



ANVENDELSEN AF KVALITETSELEMENTER I IKKE-INTERKALIBREREDE DANSKE SØTYPER

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 139

2015



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

ANVENDELSEN AF KVALITETSELEMENTER I IKKE-INTERKALIBREREDE DANSKE SØTYPER

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 139

2015

Martin Søndergaard
Torben L. Lauridsen

Aarhus Universitet, Institut for Bioscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 139
Titel:	Anvendelsen af kvalitetselementer i ikke-interkalibrerede danske søtyper
Forfattere:	Martin Søndergaard & Torben L. Lauridsen
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Februar 2015
Redaktion afsluttet:	September 2014
Faglig kommentering:	Naturstyrelsen og internt i forfattergruppen
Kvalitetssikring, DCE:	Poul Nordemann Jensen
Finansiel støtte:	Naturstyrelsen
Bedes citeret:	Søndergaard, M. & Lauridsen, T.L. 2015. Anvendelsen af kvalitetselementer i ikke-interkalibrerede danske søtyper. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 48 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 139. http://dce2.au.dk/pub/SR139.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten etablerer en række empiriske sammenhænge mellem søers næringsstofindhold (fosfor og kvælstof) og de tre biologiske kvalitetselementer (planteplankton, undervandsplanter og fisk) og de tilhørende indices, der indgår i den økologiske klassificering af søer. For indholdet af klorofyl <i>a</i> kan der etableres sammenhænge til næringsstofindhold for mere end 90% af de danske søer, mens der for de tre kvalitetselementer kun kan etableres stærke relationer for halvdelen eller mindre. Rapporten giver også forslag til hvordan næringsstofindholdet kan anvendes som støtteparametre i den økologiske klassificering.
Emneord:	Søer, vandrammedirektiv, økologisk klassificering, planteplankton, undervandsplanter, fisk, støtteparametre, næringsstofindhold.
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Martin Søndergaard
ISBN:	978-87-7156-125-8
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	48
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR139.pdf

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
1 Indledning og baggrund	7
1.1 Baggrund	7
1.2 Formål	7
1.3 Danske søtyper og EU-søtyper	8
1.4 Søtyper og økologiske klassificering på baggrund af klorofyl <i>a</i>	9
2 Metoder og data	10
2.1 Metoder	10
2.2 Databaggrund og analyser	11
3 Biologiske kvalitetselementer	12
3.1 Klorofyl <i>a</i>	12
3.2 Fytoplankton	17
3.3 Undervandsplanter	22
3.4 Fisk	27
4 Vandkemiske støtteparametre	31
4.1 Anvendelsen af støtteparametre i klassificeringen	31
4.2 Analyse af danske data, god-moderat grænse	31
4.3 Hvordan anvendes vandkemiske støtteparametre, og er der fælles EU-retningslinjer?	37
4.4 Forslag til anvendelsen af kemiske støtteparametre, god-moderat grænse	38
4.5 Analyse af danske data, høj-god grænse	39
5 Resumé/konklusioner	46
6 Referencer	48

[Tom side]

Forord

Denne rapport beskriver sammenhænge mellem danske søer næringsstofindhold og de biologiske kvalitetselementer (planteplankton, undervandsplanter og fisk), der anvendes til at beskrive deres økologiske kvalitet. Sammenhængene er etableret for alle de 11 forskellige danske søtyper, hvorfra der findes tilstrækkeligt med data, dvs. også for andre end de to interkalibrerede søtyper 9 og 10. Der gives også forslag til, hvordan næringsstofindholdet kan anvendes som støtteparameter i den økologiske klassificering.

Sammenfatning

Vurderingen af danske søers økologiske kvalitet, skal foretages på baggrund af Vandrammedirektivet biologiske kvalitetselementer. I forbindelse med direktivets implementering er der allerede udarbejdet indices og gennemført en EU-interkalibrering for de to almindeligste danske søtyper (søtype 9 og 10) og to kvalitetselementer (undervandsplanter og planteplankton). Disse to søtyper repræsenterer imidlertid kun omkring halvdelen af de danske vandplansøer og Danmark har en forpligtigelse til at "overføre" resultatet fra de interkalibrerede søtyper til nationale søtyper.

Formålet med denne rapport er, at vurdere i hvilket omfang det er muligt umiddelbart at overføre eksisterende indices fra interkalibrerede danske søtyper til ikke-interkalibrerede søtyper. Kvalitetsindices for de tre kvalitetselementer undervandsplanter, planteplankton (herunder også klorofyl *a*) og fisk relateres til indholdet af totalfosfor og totalkvælstof (TP, TN). Det har endvidere været formålet at vurdere, hvordan de fysisk-kemiske kvalitetselementer (fosfor og kvælstof) supplerende kan indgå i tilstandsvurderingen.

