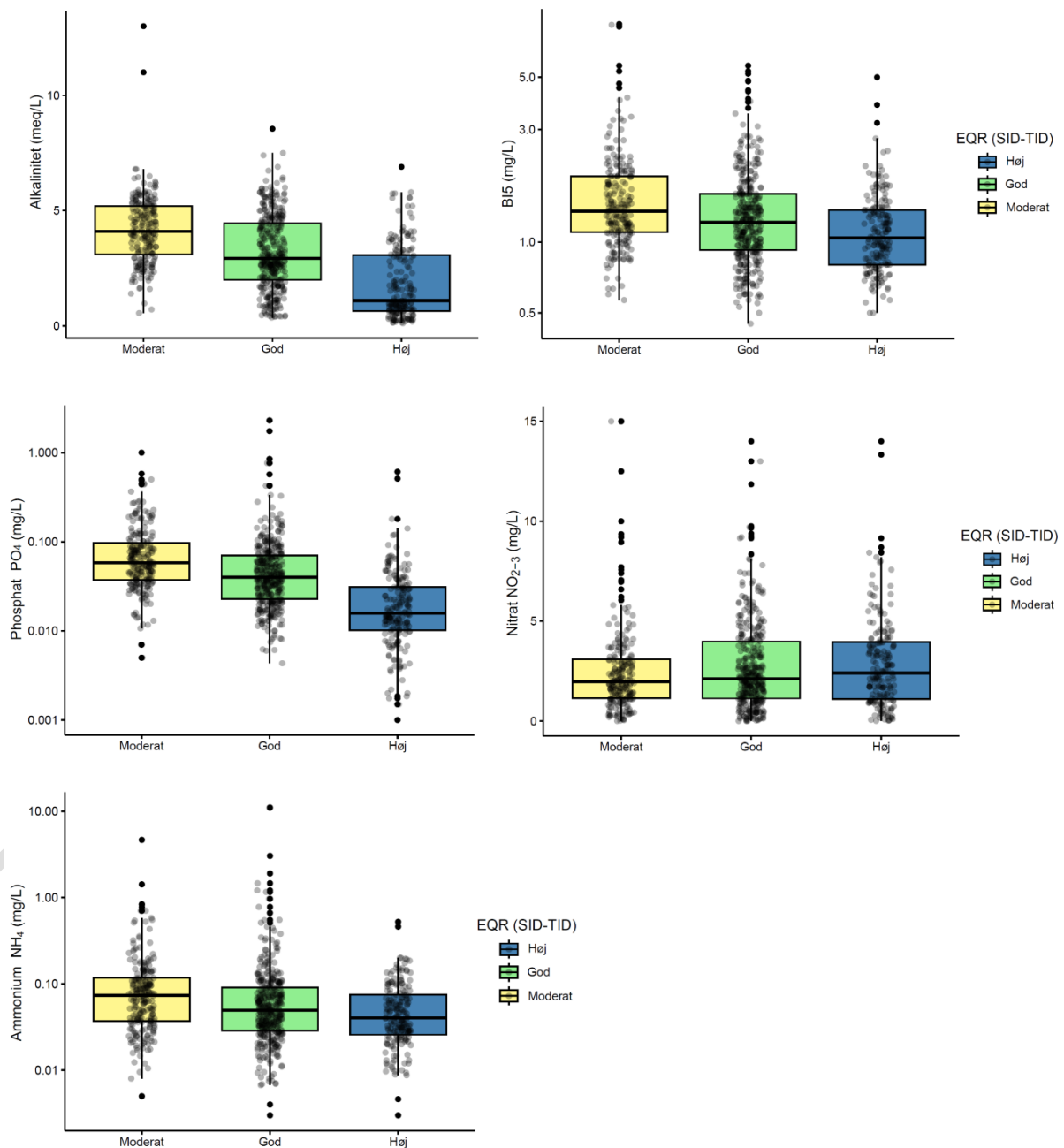
Figur 3.1. Kategorier af økologisk tilstand for vandløb iht. SID_TID-indekset pr. region, baseret på gennemsnittet af de seneste data for hver station i perioden 2013-2022.



Figur 3.2. Økologisk tilstand iht. EQR (SID_TID)-indekset, alkalinitet, BI₅ og næringsstoffer i vandløb pr. region, baseret på gennemsnittet af de seneste data for hver station i perioden 2013-2022. De farvede EQR (SID_TID)-områder angiver de økologiske tilstandskategorier, hvor blå = Høj, grøn = God, gul = Moderat, orange = Ringe og rød = Dårlig

246
247
248
249
250
251
252

Både alkalinitet og indikatorerne for organisk forurening, PO₄ og BI5, er korreleret med SID_TID-indekset, således at et fald i de to parametre hænger sammen med en stigning i indekset (figur 3.3., tabel 3.3.). Alkalinitet udviste de største forskelle mellem kategorierne for økologisk kvalitet, efterfulgt af BI5, mens PO₄ kun viste forskelle mellem 'Høj' og de øvrige kategorier (tabel 3.3.).



Figur 3.3. Alkalinitet, BI5 and næringsstofværdier i vandløb iht. EQR (SID_TID)-kategorierne for økologisk tilstand, baseret på gennemsnittet af de seneste data for hver station i perioden 2013-2022.

253
254

Tabel 3.3. Sammenligning af miljøvariable iht. SID_TID-indeksets økologiske tilstandskategorier. Resultater af ANOVA og Tukey post-hoc test.

Variabel	ANOVA		Tukey sammenligning af kategorier (p < 0,05)
	F	p-værdi	
Alkalinitet	113,00	< 0,01	Moderat > God > Høj
BI5	17,08	< 0,01	Moderat > God > Høj
PO ₄	11,71	< 0,01	Moderat = God > Høj
NO ₂₋₃	1,37	0,26	Moderat = God = Høj
NH ₄	1,83	0,16	Moderat = God = Høj

255

256

257

258

259

260

261

262

Derimod viste kvælstofniveauerne, målt som nitrat (NO₂₋₃) og ammonium (NH₄), ikke at have betydning for den økologiske tilstand (figur 3.3., tabel 3.3.). Dette indikerer overordnet, at SID_TID er velegnet som økologisk indikator for organisk forurening relateret til PO₄, især for de højere niveauer af økologisk tilstand. Resultaterne understøtter også den stærke sammenhæng mellem alkalinitet og SID_TID-indeksets økologiske kvalitetsniveauer samt med BI5, hvilket stemmer overens med tidligere resultater.

263

264

265

266

Det er relevant at fremhæve alkalinitetens og BI5's rolle i forhold til SID_TID-niveauerne, da disse variabler var mere forbundet med kategorierne af økologisk kvalitet end PO₄, som er den indikator, SID_TID-indekset oprindeligt blev udviklet og testet på.

267

268

269

Resultaterne tyder også på, at indikatoren ikke er egnet til at vurdere de økologiske effekter af kvælstof på fytobenthos, da kvælstofniveauer ikke er forbundet med SID_TID-kategorierne i vandløb.

270

271

4 Oplandskarakteristika

273
274
275
276
277
278

Til at vurdere den potentielle effekt af forskellige oplandskarakteristika, f.eks. landbrug, punktkilder, jordtype, topografi og brug af randzonen, på vurderingen af økologisk tilstand med SID_TID benyttede vi 'Påvirkning'-kategoriseringen af prøvetagningsstationerne (Friberg *et al.*, 2005). Denne klassifikation inddeler prøvetagningsstationerne i syv grupper baseret på deres oplandskarakteristika (tabel 4.1.).

Tabel 4.1. Påvirkning af prøvetagningsstationerne iht. type og tilhørende karakteristiske træk. Tilpasset fra Friberg *et al.* (2005).

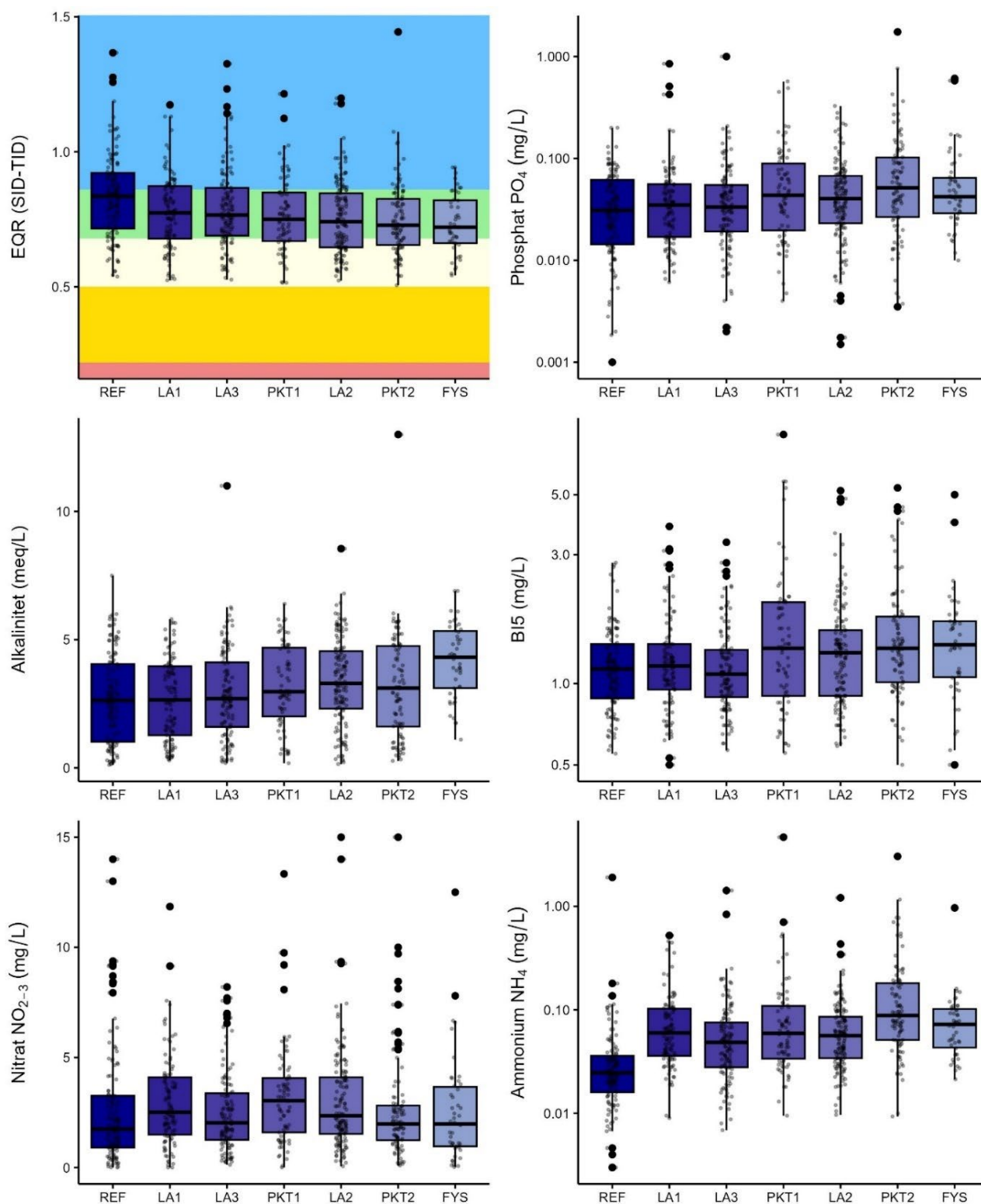
Type	Karakteristika
Landbrug I (LA 1)	Opland domineret af landbrug (>50 %), sand/leret sand, kuperet topografi, landbrugsaktiviteter i randzoner.
Landbrug II (LA 2)	Opland domineret af landbrug (>50 %), variabel jordtype, variabel topografi, landbrugsaktiviteter i randzoner, herunder græsningsarealer.
Landbrug III (LA 3)	Opland domineret af landbrug (>50 %), variabel jordtype, variabel topografi, ingen eller få landbrugsaktiviteter i randzoner.
Punktkilde I (PKT1)	Opland domineret af landbrug (>50 %), variabel jordtype, variabel topografi, varierende brug af randzoner, væsentligt bidrag fra spredt bebyggelse.
Punktkilde II (PKT2)	Opland med variabel arealanvendelse, variabel jordtype, variabel topografi, varierende brug af randzoner, kendt og væsentlig punktkilde.
Habitat (FYS)	Opland domineret af landbrug (>50 %), variabel jordtype, variabel topografi, ingen eller få landbrugsaktiviteter i randzoner, ingen væsentlige punktkilder, betydelig habitatforstyrrelse, herunder grødeskæring.
Reference (REF)	Opland domineret af natur eller mindre intensiv landbrugsaktivitet, variabel jordtype, variabel topografi, ingen eller få landbrugsaktiviteter i randzoner, ingen væsentlige punktkilder, ingen væsentlig habitatforstyrrelse.