For næsten alle vandplansøer er der data og signifikante sammenhænge, som bekræfter, at klorofyl *a* kan anvendes til at udtrykke en eutrofieringspåvirkning. For planteplanktonindekset er der data, som muliggør relationer i knap 80% af vandplansøerne, men kun i ca. halvdelen af disse, kan der etableres stærke sammenhænge ($R^2 > 0,25$). For undervandsplanter er der data fra godt 60% af vandplansøerne, hvoraf der kan etableres relativ stærke sammenhænge for de to interkalibrerede søtyper. For fiskeindekset kan der etableres relationer for 70% af søerne, men ingen af disse er stærke og har alle en R^2 -værdi under 0,25.

Svage relationer til TP og TN er et udtryk for, at de biologiske forhold og de indikatorer, som indgår i indekset påvirkes af mange andre forhold end lige præcis koncentrationen af totalfosfor eller totalkvælstof. Disse omfatter blandt andet utallige biologiske interaktioner, men i nogle situationer også, at datamængden er utilstrækkelig eller kun repræsenterer en lille gradient af den påvirkningsfaktor, der undersøges, dvs. her eutrofiering, og at mange af de søer, som indgår i analyserne, er næringsrige og dermed giver et dårligt grundlag for at fastsætte god-moderat grænsen.

I en analyse af anvendelsen af TP og TN som støtteparametre i den økologiske klassificering, er der angivet de koncentrationer, der medfører at mindst hhv. 25%, 50% og 75% af søerne opnår mindst god økologisk tilstand for de forskellige kvalitetselementer. Eksempelvis må fosforindholdet højest være mellem 55 og 80 $\mu\text{g/l}$ i de lavvandede søer og 30-36 $\mu\text{g/l}$ i de dybe søer afhængig af hvilket kvalitetselement, der anvendes, hvis mindst 50% af søerne skal opnå en god økologisk tilstand.

1 Indledning og baggrund

1.1 Baggrund

EU's Vandrammedirektiv danner baggrund for vurderingen af den økologiske kvalitet i de danske søer og hvilken indsats, der evt. skal iværksættes for at forbedre deres kvalitet. I forbindelse med direktivets implementering er der for de to almindeligste danske søtyper (søtype 9 og 10) og to kvalitets-elementer (undervandsplanter og fytoplankton) allerede udarbejdet indices og gennemført en EU-interkalibrering for, hvordan den økologiske kvalitet kan fastsættes. Der henvises til Søndergaard et al. (2013) for en beskrivelse af de enkelte indices og hvilke indikatorer, de omfatter. Søtype 9 og 10 repræsenterer imidlertid kun omkring halvdelen af de danske vandplansøer og med EU-Kommissionens interkalibreringsbeslutning af 20. september 2013 følger en forpligtigelse for medlemslandene til at "overføre" resultatet fra de interkalibrerede søtyper (L-CB1 og L-CB2, omtrent svarende til søtype 9 og 10) til nationale søtyper.

Naturstyrelsen ønsker på denne baggrund en analyse af hvorvidt og i givet fald hvordan, der kan ske en overføring/oversættelse af de interkalibrerede kvalitetsindices til de ikke interkalibrerede nationale søtyper for fytoplankton (herunder parameteren klorofyl *a*) og undervandsvegetation, samt hvordan det nationale indeks for fisk, der ikke er interkalibreret endnu, kan tilpasses andre nationale søtyper. Med overføring menes, at de interkalibrerede kvalitetsindices direkte kan anvendes på søtyper, der ikke indgår i interkalibreringen, mens der med oversættelse menes, at det skal vurderes om de interkalibrerede indices kan modificeres, så de passer på de søtyper, der ikke er interkalibrerede. Resultaterne skal bruges i forbindelse med udarbejdelse af de kommende vandområdeplaner.

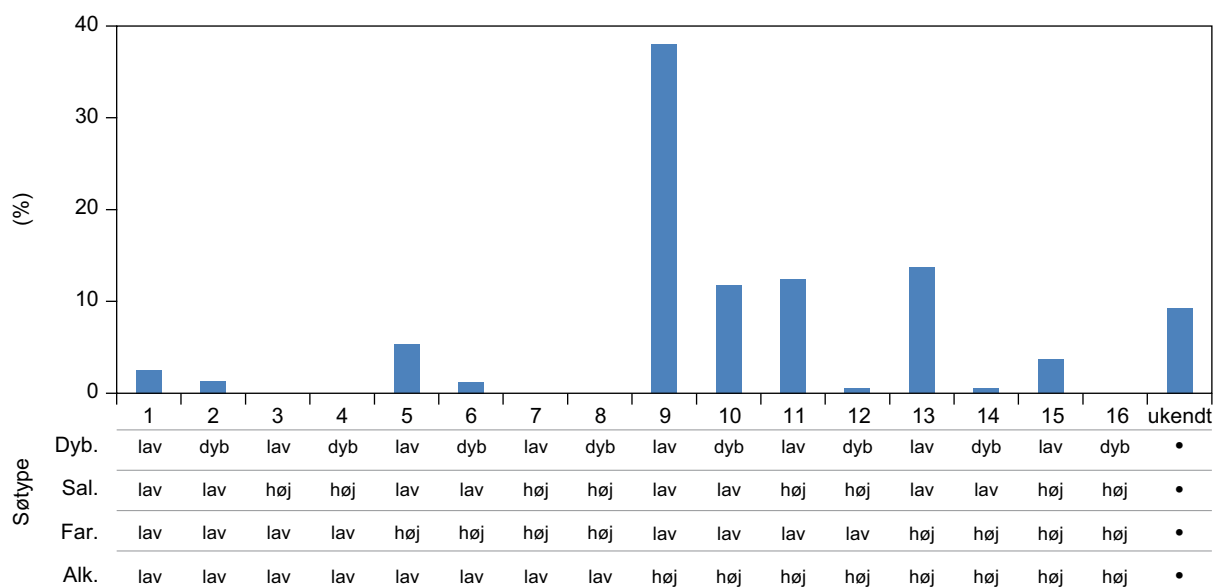
Der er tidligere gennemført analyser af sammenhænge mellem de to interkalibrerede kvalitetselementer fytoplankton og makrofytter og indholdet af næringsstoffer (Søndergaard et al. 2015). I denne rapport er data opdateret, fiskeindekset er medtaget, og det er vurderet for hvilke søtyper, der er data nok til at fastsætte sammenhænge til næringsstofindhold samt testet, hvorvidt de ikke-interkalibrerede søtyper responderer på et øget næringsstofindhold og hvorvidt eutrofieringsresponsen adskiller sig fra de interkalibrerede søtyper. Der gives en samlet oversigt over, i hvilke søtyper de tre indices (samt klorofyl *a*) kan anvendes på samme måde som i de interkalibrerede søtyper.

1.2 Formål

Projektets formål er, at vurdere i hvilket omfang det er muligt umiddelbart at overføre eksisterende indices fra interkalibrerede danske søtyper til ikke-interkalibrerede søtyper. Dette undersøges for alle danske søtyper og udvalgte biologiske kvalitetselementer (undervandsplanter, fytoplankton og fisk). Dette projekt forholder sig ikke til de indices og søtyper, hvor resultatet ikke umiddelbart kan overføres, og hvordan indices kan udvikles (oversættes) for disse. De biologiske kvalitetsindices relateres til indholdet af næringsstoffer (TP, TN). Det er endvidere formålet at vurdere og angive, hvordan de fysisk-kemiske kvalitetselementer (fosfor og kvælstof) supplerende kan indgå i tilstandsvurderingen.

1.3 Danske søtyper og EU-søtyper

De danske søer er inddelt efter alkalinitet, farvetal, salinitet og dybde og med to typer af hver slags giver det potentielt 16 forskellige danske søtyper (Fig. 1.1). Heraf er de fem ikke registreret i Danmark, svarende til at de i alt 856 danske vandplansøer (jf. Basisanalyse for Vandområdeplaner 2015-2021, naturstyrelsen.dk) kan inddeles i 11 søtyper. Søtype 9 (lavvandede, ikke-brunvandede, ferske, kalkrige søer) er den mest almindelige og udgør alene 38% af alle danske søer med kendt søtype, men også søtyperne 10, 11, og 13, der alle udgør mere end 10% af de danske søtyper, er almindelige. For flere af de øvrige søtyper er der kun ganske få repræsentanter. Knap 10% af vandplansøerne omfattet af basisanalysen er jf. Naturstyrelsen af ukendt type.



Figur 1.1. Oversigt over danske søtyper indeholdt i Basisanalyse for Vandområdeplaner 2015-2021 (baseret på data fra Naturstyrelsen). Søtyper er inddelt efter følgende: Dyb.: middeldybde (omfatter også graden af lagdeling), Sal.: salinitet, Far.: farvetal, Alk.: alkalinitet. Se også NST/ Søndergaard et al. 2003.

Den danske søtypeinddeling svarer ikke helt til de søtyper, der blev defineret i forbindelse med interkalibreringsprocessen i den central-baltiske interkalibreringsgruppe, hvor Danmark deltog. I EU-Kommissionens interkalibreringsbeslutning af 20. september 2013 indgår kun 2 søtyper: L-CB1, lavvandede (middeldybde 3-15 m), kalkrige (alkalinitet > 1 meq/l) søer og L-CB2, meget lavvandede (middeldybde < 3m), kalkrige (alkalinitet > 1 meq/l). Udover L-CB1 og L-CB2 indgik der i EU-Kommissionens interkalibreringsbeslutning af 30. oktober 2008 endvidere L-CB3, lavvandede (middeldybde 3-15 m) og kalkfattige (alkalinitet 0,2-1 meq/l) søer. Derudover var det i interkalibreringsprocessen også på tale at anvende den hydrauliske opholdstid i typeinddelingen, således at L-CB1 omfattede søer med en opholdstid på 1-10 år, L-CB2 søer med opholdstid på 0,1-1 år og L-CB3 søer med en opholdstid på 1-10 år.