279
280
281

Ifølge denne klassifikation er referencestationerne (REF) mindst påvirket af menneskelige aktiviteter og er domineret af et naturligt opland eller aktiviteter med lav påvirkning.

282
283
284
285
286
287
288
289
290
291

Baseret på integrerede data fra de senest tilgængelige prøver for hver station var der ikke klare sammenhænge mellem påvirkningskategorierne og økologisk tilstand (figur 4.1.). Generelt havde referencestationerne en anelse højere gennemsnitsværdier for økologisk kvalitet, men disse forskelle var kun signifikante sammenlignet med LA2-, PKT2- og FYS-kategorierne, som gennemsnitligt havde den laveste økologiske kvalitet (figur 4.1.). Tilsvarende viste de fysiske-kemiske variabler ikke markante forskelle mellem påvirkningskategorierne, bortset fra højere gennemsnitsværdier for alkalinitet på steder med fysisk forstyrrelse (FYS) og lavere gennemsnitsværdier for ammonium på referencestationerne (REF, figur 4.1.).



Figur 4.1. Økologisk tilstand iht. EQR (SID_TID) -indekset, alkalinitet, BI5 og næringsstoffer i vandløb pr. påvirkningskategori, baseret på gennemsnittet af de seneste data for hver station i perioden 2013-2022. Farvede områder i EQR (SID_TID) angiver kategorierne af økologisk tilstand, hvor blå = Høj, grøn = God, gul = Moderat, orange = Ringe og rød = Dårlig. Påvirkningskategorierne karakteristika er forklaret i tabel 4.1.

292
293
294
295
296
297

Resultaterne viser, at der ikke er nogen sammenhæng mellem påvirkningskategoriseringen og vandløbenes økologiske kvalitet vurderet af SID_TID, hvilket betyder, at oplandets potentielle påvirkning, karakteriseret ved påvirkningskategorierne, ikke afspejles i den økologiske kvalitet beregnet af SID_TID, i det mindste ikke på kategoriniveau. Dette udelukker dog ikke, at kategoriernes forskellige påvirkninger kan indvirke på vandløbenes

298
299
300
301
302
303
304
305
306

økologiske tilstand. Disse indvirkninger er blot ikke tydelige i forhold til kategorierne. Det er vigtigt at overveje, at karakteristika som fx arealanvendelse, topografi, punktkilder og randzonen i hver påvirkningskategori kan påvirke bentiske kiselalger på forskellig vis. Selv om der ikke er nogen tydelig effekt på SID_TID-kategorierne på påvirkningskategoriens aggregerede niveau, er det vigtigt at tage højde for de forskellige effekter, som disse forskellige påvirkninger kan have på bentiske kiselalger, og at afveje, hvilke af disse påvirkninger der kan afspejles fyldestgørende i den økologiske kvalitet, som indekset beregner.

Udskast

5 Tidsmæssige tendenser

308

309

310

311

312

313

314

315

316

317

318

319

320

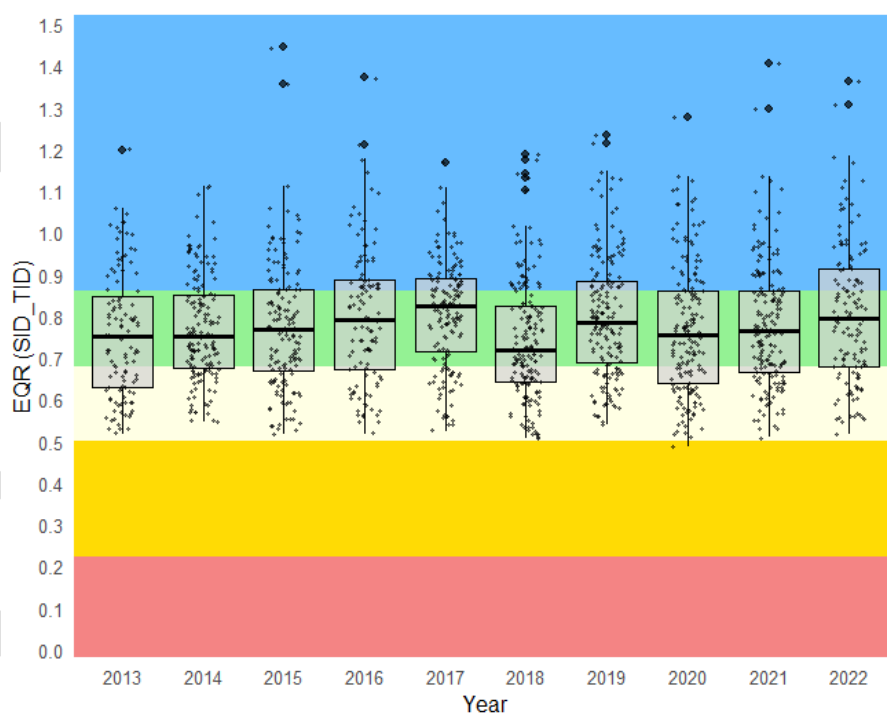
321

322

5.1 Tidsmæssig variation i SID_TID-indekset og tilknyttede miljøvariable

Vandløbenes økologiske tilstand vurderet ved hjælp af SID_TID viste ikke væsentlige ændringer i perioden 2013-2022 (figur 5.1.). I hele perioden forblev den gennemsnitlige EQR (SID_TID) inden for intervallet, der svarer til 'God' økologisk tilstand. Dog havde stationerne, der blev prøvetaget i 2018, en lavere økologisk kvalitet sammenlignet med andre år (ANOVA $F=3,421$, $p<0,01$), hvilket var den eneste signifikante forskel i økologisk kvalitet mellem årene. Specifikt havde stationerne, der blev prøvetaget i 2018, en lavere gennemsnitlig økologisk kvalitet sammenlignet med de to foregående år (2016, $p=0,04$ og 2017, $p<0,01$), det følgende år (2019, $p=0,01$) og 2022 ($p=0,01$). I hele perioden faldt kun én station, prøvetaget i 2020, inden for intervallet af 'Ringe' økologisk tilstand, og ingen stationer lå i kategorien 'Dårlig' (figur 5.1.).

Figur 5.1. Økologisk tilstand iht. EQR (SID_TID) -indekset i vandløb pr. år for perioden 2013-2022. Farvede områder for EQR (SID_TID) angiver kategorierne for økologisk tilstand, hvor blå = Høj, grøn = God, gul = Moderat, orange = Ringe og rød = Dårlig.



323

324

325

326

327

328

329

Det er vigtigt at understrege, at disse mønstre ikke kun integrerer de mulige tidsmæssige ændringer på stationerne, der er blevet prøvetaget løbende over tid, men også ændringer på prøvetagningsstationerne årene imellem. Dette skyldes, at der hvert år – ud over de 35 'år-år'-stationer, der prøvetages kontinuerligt hvert år – tages prøver fra forskellige landsnetstationer. Derfor bør disse integrerede værdier for økologisk kvalitet kun betragtes som tilstanden på de stationer, der er prøvetaget i det pågældende år

330

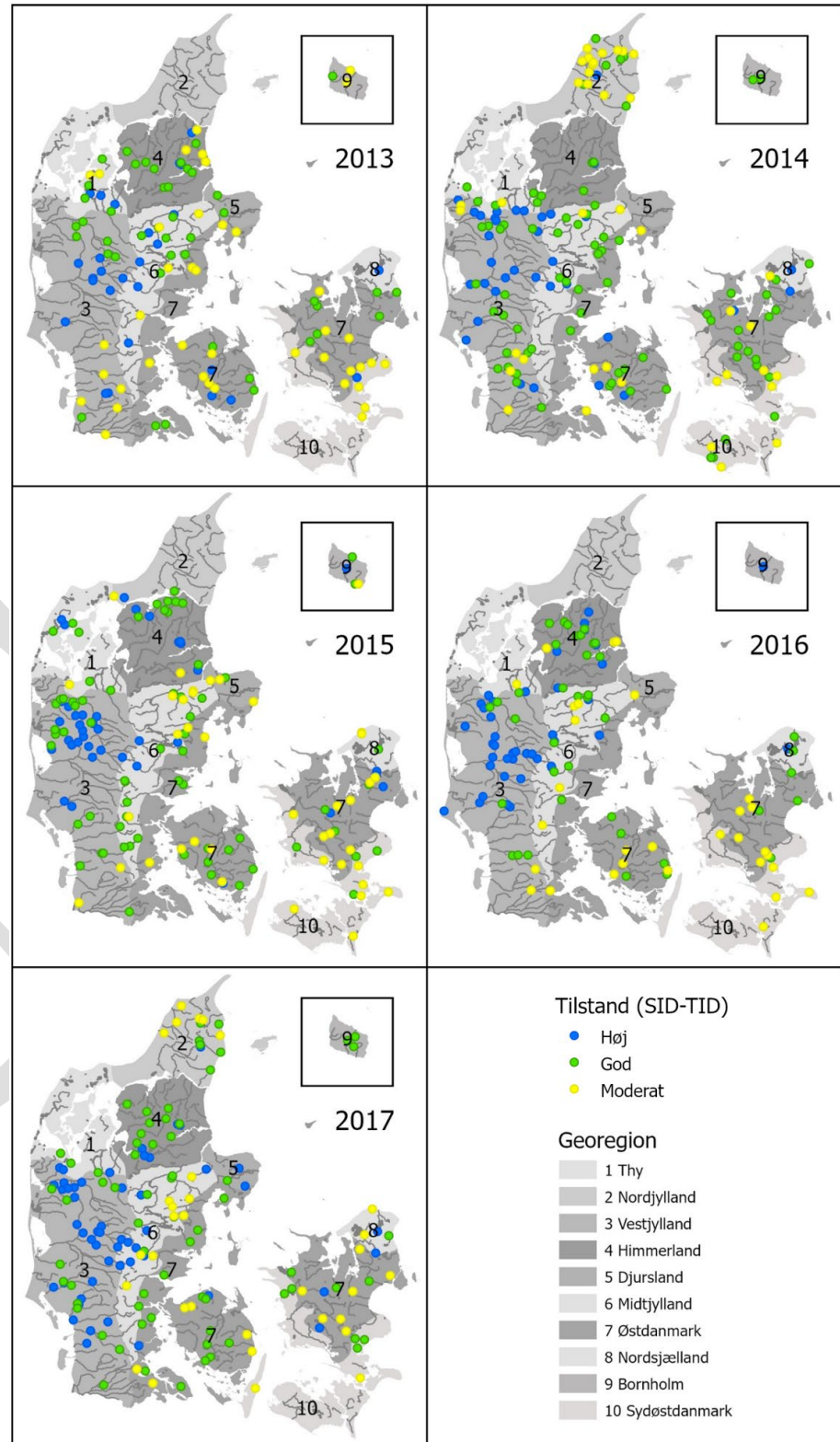
331

De økologiske tilstandsintervaller for hver station, der blev prøvetaget hvert år i perioden 2013-2022, er vist i figurerne 7 og 8. Regionerne havde uens