I forhold til EU-interkalibreringen omfatter de danske søtyper således også forskelle i humusindhold (farvetal) og saltholdighed (salinitet). L-CB1 svarer mest til den danske søtype 10 (som dog har en nedre alkalinitetsgrænse ved 0,2 meq/l og også medtager enkelte dybe søer med middeldybde over 15 m), L-CB2 mest til den danske søtype 9 (som dog har en nedre alkalinitetsgrænse ved 0,2 meq/l), mens der ikke er nogen dansk søtype, som helt mat-

cher L-CB3 (nærmest kommer søtype 2), fordi de danske lavalkaline søtyper omfatter søer med alkalinitet $< 0,2$ meq/l, mens L-CB3 omfatter søer med en alkalinitet mellem 0,2 og 1 meq/l.

1.4 Søtyper og økologiske klassificering på baggrund af klorofyl *a*

I de første hold vandplaner er der i Danmark udelukkende anvendt indholdet af klorofyl *a* til at fastlægge den økologiske klassificering af søerne. Grænserne mellem de økologiske klasser er fastsat på baggrund af EU-interkalibreringen for de tre anvendte EU-søtyper. Klorofylindholdet for grænserne mellem god-moderat tilstand blev her fastsat til 8-12 $\mu\text{g/l}$, 21-25 $\mu\text{g/l}$ og 8-12 $\mu\text{g/l}$ for henholdsvis L-CB1, L-CB2 og L-CB3.

Hvis man fastholder EU-søtypeinddelingen og de tilhørende god-moderat grænser defineret i forhold til indhold af klorofyl *a* og sidestiller EU- og DK-afgrænsningen til de lavalkaline søer (alkalinitet = 0,2/1,0 meq/l), svarer dette til en god-moderat grænse for de danske søtyper 1-8, 10, 12 og 14 ved et klorofylindhold på 8-12 $\mu\text{g/l}$ og for søtyperne 9, 11, 13 og 15 ved et klorofylindhold på 21-25 $\mu\text{g/l}$.

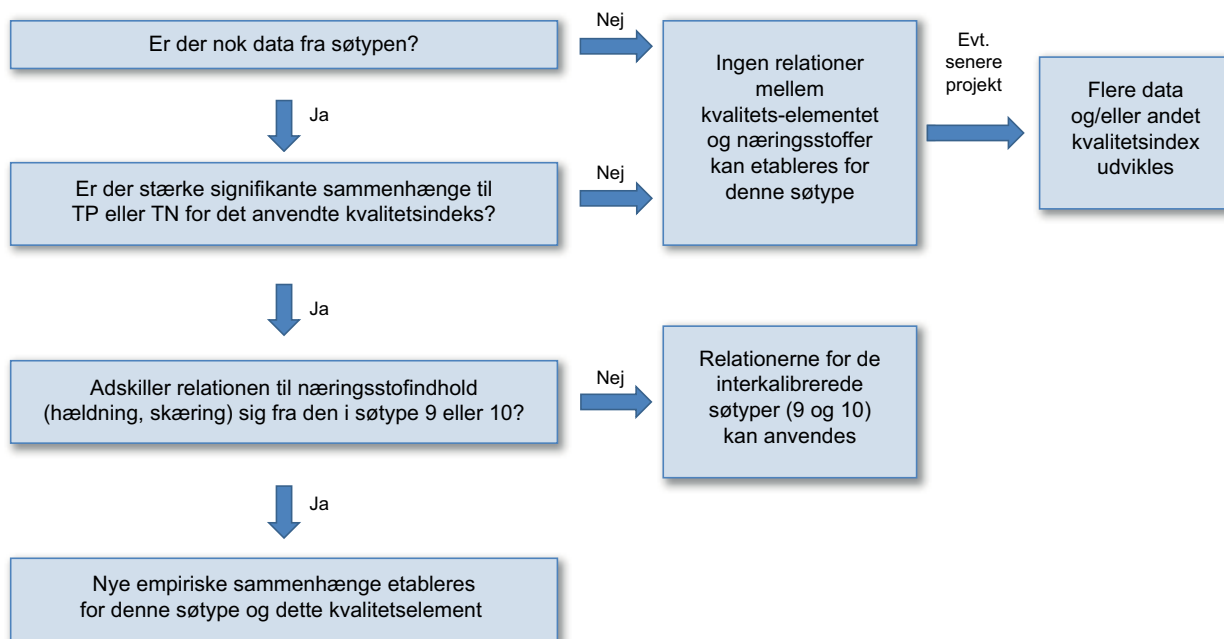
2 Metoder og data

2.1 Metoder

Vurderingen af et indeks anvendelighed foretages på baggrund af eksisterende data, dvs. i første omgang om der findes et tilstrækkeligt datagrundlag, om indekset i den pågældende søtype udviser en eutrofieringsrespons og efterfølgende ved at sammenligne interkalibrerede og ikke-interkalibrerede søtyper. For indices og søtyper, hvor en overføring fra interkalibrerede til ikke-interkalibrerede søtyper vurderes muligt, laves der empiriske sammenhænge mellem fosfor- og kvælstofindhold og det pågældende kvalitetselement. Hældning og skæring af ikke-interkalibrerede kvalitetselementer testes i forhold til interkalibrerede søtyper for at afgøre om de er forskellige. Der vises genberegnete sammenhænge for alle søtyper, også de interkalibrerede.

For hvert af de tre kvalitetselementer (undervandsplanter, fytoplankton og fisk) samt indholdet af klorofyl *a* og deres relationer til indhold af næringsstoffer anvendes beslutningstræet vist i fig. 2.1. Hvis der er for få data, eller hvis der er en for ringe relation mellem kvalitetselementet og indholdet af næringsstoffer, kan der p.t. ikke etableres relationer, som kan anvendes i forvaltningen.

Derudover gives forslag til, hvordan de fysisk-kemiske kvalitetselementer fosfor og kvælstof kan inddrages i tilstandsvurderingen. Dette vurderes ved at undersøge ved hvilket næringsstofniveau, der opnås mindst en god økologisk tilstand, når de interkalibrerede indices for fytoplankton (herunder klorofyl *a* separat) og undervandsplanter anvendes.



Figur 2.1. Flowdiagram anvendt i forbindelse med vurdering af anvendelse af de biologiske kvalitetselementer og indices og relationerne til næringsstofindhold i ikke-interkalibrerede danske søtyper.

2.2 Databaggrund og analyser

Analyserne baserer sig på eksisterende data, indsamlet i forbindelse med de forskellige overvågningsprogrammer fra danske søer siden 1989. Med undtagelse af fisk anvendes der data indsamlet til og med 2013. For fisk anvendes data til og med 2012. Derudover vil der blive taget udgangspunkt i allerede etablerede indicies udviklet for søtype 9 og 10 (se Søndergaard et al., 2013). For vandkemiske data og for fytoplankton anvendes sommergennemsnit (baseret på mindst fem sommermålinger).

Inddelingen efter søtype er foretaget jf. data på middeldybde (> 3 m), alkalinitet (> 1 meq/l), farvetal (> 60 mg Pt/l) og salinitet/konduktivitet (> 100 mS/m). For alkalinitetsafgrænsningen er der som udgangspunkt således anvendt EU alkalinitetsgrænsen, men der er i nogle tilfælde også anvendt den danske inddeling ved større eller mindre end 0,2 meq/l. Søer med ukendt alkalinitet er sorteret fra for at undgå, at de kommer under kategorien af lavalkaline søer. Der er ikke taget højde for om nogle af søerne i vandplanerne er typeinddelt i dybe og lavvandede søer efter varigheden og udbredelsen af en evt. lagdeling, dvs. der er her alene brugt en middeldybde på 3 m, som grænse mellem dybe og lavvandede søer, svarende til den anvendt i EU-sammenhæng. Søer uden oplysninger om konduktivitet eller salinitet er antaget at være ferske med mindre de med sikkerhed vides at være brakke (gælder eksempelvis de nedre søer af Vejlerne og Veserne). Søer uden oplysninger om farvetal er antaget at være med farvetal under 60 mg Pt/l. Enkelte søer uden oplysninger om middeldybde er antaget at være lavvandede.

Empiriske modelsammenhænge udvikles/revurderes til beskrivelse af sammenhænge mellem næringsstofindhold (TP og TN) og fytoplankton (herunder klorofyl *a*), og undervandsplanter. Der er anvendt empiriske modeller på logaritme transformerede data. Analyserne er gennemført med SAS (Statistical Analysis System).

Der er kun lavet analyser og regressioner, hvis antallet af datapunkter anvendt i regressionerne er > 20 (for klorofyl *a*, som kan være meget varierende) eller > 10 (for kvalitetselementerne, som generelt er mindre varierende).

3 Biologiske kvalitetselementer

3.1 Klorofyl *a*

Klorofyl *a* er ikke et selvstændigt kvalitetselement, men er her behandlet separat, fordi der er klorofylldata fra mange søer, og fordi klorofylindholdet har været anvendt i de første vandplaner til at fastsætte grænsen mellem god og moderat økologisk tilstand.

Databaggrund

I analyserne af relationerne mellem klorofyl *a* og næringsstofferne totalfosfor (TP) og totalkvælstof (TN) indgår data fra i alt 805 søer over 1 hektar omfattende i alt 3065 søår (tabel 3.1.1).