332
333
334
335
336
337

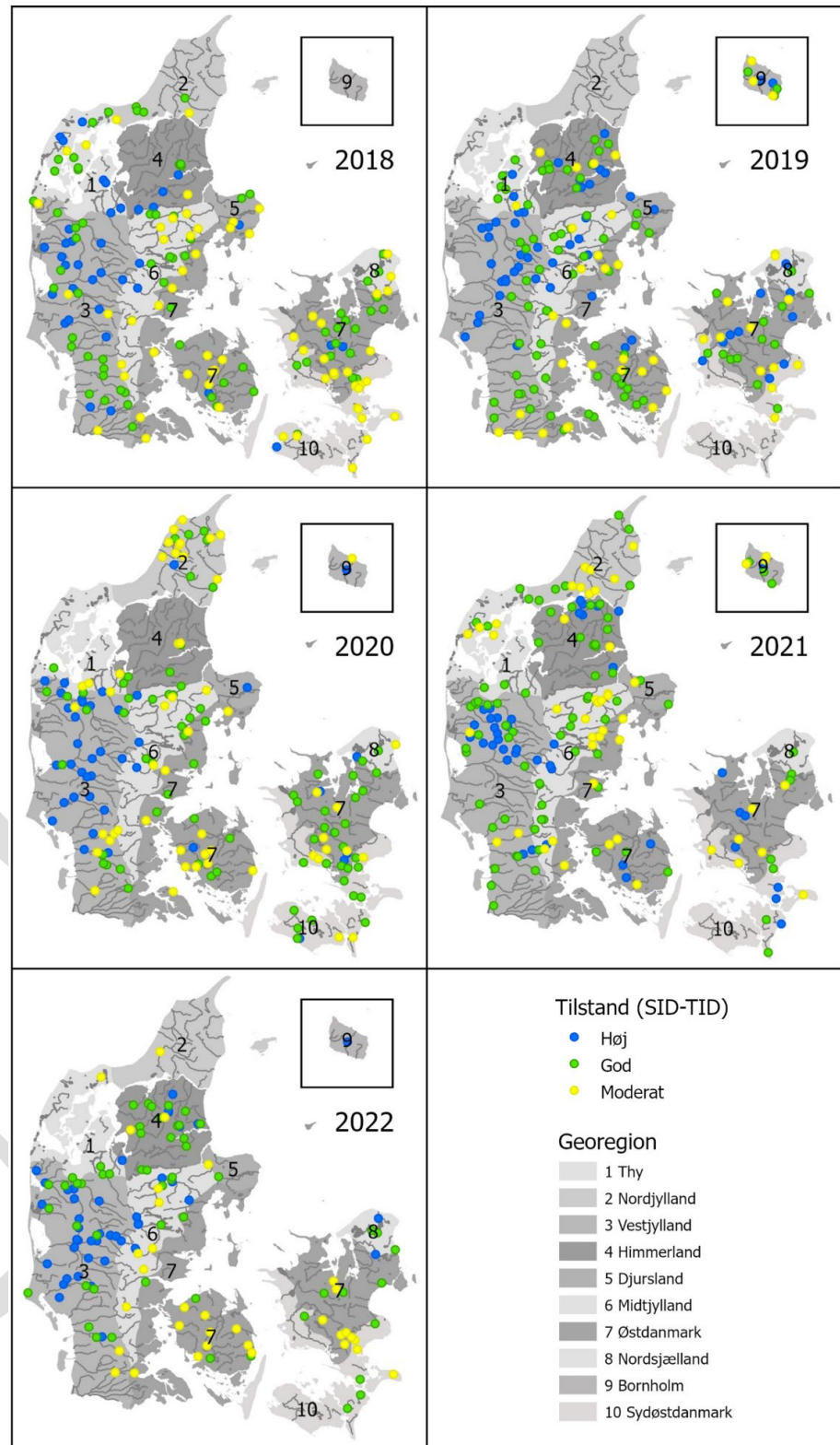
prøvetagningsfrekvenser, hvor nogle regioner som fx Nordjylland blev prøvetaget mindre hyppigt (figur 5.2. og 8). I denne periode var den økologiske tilstand (SID_TID) særligt høj i Vestjylland, hvor en betydelig andel af stationerne lå i intervallet 'Høj' (figur 5.2. og 8). Vestjylland havde også de laveste gennemsnitsværdier for alkalinitet og PO₄ og BI5, som er indikatorer for organisk forurening (figur 3.2).

Figur 5.2. Økologisk tilstand i de 10 georegioners vandløb iht. SID_TID-indeksets kategorier i årene 2013-2017.



338

Figur 5.3. Økologisk tilstand i de 10 georegionernes vandløb iht. SID_TID-indeksets kategorier i årene 2018-2022.



340

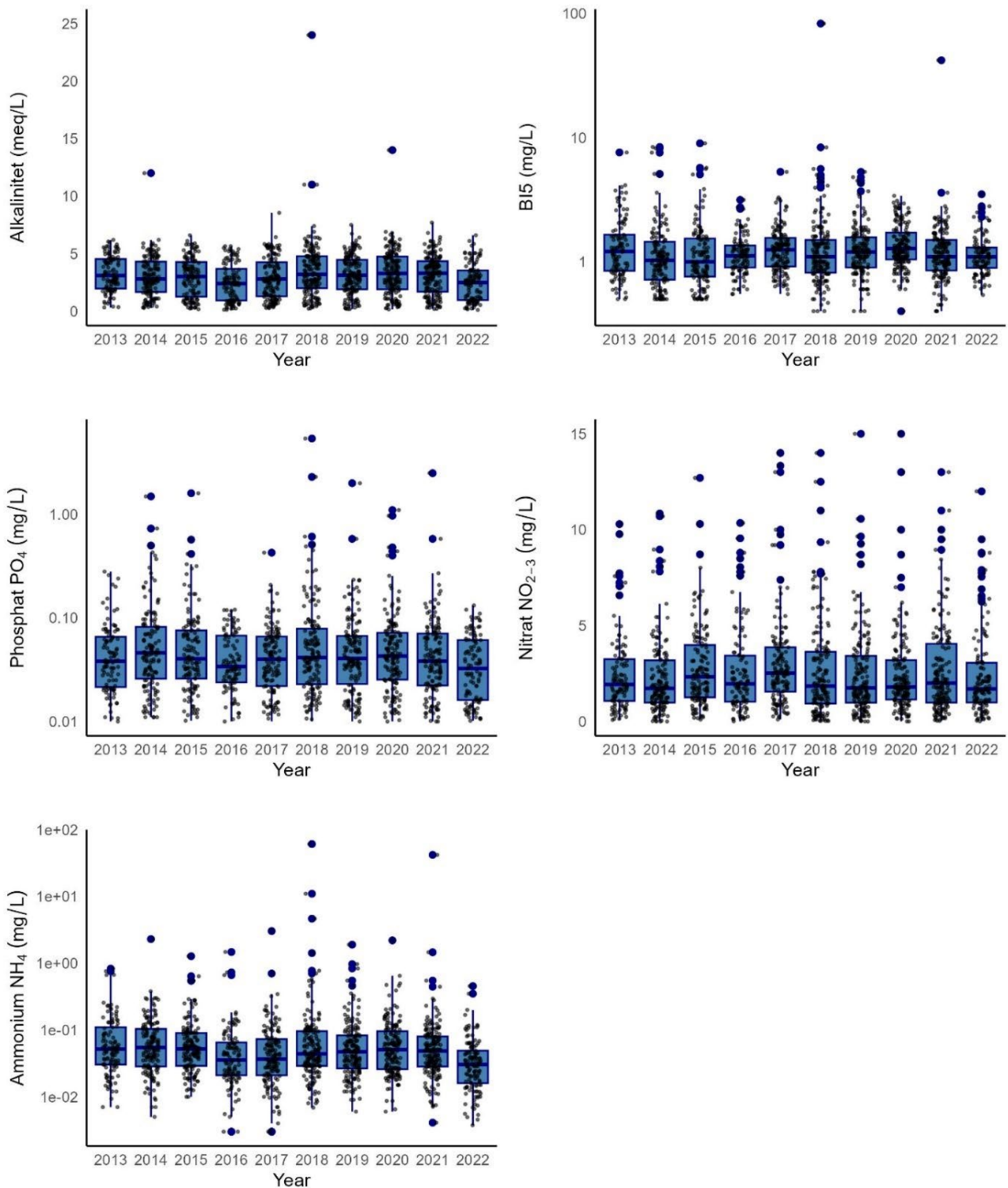
341

342

343

Tilsvarende viste de tilknyttede miljøvariabler, alkalinitet, BI5 og næringsstoffer (PO_4 , NO_{2-3} , og NH_4), ingen signifikant variation mellem årene med undtagelse af nogle specifikke tilfælde for alkalinitet og PO_4 (figur 5.4).

344



Figur 5.4. Alkalinitet, BI5 og næringsstoffer i danske vandløb i perioden 2013-2022.

345
346
347
348
349
350
351

Alkalinitet viste signifikante forskelle mellem årene (ANOVA $F=4,3$, $p<0,01$), særligt i 2018, hvor alkaliniteten var signifikant højere end på stationerne, hvorpå der blev taget prøver i 2016 og 2022 (henholdsvis $F=1,7$, $p<0,01$ og $F=0,3$, $p<0,01$). PO_4 viste også forskelle imellem årene (ANOVA $F=2,0$, $p<0,01$), hvilket dog udelukkende var forbundet med en anelse højere koncentrationer i 2018 sammenlignet med 2022 ($F=0,01$, $p=0,03$).

352
353
354
355
356
357
358
359
360

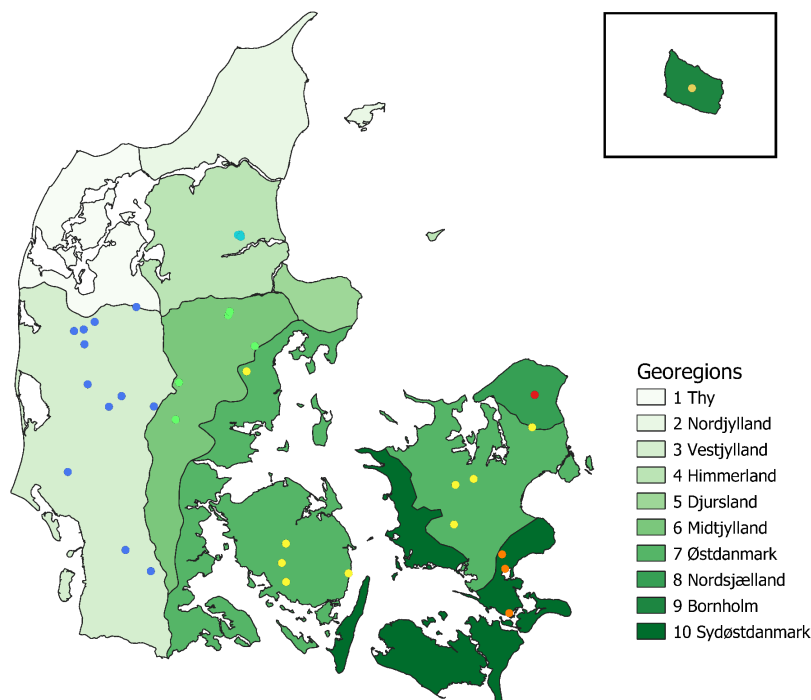
Der blev ikke observeret signifikante forskelle mellem årene for nogen af de andre analyserede miljøvariabler, men selv om forskellene var relativt små, underbygger de yderligere den negative sammenhæng mellem økologisk kvalitet og alkalinitet og, i mindre grad, PO₄ vurderet ved hjælp af SID_TID. Som nævnt ovenfor forhindrer variationen i prøvetagningsstationer mellem årene en analyse af de tidsmæssige mønstre i ændringerne i økologisk kvalitet og de tilknyttede miljøvariabler. Derfor blev de tidsmæssige tendenser for økologisk tilstand og tilknyttede miljøvariabler i stedet analyseret for de 35 'år-år'-stationer.