Tabel 3.1.1. Oversigt over datafordelingen for de enkelte parametre og for de forskellige søtyper, hvor antal søår med klorofyl *a* målinger er mindst 20. N er antal søår med TP-målinger. Ved alkalinitetsinddelingen er der anvendt EU-interkalibreringsgrænsen ved 1 meq/l.

	Søtype 1 (n = 115)						
	Min	10%	25%	50%	75%	90%	Max
Middeldybde (m)	0,7	0,8	1,1	1,6	2,7	2,8	2,8
Alkalinitet (meq/l)	-0,42	0,00	0,03	0,15	0,66	0,84	0,99
Farvetal (mg Pt/l)	2	8	13	29	45	53	58
Konduktivitet (mS/m)	0,2	9,5	11,3	15,4	19,3	27,3	55,8
Total fosfor (mg P/l)	0,010	0,015	0,021	0,034	0,069	0,086	0,108
Total kvælstof (mg N/l)	0,26	0,36	0,45	0,74	1,09	1,33	7,08
Klorofyl <i>a</i> (µg/l)	0,8	2,4	4,1	8,2	23,0	38,0	77,3
	Søtype 2 (n = 89)						
Middeldybde (m)	3,2	4,0	4,0	4,3	5,8	8,0	13,1
Alkalinitet (meq/l)	-0,08	0,22	0,31	0,76	0,89	0,94	0,99
Farvetal (mg Pt/l)	5	7	9	12	22	51	56
Konduktivitet (mS/m)	6,1	9,5	11,3	15,3	20,0	22,0	26,3
Total fosfor (mg P/l)	0,009	0,016	0,025	0,046	0,074	0,100	0,241
Total kvælstof (mg N/l)	0,27	0,44	0,58	0,86	1,16	1,34	1,69
Klorofyl <i>a</i> (µg/l)	4,0	6,6	10,1	22,5	41,9	54,2	78,5
	Søtype 5 (n = 100)						
Middeldybde (m)	0,1	0,5	0,6	0,9	1,4	1,6	2,2
Alkalinitet (meq/l)	-0,07	0,00	0,04	0,16	0,38	0,72	1,00
Farvetal (mg Pt/l)	61	67	84	128	205	382	1001
Konduktivitet (mS/m)	1,7	8,4	10,2	16,3	22,0	27,1	57,2
Total fosfor (mg P/l)	0,018	0,033	0,048	0,076	0,163	0,394	4,153
Total kvælstof (mg N/l)	0,46	0,61	0,90	1,15	1,50	2,12	2,86
Klorofyl <i>a</i> (µg/l)	2,8	7,6	16,5	32,8	64,9	163,0	405,7
	Søtype 9 (n = 1202)						
Middeldybde (m)	0,3	0,7	1,0	1,4	2,0	2,6	3,0
Alkalinitet (meq/l)	1,02	1,50	1,85	2,45	3,26	4,03	6,37
Farvetal (mg Pt/l)	2	16	21	30	41	51	60
Konduktivitet (mS/m)	0,3	27,6	34,0	41,8	52,3	67,6	98,8
Total fosfor (mg P/l)	0,009	0,054	0,088	0,152	0,269	0,456	2,869
Total kvælstof (mg N/l)	0,30	0,84	1,12	1,59	2,28	3,16	9,48
Klorofyl <i>a</i> (µg/l)	1,8	13,4	31,3	60,4	105,9	154,6	694,5

Søtype 10 (n = 552)							
Middeldybde (m)	3,1	3,3	3,6	4,9	8,2	13,4	16,5
Alkalinitet (meq/l)	1,01	1,40	1,76	2,25	2,73	3,31	4,65
Farvetal (mg Pt/l)	1	7	10	15	21	26	55
Konduktivitet (mS/m)	14,5	26,0	34,1	40,5	47,9	55,6	90,3
Total fosfor (mg P/l)	0,006	0,023	0,035	0,067	0,109	0,191	0,467
Total kvælstof (mg N/l)	0,22	0,63	0,81	1,20	1,92	2,73	7,88
Klorofyl a (µg/l)	1,3	7,8	12,5	27,7	50,7	78,4	506,5
Søtype 11 (n = 172)							
Middeldybde (m)	0,1	0,4	0,6	1,0	1,7	2,0	3,0
Alkalinitet (meq/l)	1,01	1,88	2,23	2,89	3,54	4,16	7,77
Farvetal (mg Pt/l)	9	16	23	32	40	47	54
Konduktivitet (mS/m)	101,1	156,9	272,7	811,1	1300,7	1933,1	7567,7
Total fosfor (mg P/l)	0,025	0,063	0,094	0,178	0,295	0,447	1,370
Total kvælstof (mg N/l)	0,29	0,86	1,21	1,67	2,43	3,23	6,37
Klorofyl a (µg/l)	2,8	12,8	24,4	57,6	118,8	182,6	340,9
Søtype 13 (n = 102)							
Middeldybde (m)	0,1	0,4	0,5	1,0	1,1	1,7	2,7
Alkalinitet (meq/l)	1,02	1,25	1,75	2,58	3,41	3,97	6,15
Farvetal (mg Pt/l)	60	63	68	81	106	126	284
Konduktivitet (mS/m)	15,2	27,7	33,2	43,0	53,7	72,0	97,0
Total fosfor (mg P/l)	0,016	0,039	0,073	0,168	0,316	0,542	3,555
Total kvælstof (mg N/l)	0,60	0,95	1,31	1,56	2,05	2,96	6,27
Klorofyl a (µg/l)	3,1	6,9	12,3	39,2	80,7	144,5	511,6
Søtype 15 (n = 26)							
Middeldybde (m)	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	1,0	1,8
Alkalinitet (meq/l)	1,03	1,81	3,48	4,03	4,69	6,04	7,92
Farvetal (mg Pt/l)	60	64	77	95	123	202	279
Konduktivitet (mS/m)	100,7	103,8	159,9	577,5	1420	2447	3085
Total fosfor (mg P/l)	0,044	0,084	0,188	0,472	0,811	2,223	4,980
Total kvælstof (mg N/l)	1,13	1,38	1,81	3,48	4,88	6,98	7,74
Klorofyl a (µg/l)	9,2	14,8	40,2	98,4	180,9	261,3	753,4