361
362
363
364
365
366
367
368
369

5.2 Tidsmæssige tendenser i SID_TID-indeksets økologiske tilstand på stationerne med årlig prøvetagning

'År-år'-prøvetagningsstationerne blev anvendt til at analysere tidsmæssige tendenser i økologisk kvalitet vurderet af SID_TID og tilknyttede miljøvariabler. Ud af de i alt 35 stationer blev 34 stationer, der havde et komplet sæt årlige prøver for de ti år i perioden 2013-2022, analyseret. 'År-år'-stationerne findes i de fleste georegioner med undtagelse af Thy, Nordjylland og Djursland, og en stor del af stationerne ligger i Vestjylland (12 ud af de 34 stationer, figur 5.5.).

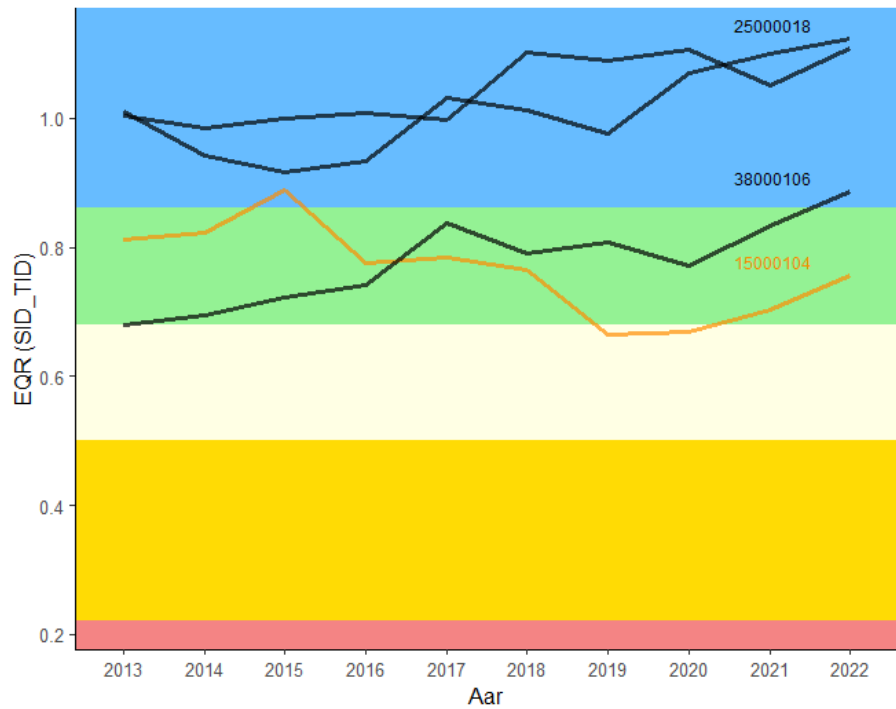
Figur 5.5. Placering af de 34 'år-år'-stationer gennem hele perioden 2013-2022. Stationernes farver afspejler de forskellige georegioner.



370
371
372
373
374

Variationen i EQR (SID_TID) blev først analyseret ved hjælp af en Mann-Kendall-test for at beregne de tidsmæssige tendenser. Kun tre ud af de 34 analyserede stationer viste en signifikant stigning i EQR (SID_TID) over tid, og én station viste et fald (figur 5.6., tabel 5.1.).

Figur 5.6. EQR (SID_TID) gennem årene for klima år-år stationerne med en signifikant positiv tendens (sorte streger) og en negativ tendens (orange streg).



375
376
377
378
379
380
381
382

Især en af stationerne viste et markant skifte i EQR (SID_TID)-kategori, hvor den gik fra grænsen mellem 'Moderat' og 'God' i 2013 til 'Høj' økologisk tilstand i 2022 (figur 5.6.). De tre stationer, der udviste en positiv tendens i økologisk kvalitet (EQR SID_TID), lå i Vestjylland, som er regionen med den gennemsnitligt højeste økologiske tilstand og de laveste værdier for PO₄, alkalinitet og BI5 (figur 3.2.). Den eneste station med en negativ tendens ligger i Himmerland.

383
384
385

Resten af stationerne med årlig overvågning viste ingen signifikante tidsmæssige tendenser i EQR ($p > 0,05$) og havde 'God' eller 'Høj' økologisk tilstand.

Tablet 5.1. Resultater af Mann-Kendall-test af EQR (SID_TID) -tendenser for perioden 2013-2022.

Station	Hældning	Skæringspunkt	Z_EQR	p-værdi
25000018	0,021	0,895	2,33	0,02
25000639	0,014	0,954	2,33	0,02
38000106	0,022	0,662	2,86	< 0,01
15000104	-0,015	0,850	-2,15	0,03

386

387
388
389
390
391
392
393
394

Baseret på ovenstående resultater blev der foretaget en analyse af sammenhængen mellem miljøvariablerne alkalinitet, BI5, PO₄ og NH₄ og tendenserne for år-årstationer med en signifikant positiv eller negativ tendens. For stationer med signifikante tendenser over tid viste ingen af de testede miljøvariabler dog en signifikant korrelation med tendenserne. Kun i ét tilfælde blev der observeret en negativ korrelation for ortofosfat og i et andet for BI5, begge på stationer, der viste en signifikant stigning i økologisk kvalitet iht. EQR (SID_TID) (tabel 5.2.).

395

Table 5.2. Resultater af Mann-Kendall-test af alkalinitet, PO₄, BI5 og NH₄ for stationer med en signifikant positiv (grå) eller negativ (orange) tendens i EQR (SID_TID) for perioden 2013-2022.

Station	Log alkalinitet		Log PO ₄		Log BI5		Log NH ₄	
	Z	p-value	Z	p-value	Z	p-value	Z	p-value
25000018	0,00	1,00	-0,45	0,65	-2,16	0,03	0,00	1,00
25000639	0,00	1,00	0,00	1,00	-0,43	0,67	0,73	0,47
38000106	0,45	0,65	-2,15	0,03	0,09	0,93	-0,89	0,37
15000104	-1,10	0,27	-0,90	0,37	1,05	0,29	0,36	0,72

Resultaterne for 'år-år'-stationerne indikerer, at EQR (SID_TID) ikke finder nogen klare tidsmæssige variationsmønstre i økologisk tilstand, bortset fra de specifikke tilfælde på de fire nævnte stationer. På stationerne, hvor der blev observeret en signifikant tidsmæssig ændring, var der ingen klar sammenhæng mellem den økologiske kvalitet klassificeret ved EQR (SID_TID)-indekset og de analyserede miljøvariable.

Det er vigtigt at tage i betragtning, at mere end en tredjedel af de årlige målestationer ligger i regionen med de laveste gennemsnitsværdier for PO₄, alkalinitet og BI5, som er negativt relateret til EQR (SID_TID). Derfor er den højere økologiske kvalitet på disse stationer også forventelig, herunder de tre stationer med en signifikant øget økologisk kvalitet. Omvendt ligger stationen med et signifikant fald i økologisk kvalitet i Himmerland, en region med væsentligt lavere EQR (SID_TID)-værdier og højere værdier for alkalinitet, BI5, PO₄ og NO₂₋₃ (figur 3.2.). Eftersom der kun er tale om resultater for fire stationer, der indikerer tidsmæssige variationer i den økologiske tilstand, og der ikke er konstateret sammenhæng mellem de tidsmæssige variationer og de nævnte miljøvariable, bør resultaterne ikke tolkes som en støtte til et generelt ændret niveau af EQR (SID_TID)-indeksets værdi over tid.

En anden vigtig betragtning er, at både alkalinitet og næringsstofkoncentrationer i høj grad påvirkes af nedbør, i kraft af nedbørens indvirkning på afstrømningen, udledningen og fortyndingen af stoffer i vandløbene. Analyserne i nærværende rapport inkluderer dog ikke betydningen af nedbør eller udledning. Derudover repræsenterer data for alkalinitet og næringsstoffer en længere årlig tidsperiode (april til september) end de kiselalgedata, der bruges til beregning af SID_TID. Kiselalgeprøvetagningen finder således sted i en langt kortere periode på maksimalt en måned (Wiberg-Larsen *et al.*, 2023). Fraværet af nedbør og dennes betydning for de fysisk-kemiske parametre samt uoverensstemmelsen mellem prøvetagningsperioderne for hhv. fysisk-kemiske parametre og kiselalger begrænser styrken af de koblede fysisk-kemiske og biologiske analyser og forståelsen af de processer, som kræver en højere tidsmæssig opløsning. En analyse af tidsmæssige tendenser med større tilgængelighed af koblede data på alkalinitet og næringsstoffer, som giver en højere tidsmæssig opløsning, koblet med data på nedbør, afstrømning og udledning, ville muliggøre en mere detaljeret og præcis analyse af de tidsmæssige tendenser i variationen af økologisk kvalitet og tilknyttede fysisk-kemiske variable.

Endnu et vigtigt aspekt at anerkende er den ujævne geografiske fordeling af 'år-år'-stationerne set i lyset af variationen i økologisk kvalitet og fysisk-kemiske variable mellem georegionerne. Det er særligt bemærkelsesværdigt, at denne type stationer ikke findes i tre ud af ti regioner, nemlig Thy, Nordjylland og Djursland (figur 5.5.). Dette resulterer i en ujævn geografisk

438
439
440
441

repræsentation, hvor nogle georegioner er overrepræsenterede, mens andre slet ikke er repræsenterede. Det er vigtigt at tage denne geografiske ubalance i betragtning ved generalisering af resultaterne fra 'år-år'-stationerne til en bredere geografisk kontekst.

Udkast

6 Sammenhæng mellem det bentiske kiselalgeindeks' økologiske tilstand og miljømæssige variabler

Dette kapitel beskriver detaljeret indflydelsen af alkalinitet, BI5 og næringsstoffer på den økologiske tilstand af vandløb vurderet af SID_TID. Der er foretaget en analyse af den statistiske sammenhæng mellem disse variabler, og på grund af regionale forskelle i disse inkluderede vi den potentielle effekt af georegioner på SID_TID. Kapitlet fokuserer på en analyse af den statistiske signifikans af de forskellige miljøvariabler for SID_TID og de regionale forskelles betydning for analyserne, som omfattede:

1. De vigtigste fysisk-kemiske variabler med indvirkning på sammensætningen af bentiske kiselalger og forskellene mellem georegioner.
2. Den overordnede effekt af fysisk-kemiske variabler på EQR (SID_TID).
3. Effekten af fysisk-kemiske variabler på EQR (SID_TID) i forhold til indvirkningen af regionale forskelle.

Analyserne er baseret på det fulde datasæt, der dækker ti års prøvetagning og 1.489 prøver af bentiske kiselalger. Dataene er sammenholdt med tilgængelige data for alkalinitet, BI5, PO₄, NO₂₋₃ og NH₄.

6.1 Indvirkninger af fysisk-kemiske variabler på sammensætningen af kiselalger og regionale forskelle

De vigtigste faktorer, der påvirker sammensætningen af bentiske kiselalger i danske vandløb, blev identificeret ved hjælp af afstandsbaseret redundansanalyse (db-RDA).

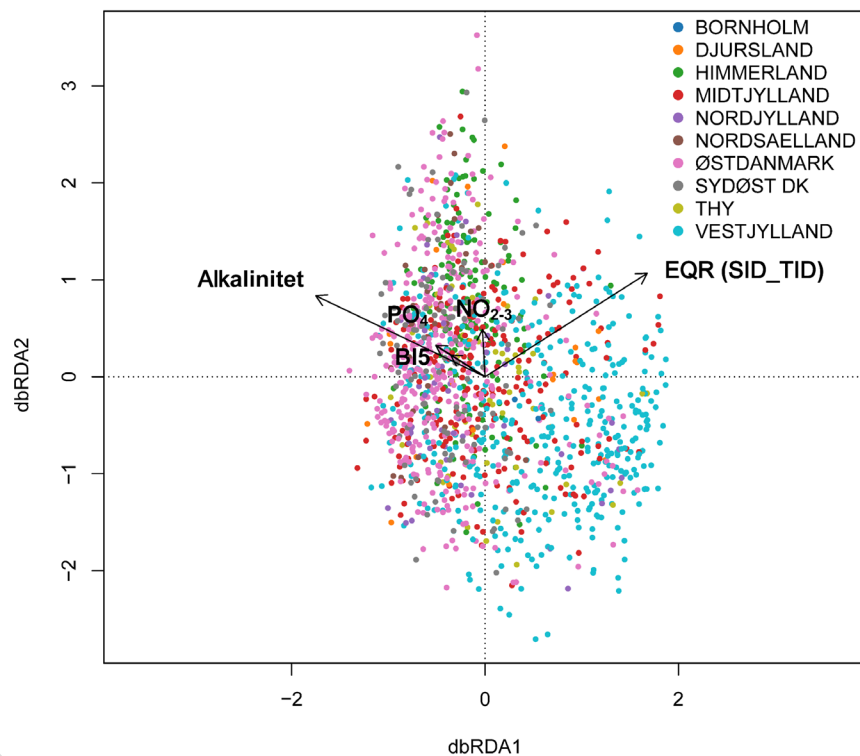
Modeldetaljer

En bagudrettet trinvis udvælgelse af variabler blev foretaget, begyndende med den fulde model, der inkluderede alle variabler samt EQR (SID_TID), hvor variablerne blev fjernet én ad gangen, hvis de ikke var signifikante, eller hvis deres variansinflationsfaktor (VIF) var større end 10. Den endelige model inkluderede EQR (SID_TID), alkalinitet, PO₄, BI5 og NO₂₋₃, som alle var signifikante og havde en VIF <10. Db-RDA-modellen var signifikant (F= 26,7, DF= 1,398, p = 0,001).

EQR (SID_TID) viste en negativ sammenhæng med alkalinitet og i mindre omfang også med PO₄ og BI5 (figur 6.1.). Omvendt viste NO₂₋₃ ingen klar sammenhæng med EQR (SID_TID) eller med alkalinitet, BI5 eller PO₄. Højere EQR (SID_TID)-værdier forekom hovedsageligt på stationer i Vestjylland og Midtjylland. Alkalinitet var derimod korreleret med lokaliteter i Østdanmark og Sydøstdanmark (figur 6.1.). Alkalinitet var positivt korreleret med PO₄ og BI5, selv om disse to variabler viste en lavere korrelation med sammensætningen af bentiske kiselalger.

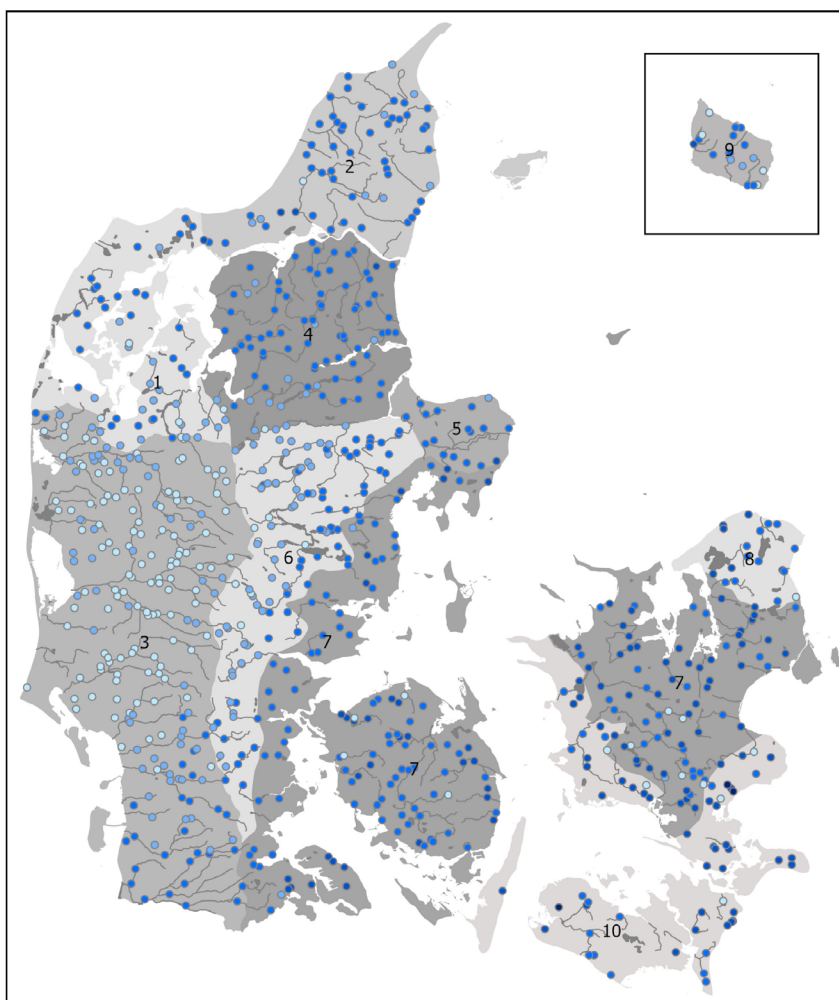
Resultaterne bekræfter, at alkalinitet spiller en mere dominerende rolle i sammensætningen af bentiske kiselalger end PO₄. De indikerer også, at der er forskelle i kiselalgesammensætningen mellem georegionerne, som er omvendt korreleret med alkalinitet eller EQR (SID_TID). Variationen i fysisk-kemiske variabler mellem regionerne (figur 3.2. og figur 6.2-6.6.) kan, især

Figur 6.1. Afstands-baseret redundansanalyse (db-RDA) af sammensætningen af benthiske kiselalger i danske vandløb i forhold til alkalinitet PO_4 , BI5 and NO_{2-3} .



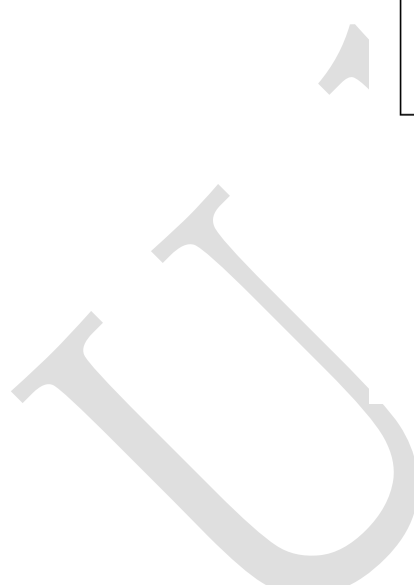
De geografiske mønstre er tydelige for nogle variabler såsom alkalinitet, hvis værdier er lavest i Vestjylland, især i de centrale og nordlige områder (figur 6.2.). For andre variabler som PO_4 og BI5 er mønstrene stort set ens med lavere værdier i Vestjylland og højere værdier i Østjylland (figur 6.3. og 15). Mønstrene for kvælstof var ikke lige så tydelige, hvorfor det ikke var muligt at påvise klare forskelle i NO_{2-3} - eller NH_4 -værdierne, der stemmer overens med variationsmønstrene i EQR (SID_TID) eller alkalinitet (figur 6.5.-6.6.).

Figur 6.2. Alkalinitet i danske vandløb iht. georegion baseret på gennemsnittet af de seneste data for hver station i perioden 2013-2022.

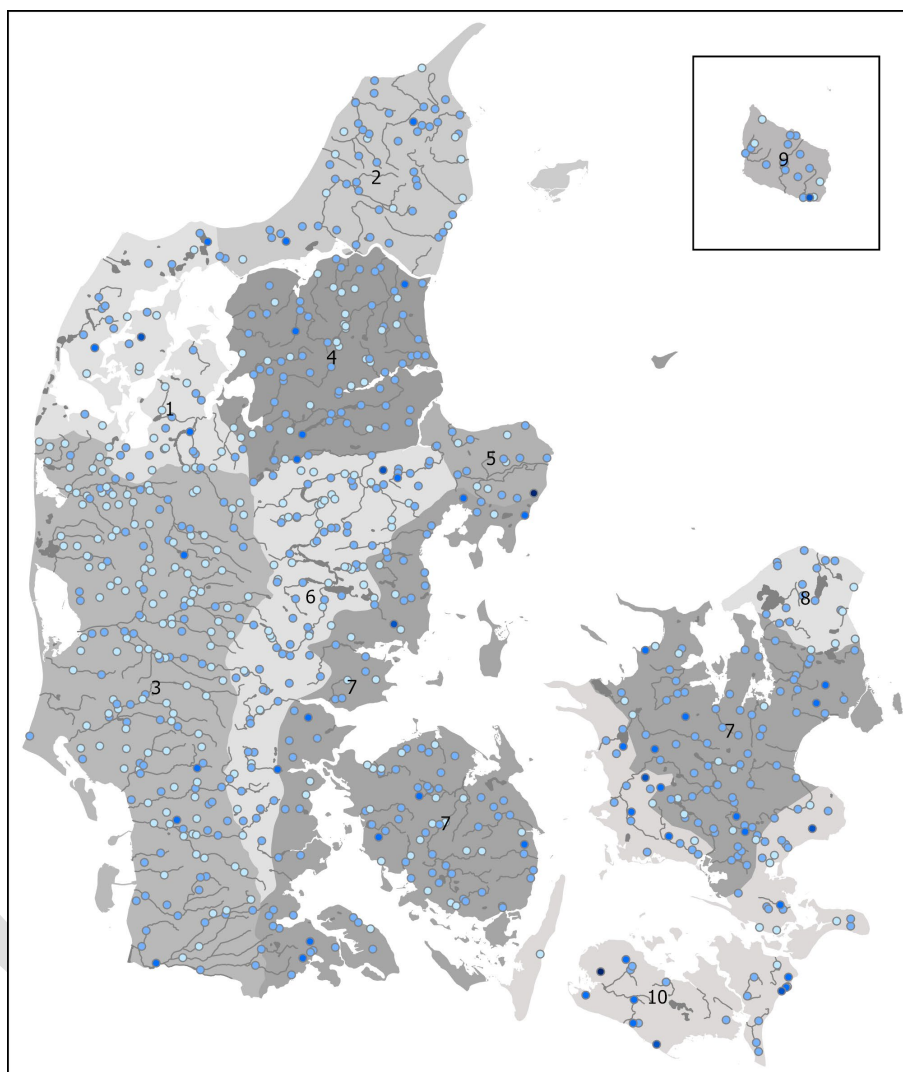


- Georegion**
- 1 Thy
 - 2 Nordjylland
 - 3 Vestjylland
 - 4 Himmerland
 - 5 Djursland
 - 6 Midtjylland
 - 7 Østdanmark
 - 8 Nordsjælland
 - 9 Bornholm
 - 10 Sydøstdanmark