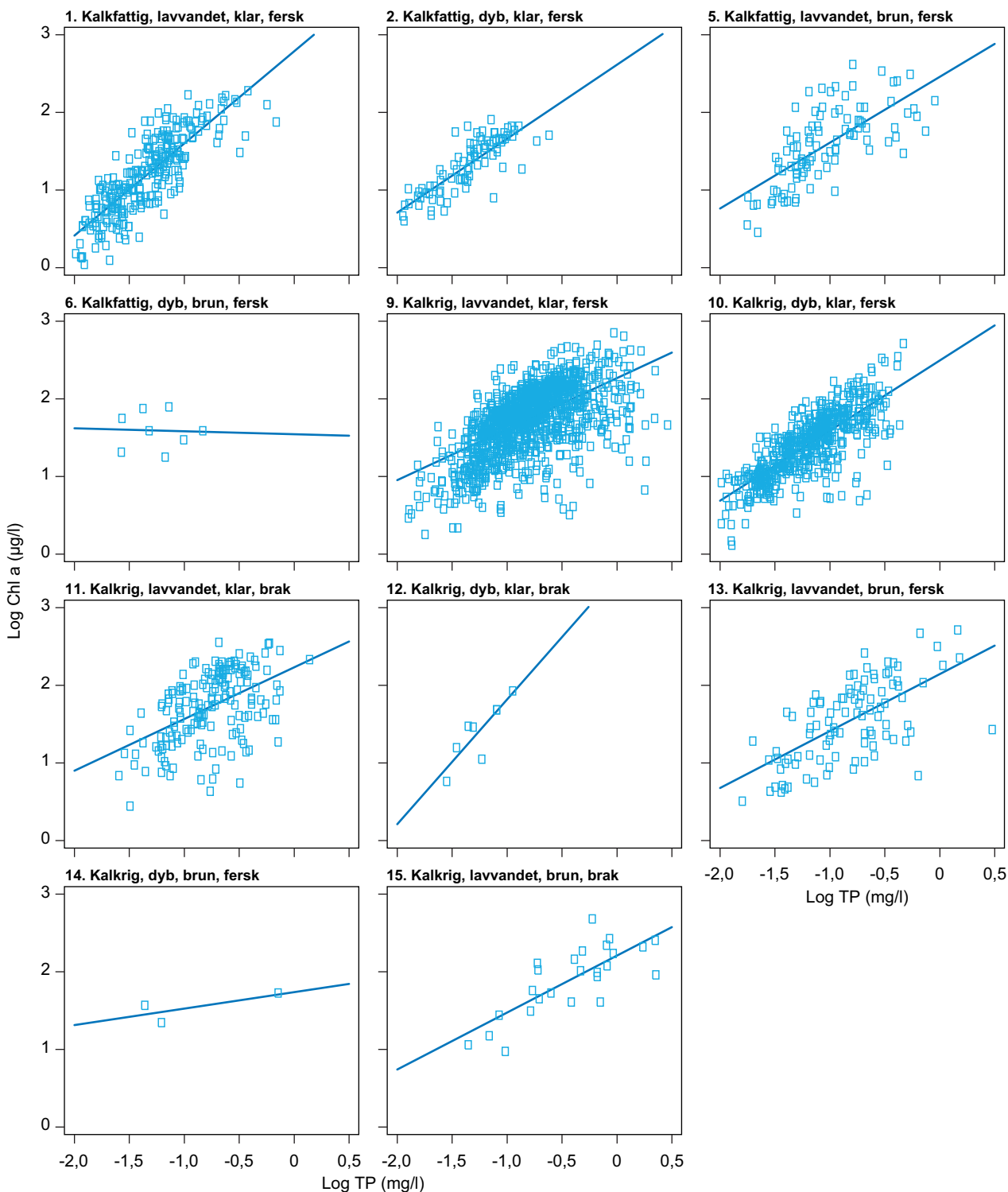
De brunvandede søer domineres af de svagt brunvandede søer, dvs. der indgår kun få stærkt brunvandede søer i datasættet. Dette er især udtalt for den brunvandede, lavvandede, ferske søtype 13, hvor kun 25% af de anvendte data har et farvetal over 106 mg Pt/l. Gruppen af brakvandssøer (søtype 11 og 15) dækker over et meget stort spektrum af saltindhold fra det meget svagt brakke til mere eller mindre salte søer. Generelt er brakvandsøerne meget næringsrige, hvor langt størsteparten ligger med TP-værdier over 0,05 mg P/l. Det betyder, at regressionerne, der etableres til indhold af næringsstoffer, primært beskriver forholdene i de næringsrige søer. Den lavalkaline søtype 2, der i EU-sammenhæng og i den interkalibrering Danmark har deltaget i, omfatter søer med en totalalkalinitet under 1 meq/l, udgøres primært af søer fra den mere kalkrige ende og mindre end 10% har end alkalinitet under 0,2 meq/l. De to andre lavalkaline søtyper, som er repræsenteret (søtype 1 og 5), har derimod en mere ligelig fordeling langs alkalinitetsgradienten.