- Alkalinitet (meq/l)**
- 0 - 1
 - 1 - 2,5
 - 2,5 - 5
 - 5 - 10
 - > 10



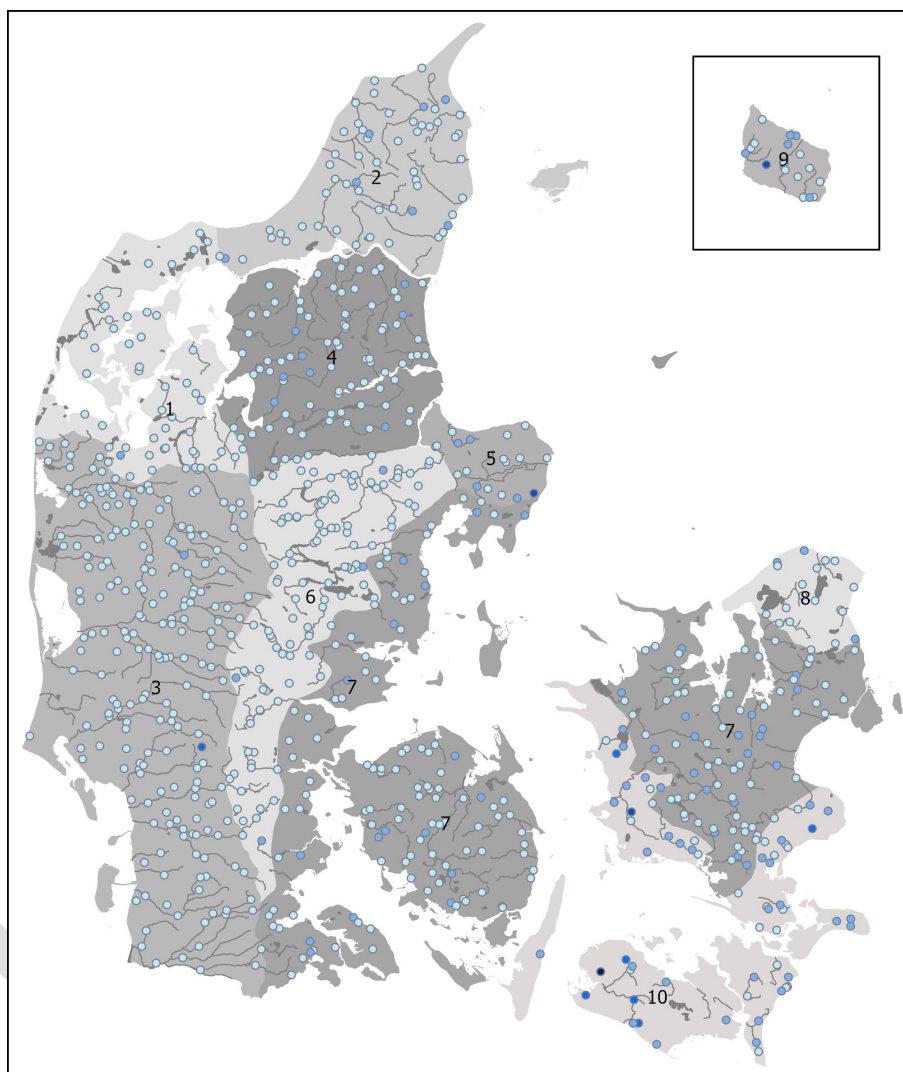
Figur 6.3. BI5 i danske vandløb iht. georegion baseret på gennemsnittet af de seneste data for hver station i perioden 2013-2022.



- Georegion**
- 1 Thy
 - 2 Nordjylland
 - 3 Vestjylland
 - 4 Himmerland
 - 5 Djursland
 - 6 Midtjylland
 - 7 Østdanmark
 - 8 Nordsjælland
 - 9 Bornholm
 - 10 Sydøstdanmark

- BI5 (mg/l)**
- 0 - 1
 - 1 - 2,5
 - 2,5 - 5
 - 5 - 10
 - > 10

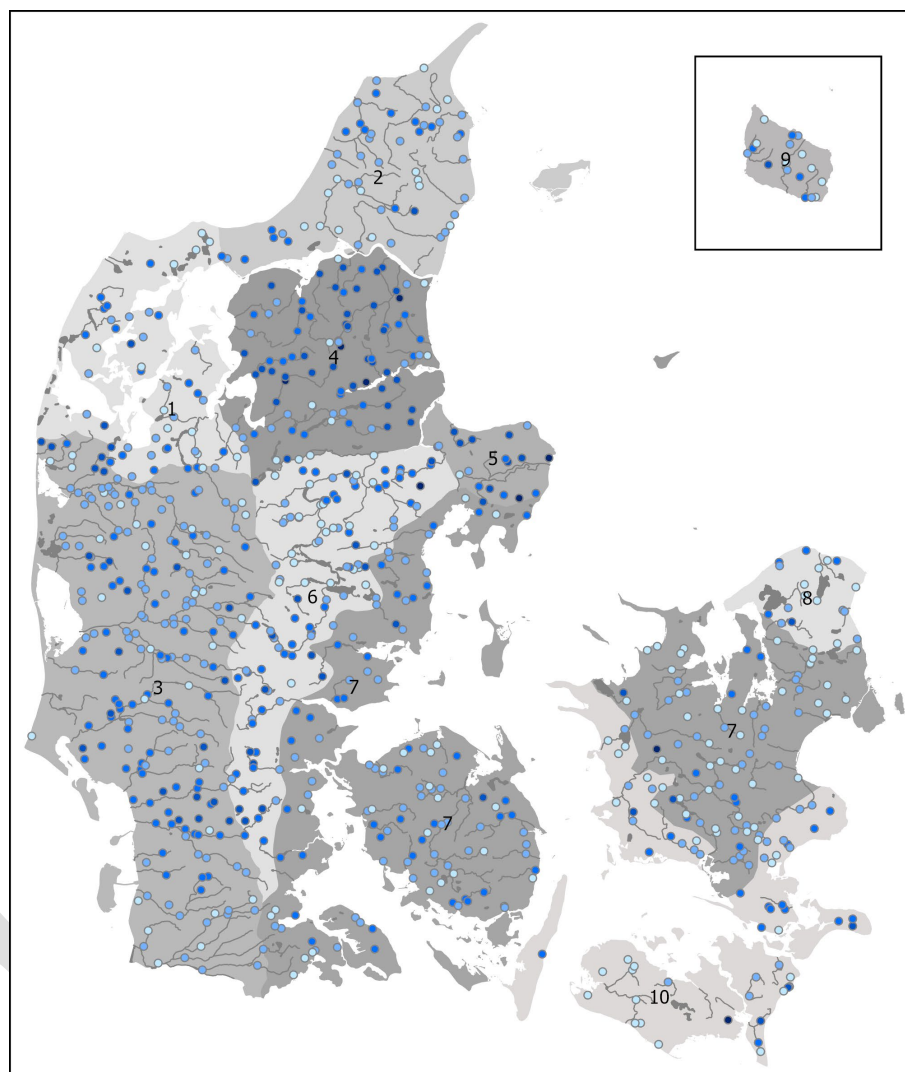
Figur 6.4. Ortofosfat (PO₄) i danske vandløb iht. georegion baseret på gennemsnittet af de seneste data for hver station i perioden 2013-2022.



- Georegion**
- 1 Thy
 - 2 Nordjylland
 - 3 Vestjylland
 - 4 Himmerland
 - 5 Djursland
 - 6 Midtjylland
 - 7 Østdanmark
 - 8 Nordsjælland
 - 9 Bornholm
 - 10 Sydøstdanmark

- PO4 (mg/l)**
- 0 - 0,1
 - 0,1 - 0,5
 - 0,5 - 1
 - 1 - 2,5
 - > 2,5

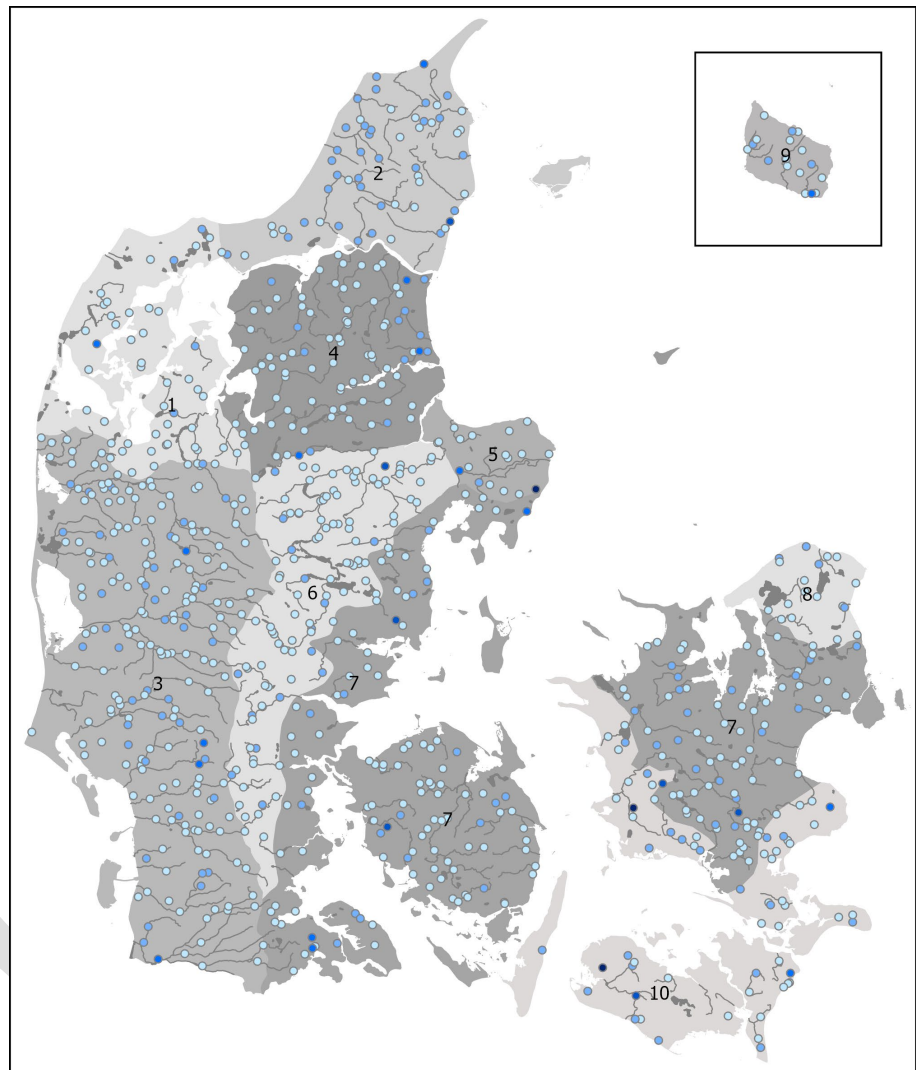
Figur 6.5. Nitrat og nitrit ($\text{NO}_{2,3}$) i danske vandløb iht. georegion baseret på gennemsnittet af de seneste data for hver station i perioden 2013-2022.



- Georegion**
- 1 Thy
 - 2 Nordjylland
 - 3 Vestjylland
 - 4 Himmerland
 - 5 Djursland
 - 6 Midtjylland
 - 7 Østdanmark
 - 8 Nordsjælland
 - 9 Bornholm
 - 10 Sydøstdanmark

- NO 2-3 (mg/l)**
- 0 - 1
 - 1 - 2,5
 - 2,5 - 5
 - 5 - 10
 - > 10

Figur 6.6. Ammonium (NH₄) i danske vandløb iht. georegion baseret på gennemsnittet af de seneste data for hver station i perioden 2013-2022.



- Georegion**
- 1 Thy
 - 2 Nordjylland
 - 3 Vestjylland
 - 4 Himmerland
 - 5 Djursland
 - 6 Midtjylland
 - 7 Østdanmark
 - 8 Nordsjælland
 - 9 Bornholm
 - 10 Sydøstdanmark

- NH₄ (mg/l)**
- 0 - 0,1
 - 0,1 - 0,5
 - 0,5 - 1
 - 1 - 10
 - > 10

503

504

505

506

507

508

509

510

511

512

513

514

515

6.2 Indvirkninger af fysisk-kemiske variabler på EQR (SID_TID)

Den generelle sammenhæng mellem fysisk-kemiske variabler med EQR (SID_TID) er beskrevet af en lineær mixed-effects model, hvor prøvetagningsstationerne er inkluderet som en tilfældig effekt.

Modeldetaljer

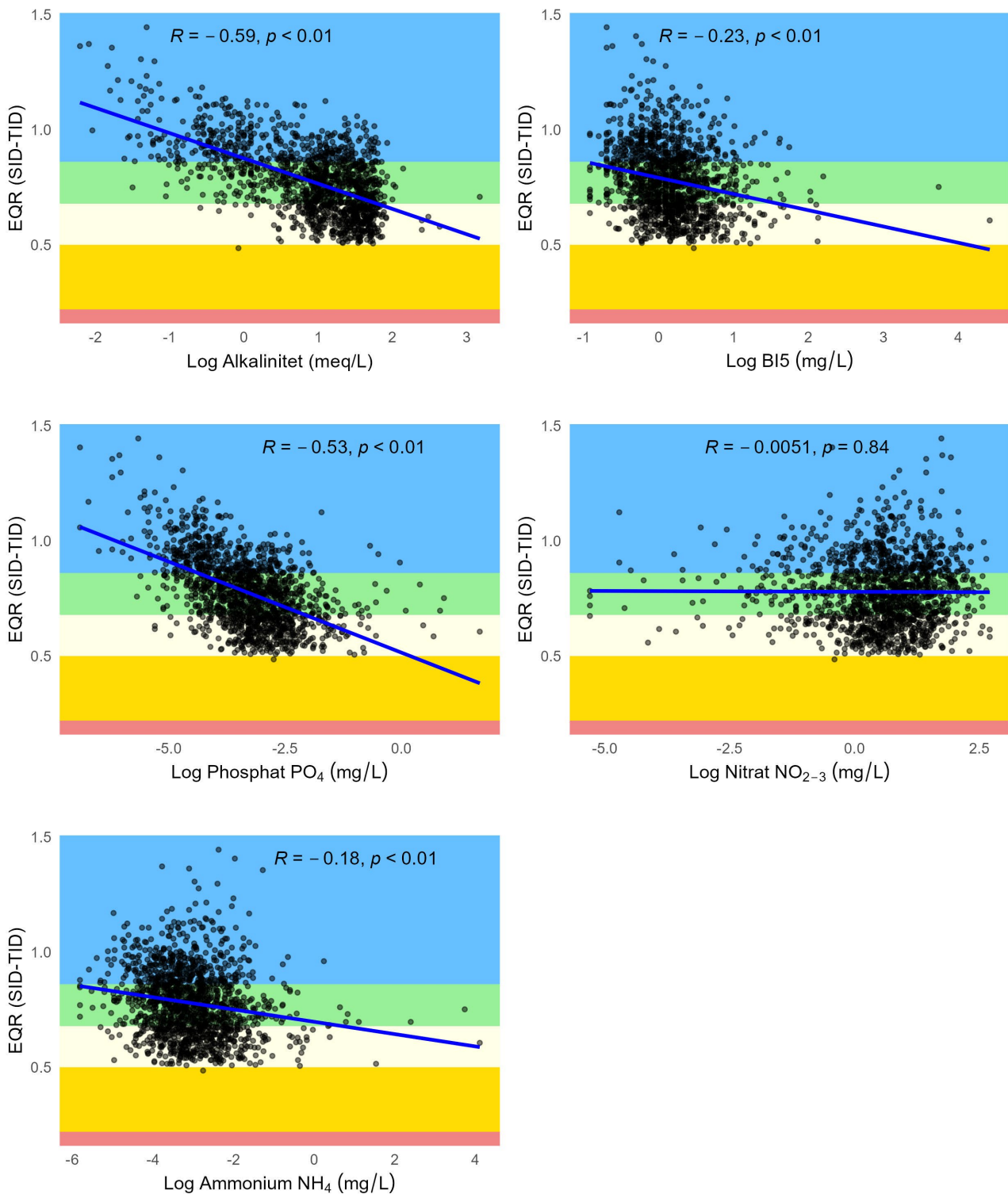
EQR (SID_TID) var negativt korreleret med logaritmen af: alkalinitet ($t = -13,83$, $p < 0,01$), PO_4 ($t = -7,00$, $p < 0,01$) og NO_{2-3} ($t = -2,51$, $p = 0,01$) iht. formelen:

516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539

$$\text{EQR}(\text{SID_TID}) = 0,75 - 0,083 \times \log(\text{Alkalinitet}) - 0,032 \times \log(\text{PO}_4) - 0,008 \times \log(\text{NO}_{2,3})$$

Modelfittet var AIC = -2146,7, BIC = -2115,1 med en log-likelihood = 1079,3. Den marginale R²-værdi, som kun tager højde for variabelernes effekt, var 0,39, mens den betingede R²-værdi, som inkluderer den tilfældige effekt af prøvestationerne, var 0,50. Dette indikerer, at både faste og tilfældige effekter bidrager væsentligt til at forklare variationen i EQR (SID_TID).

Resultaterne viser den samlede negative effekt af alkalinitet, ortofosfat og nitrat på EQR (SID_TID). De bekræfter yderligere den dominerende effekt af alkalinitet på EQR (SID_TID), hvilket stemmer overens med resultaterne præsenteret i de tidligere kapitler. Hvor betydningen af alkalinitet og ortofosfat var forventet ud fra tidligere resultater, inkluderer modellen den negative effekt af NO_{2,3} på EQR (SID_TID). NO_{2,3} viste ingen signifikant korrelation med alkalinitet eller PO₄. Desuden blev dens effekt på EQR (SID_TID) ikke observeret isoleret, som tilfældet var med alkalinitet og PO₄ (figur 6.7). NO_{2,3} er derfor en supplerende variabel, der forklarer den del af variationen i EQR (SID_TID), som ikke forklares af alkalinitet og ortofosfat. Andre testede variabler, såsom NH₄ og BI5, havde ingen signifikant indvirkning på EQR (SID_TID) i modellen, når de var inkluderet sammen med andre variabler, og heller ingen signifikant korrelation (>50%), når man betragtede den adskilte korrelationseffekt med EQR (SID_TID) (figur 18).



Figur 6.7. Korrelation mellem EQR (SID_TID) og de vigtigste miljømæssige variable: alkalinitet, BI5, ortofosfat (PO_4), nitrat (NO_{2-3}) og ammonium (NH_4).

540

541

542

543

544

545

6.3 Indvirkninger af fysisk-kemiske variable på EQR (SID_TID) i forhold til regionale forskelle

I betragtning af variationen i EQR (SID_TID) og tilknyttede miljøvariable mellem regionerne blev denne faktor integreret som en signifikant prædiktor for EQR (SID_TID). Lineære mixed-effekt modeller blev anvendt til at

546
547

analysere, hvordan miljøvariablerne var forbundet med EQR (SID_TID) afhængigt af den betragtede georegion.

548
549
550

Modetaljer

Den endelige model inkluderede log-transformeret alkalinitet og ortofosfat som responsvariabler og med georegion som kategorisk prædikator:

551

$$\text{EQR}(\text{SID_TID}) = 0,78 + \alpha_i - 0,099 * \log(\text{Alkalinitet}) - 0,041 * \log(\text{PO}_4),$$

552

hvor α_i er estimeret for hver georegion (tabel 6.1.).

553
554
555
556
557
558

Modelfittet var AIC = -2078,5, BIC = -2069,4 med en log-likelihood = 2082,5 og $R^2 = 0,45$. Modellen indikerede en signifikant negativ effekt af log alkalinitet ($t = -12,91$, $p < 0,01$) og log PO_4 ($t = -8,40$, $p < 0,01$) på EQR (SID_TID), hvilket tyder på, at højere niveauer af alkalinitet og ortofosfat er koreleret med lavere EQR (SID_TID) med effekter, der varierer på tværs af georegioner.

Table 6.1. Resultater fra EQR (SID_TID)-modellen inklusive georegioner, estimat (α_i), frihedsgrader (DF), t-værdi og p-værdi.

Georegion	Estimat	Standard-	DF	t-værdi	p-værdi	
no	α_i	fejl				
Skæringspunkt	0,331	0,023	702	14,13	<0,0001	
Thy	1	-0,053	0,022	630	-2,44	0,0151
Nordjylland	2	-0,113	0,021	630	-5,35	<0,0001
Vestjylland	3	-0,083	0,021	630	-4,00	<0,0001
Himmerland	4	0,001	0,019	630	0,04	0,9650
Djursland	5	0,024	0,029	630	0,84	0,4011
Midtjylland	6	-0,106	0,019	630	-5,58	<0,0001
Østdanmark	7	-0,031	0,016	630	-1,90	0,0576
Nordsjælland	8	-0,042	0,028	630	-1,47	0,1420
Bornholm	9	-0,013	0,033	630	-0,39	0,6961
Sydøstdanmark	10	0
Log Alkalinitet	-0,099	0,008	630	-12,91	<0,0001	
Log PO_4	-0,041	0,005	630	-8,40	<0,0001	

559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575

Modellen, der inkluderer georegioner som en kategorisk prædikator, præsterede bedre og udviste en højere korrelation med EQR (SID_TID) end den overordnede model. Modellens estimater er negative for de fleste georegioner, undtagen Sydøstdanmark, Himmerland og Djursland (tabel 6.1.). De fleste af disse sammenhænge var dog ikke signifikante ($p > 0,05$, tabel 6.1.), hvilket indikerer, at alkalinitet og fosfat spiller en vigtig rolle i forudsigelsen af EQR (SID_TID) for regionerne Vestjylland, Midtjylland, Nordjylland og Thy. Disse regioner udviste således forskellige økologiske tilstande iht. EQR (SID_TID) samt forskellige niveauer af alkalinitet og ortofosfat ($p < 0,05$). Evnen til at forudsige EQR (SID_TID) er derfor ikke forbundet med noget bestemt PO_4 -interval eller alkalinitet, da betydningen af en given stigning i alkalinitet eller ortofosfat varierer mellem regioner. Ligeledes inkluderer modellen med georegioner - i modsætning til den overordnede model - ikke NO_{2-3} . Dette skyldes sandsynligvis en modsat effekt af NO_{2-3} mellem regionerne sammenlignet med alkalinitet og PO_4 samt en stærkere indvirkning af disse to variabler på EQR (SID_TID), hvilket kan maskere effekten af NO_{2-3} ved inddragelse af den regionale effekt.

7 Diskussion

577 Danske vandløbs økologiske kvalitet i perioden 2013-2022 vurderet ved hjælp
 578 af det bentiske kiselalgeindeks SID_TID har generelt været god. Cirka en tred-
 579 jedel af stationerne var i 'Høj' økologisk tilstand, mens en tredjedel af statio-
 580 nerne lå under tærsklen for 'God' økologisk tilstand, næsten udelukkende i
 581 'Moderat'. Resultaterne fra nærværende undersøgelse understøtter i høj grad
 582 resultaterne fra en tidligere rapport, som analyserede data fra perioden 2013-
 583 2020 (Pacheco *et al.*, 2023), og udvider samtidig datasættets og analysens fo-
 584 kus. Den tidligere rapport fokuserede især på analysen af rumlige og tids-
 585 mæssige mønstre i økologisk kvalitet vurderet ved hjælp af SID_TID-indekset
 586 og dets tilknytning til fysisk-kemiske variabler. Data i nærværende rapport
 587 viser hovedsageligt god eller høj økologisk kvalitet; dog viser cirka en tred-
 588 jedel af prøverne 'Lav' økologisk kvalitet for perioden 2013-2022. Det stem-
 589 mer overens med de mønstre, der tidligere er blevet påvist for perioden 2013-
 590 2020 (Pacheco *et al.*, 2023; Baattrup-Pedersen *et al.*, 2024). Derudover har an-
 591 delen af stationer med 'Høj' økologisk kvalitet været lavere i de seneste år
 592 sammenlignet med den samlede periode (2013-2022). Resultaterne er imidler-
 593 tid kun et øjebliksbillede af den mest aktuelle tilstand og kan ikke betragtes
 594 som en analyse af tidsmæssig variation i økologisk kvalitet.

595 Den økologiske kvalitet varierer mellem Danmarks georegioner, hvilket ho-
 596 vedtelligt er forbundet med variationer i alkalinitet og fosfatniveauer.
 597 Vestjylland, som har lave alkalinitet- og ortofosfatværdier, har også de laveste
 598 BI5-værdier og de højeste gennemsnitlige SID_TID-værdier. Omvendt har re-
 599 gioner med høje koncentrationer af ortofosfat, alkalinitet og BI5 lave SID_TID-
 600 værdier. Samlet set tyder resultaterne på et øst-vest mønster med bedre øko-
 601 logisk tilstand mod vest, hvor Vestjylland skiller sig ud med den bedste øko-
 602 logiske vandløbstilstand.

603 Dette kan forklares ved den negative sammenhæng mellem SID_TID og PO_4 ,
 604 men især med alkalinitet, som varierer betydeligt mellem georegionerne.
 605 Faktisk viste SID_TID en stærkere korrelation med alkalinitet end med PO_4 ,
 606 indikatoren for organisk forurening, som indekset oprindeligt blev udviklet
 607 og testet på (Andersen *et al.*, 2018). Denne stærke indflydelse af alkalinitet på
 608 SID_TID er tidligere blevet analyseret og tilskrives oplandets geologi (Baat-
 609 trup-Pedersen *et al.*, 2022, 2023), men forbruget af gødning i landbruget kan
 610 også være af betydning, som observeret internationalt (Pacheco *et al.*, 2023)

611 Resultaterne præsenteret i denne rapport understøtter sammenhængen mel-
 612 lem SID_TID og alkalinitet samt ortofosfat (Pacheco *et al.*, 2023; Baattrup-Pe-
 613 dersen *et al.*, 2022, 2023, 2024). De fremhæver også den negative effekt af NO_{2-3}
 614 på SID_TID, som ikke tidligere er blevet påvist. Dog havde NO_{2-3} , i modsæt-
 615 ning til PO_4 , ikke en positiv sammenhæng med alkalinitet og viste heller ikke
 616 det rumlige variationsmønster, der forbindes med alkalinitet og PO_4 . Faktisk
 617 forsvinder den signifikante effekt af NO_{2-3} på SID_TID, når de regionale for-
 618 skelle tages i betragtning, muligvis på grund af de betydelige variationer mel-
 619 lem og inden for regionerne i modsætning til PO_4 og alkalinitet, som samva-
 620 rierer.

621 SID_TID viste stort set ingen ændringer over tid for år-år-stationer. Ud af
 622 de 34 stationer, hvor 'år-år'-overvågningsdata blev analyseret, viste kun tre
 623 en stigende tendens og kun én en faldende tendens. Kun to af de tre stationer

624 med en markant positiv tidsmæssig tendens viste tilknytning til en fysisk-ke-
625 misk variabel, den ene med PO₄ og den anden med BI5. Dette tyder på tilfæl-
626 dig udvælgelse af nogle få stationer med en vis type tendens i forhold til en
627 meget større total uden nogen generel tendens. Det skal dog understreges, at
628 cirka en tredjedel af 'år-år'-stationerne er beliggende i Vestjylland, regionen
629 med de højeste SID_TID-værdier for økologisk kvalitet; i andre regioner fin-
630 des denne type stationer slet ikke. Resultaterne skal derfor tages med forbe-
631 hold, hvad angår de tidsmæssige mønstre i økologisk tilstand vurderet af
632 SID_TID på overordnet niveau.

633 Et af målene med denne rapport var at analysere den negative sammenhæng
634 mellem SID_TID, alkalinitet og ortofosfat med henblik på at afdække de mu-
635 lige årsager til de tidsmæssige og rumlige variationer og mulige indvirknin-
636 ger af menneskelig aktivitet (fx landbrugets brug af gødning) på stigningen i
637 alkalinitet og PO₄. Med dette for øje blev udført en analyse af geografiske og
638 tidsmæssige variationer og faktorer knyttet til brugen af oplandet (fx landbru-
639 gets indvirkning). Der blev dog ikke observeret tidsmæssige variationsmøn-
640 stre eller tilknytning til brugen af oplandet, der understøtter, at menneskelige
641 aktiviteter påvirker alkaliniteten og dermed SID_TID. Dette betyder dog ikke,
642 at der ikke findes en forbindelse mellem gødskning og øget alkalinitet, som er
643 en bredt dokumenteret proces verden over (Pacheco *et al.*, 2023). Manglen på
644 evidens tyder snarere på begrænsninger i de analyserede data. En mulig årsag
645 kan være valget af 'påvirkning' som en generel indikator for oplandsaktivite-
646 ter, da denne er en overordnet indirekte indikator for de vigtigste aktiviteter
647 i og dermed påvirkninger fra oplandet. Den omfatter imidlertid ikke detalje-
648 rede oplysninger om landbrugsdrift i oplandet såsom data på intensiteten af
649 landbruget, forbruget af kunstgødning eller jordens karakteristika, som ville
650 have været mere velegnede til den udførte analyse. Derudover vil en mere
651 detaljeret analyse af disse variationsmønstre i SID_TID som en reaktion på
652 alkalinitet kræve en analyse af de langsigtede alkalinitetsmønstre opdelt på
653 georegion, hvilket vil muliggøre en mere omfattende påvisning af tidsmæs-
654 sige mønstre, der tager højde for forskellene i alkalinitet imellem georegio-
655 nerne. Den udførte undersøgelse inkluderede heller ikke klimavariationer
656 som en faktor, der kunne påvirke alkaliniteten, næringsstofferne og bentiske
657 kiselalger i vandløb (fx øget nedbør, som påvirker afstrømning og udledning)
658 (Calvo *et al.*, 2022; Pacheco *et al.*, 2022).

659 Parrede data var ikke tilgængelige på grund af de tidsmæssige forskelle mel-
660 lem prøvetagningerne af bentiske kiselalger og fysisk-kemiske variable,
661 hvorfor gennemsnitsdata for perioden april-september blev anvendt i stedet.
662 Denne markant længere periode end perioden for indsamling af bentiske ki-
663 selalger kan have introduceret usikkerhed i vurderingen af de fysisk-kemiske
664 data betydning for indekset fordi forskellene i klimatiske forhold gennem pe-
665 rioden, der kan påvirke de fysisk-kemiske variable. Denne forskel mellem
666 prøvetagningstidspunkter og klimavariationer i de enkelte år og årene imel-
667 lem kan således have maskeret de tidsmæssige sammenhængsmønstre mel-
668 lem SID_TID og de tilknyttede fysisk-kemiske variable såsom alkalinitet og
669 PO₄.

624
625
626
627
628
629
630
631
632

633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658

659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669

670

8 Referencer

- 672 Andersen, D.K., Larsen, S.E., Johansson, L.S., Alnøe, A.B. & Baattrup-Peder-
673 sen, A., 2018. Udvikling af biologisk indeks for bentiske alger (fytobenthos) i
674 danske vandløb. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og
675 Energi, 42 s. - Videnskabelig rapport nr. 296.
676 <http://dce2.au.dk/pub/SR296.pdf>
- 677 Baattrup-Pedersen, A., Johnsen, T.J. & Riis, T., 2021. Betydningen af danske
678 vandløbs alkalinitet for de bentiske algesamfund. Aarhus Universitet, DCE -
679 Nationalt Center for Miljø og Energi, 34 s. - Videnskabelig rapport nr. 440
680 <http://dce2.au.dk/pub/SR440.pdf>
- 681 Baattrup-Pedersen, A., Johnsen, T.J., Larsen, S.E. & Riis, T., 2022. Alkalinity
682 and diatom assemblages in lowland streams: How to separate alkalinity from
683 inorganic phosphorus in ecological assessments? *Science of the Total Environ-*
684 *ment*, 823, p.153829.
- 685 Baattrup-Pedersen, A., Pacheco, J. P. & Riis, T. 2024. Bentiske alger og økolo-
686 gisk tilstand i vandløb. *Vand & Jord*, 31(1), 7-10. [https://online.flipping-](https://online.flipping-book.com/view/242032373/)
687 [book.com/view/242032373/](https://online.flipping-book.com/view/242032373/)
- 688 Calvo, C., Pacheco, J.P., Aznarez, C., Jeppesen, E., Baattrup-Pedersen, A. &
689 Meerhoff, M., 2022. Flow pulses shape periphyton differently according to lo-
690 cal light and nutrient conditions in experimental lowland streams. *Freshwater*
691 *Biology*, 67(7), pp.1272-1286.
- 692 European Standard, 2003. Water quality - Guidance standard for the routine
693 sampling and pretreatment of benthic diatoms from rivers. EN 13946. Euro-
694 pean Committee for Standardization. Ref. No. EN 13946:2003E.
- 695 Kelly, M.G., King, L., Jones, R.I., Barker, P.A. & Jamieson, B.J., 2008. Validation
696 of diatoms as proxies for phytoplankton when assessing ecological tilstand in
697 lakes. *Hydrobiologia*, 610, pp.125-129.
- 698 Pacheco, J.P., Calvo, C., Aznarez, C., Barrios, M., Meerhoff, M., Jeppesen, E.
699 and Baattrup-Pedersen, A., 2022. Periphyton biomass and life-form responses
700 to a gradient of discharge in contrasting light and nutrients scenarios in ex-
701 perimental lowland streams. *Science of the Total Environment*, 806, p.150505.
- 702 Pacheco, J.P, Larsen, S.E. & Baattrup-Pedersen, 2023. Alkalinity and its influ-
703 ence on benthic diatom assessments in Danish running waters. Aarhus Uni-
704 versity, DCE - Danish Centre for Environment and Energy, 31 pp. Scientific
705 Report No. 521. <http://dce2.au.dk/pub/SR521.pdf>
- 706 Poikane, S., Kelly, M. & Cantonati, M., 2016. Benthic algal assessment of eco-
707 logical tilstand in European lakes and rivers: Challenges and opportunities.
708 *Science of the Total Environment*, 568, pp.603-613.
- 709 Wiberg-Larsen, P., Johansson, L.S. & Kallestrup, H., 2023. Fytobenthos i vand-
710 løb. Teknisk anvisning, V21 (version 6). Aarhus
- 711