Skævheden i datasættene for nogle af søtyperne betyder, at det vil være sværere at se søtypespecifikke forskelle i analyserne. Den generelle dominans af næringsrige søer betyder, at de empiriske sammenhænge ofte bedst beskriver forholdene i søer med de dårligste økologiske klasser.

Relationer mellem næringsstoffer (TP og TN) og klorofyl *a* for de enkelte søtyper

I fig. 3.1.1 er vist sammenhængen mellem indholdet af klorofyl *a* og total fosfor for alle de 11 søtyper, som findes blandt vandplansøerne. For søtype 6, 12 og 14 er der så få data, at det ikke giver mening at tolke på disse, og for søtype 15 er der for få data ($n < 20$ ved TP-værdier $< 0,5$ mg/l) til med tilstrækkelig sikkerhed at etablere empiriske relationer. Alle de 7 øvrige søtyper viser en mere eller mindre stærk sammenhæng, hvor indholdet af klorofyl *a* stiger med øget fosforindhold, og her er der i tabel 3.1.1 angivet relationerne til TP og TN og i en multipel regression til både TP og TN. Det er dog sammenhænge med store variationer og ved et givent fosforindhold kan indholdet af klorofyl i nogle søtyper variere med op til en faktor 10.

Der er stærke sammenhænge til TP især i søtype 2 og 10 (R^2 : 0,60-0,67), mens den er svagere (0,41) for den mest almindelige søtype (9), de lavvandede, kalkrige, klare og ferske søer (tabel 3.1.2). Regressionerne til TN er signifikant for alle undersøgte søtyper, men er i de fleste tilfælde væsentlig svagere end til TP. I den multiple regression, hvor både TP og TN indgår, øges R^2 -værdien i de fleste tilfælde kun lidt ved at inddrage TN. En udtagelse er de lavvandede, kalkrige, klare brakvandssøer (søtype 11) som er den eneste søtype hvor TN opnår højere forklaringsværdi end TP ved regressionen til klorofyl *a*. Forklaringsværdien er dog for begge næringsstoffer forholdsvis beskeden (R^2 : 0,24-0,29). Også i den multiple regression opnår TN højere forklaringsværdi end TP, og det kunne måske antyde at TN i denne søtype (som en overgangstype til de mere marine områder) spiller en vigtigere rolle end i de øvrige søtyper. Den samlede forklaringsværdi er dog stadigvæk kun på 0,37.



Figur 3.1.1. Sammenhænge mellem klorofyl *a* (Chl *a*) og indholdet af TP (sommergennemsnit) i de 11 søtyper, som vandplanseerne omfatter. Klar = ikke brunvandet. De indtegnede regressionslinjer svarer ikke altid helt til tabel 3.1.1, fordi der i figurerne er taget alle TP-værdier med og ikke kun dem under 0,5 mg P/l. Enkelte søer med TP < 0,01 mg P/l er ikke med på figuren (men indgår i relationerne vist i tabel 3.1.2). Søtype med nummerering anvendt jf. vandplanerne er nævnt øverst i figurerne (grænsen for de kalkfattige søer følger EU-terminologien, dvs. TA < 1 meq/l).

Tabel 3.1.2. Regressionsanalyser mellem klorofyl *a* (Chla, µg/l) og TP (mg P/l) og TN (mg N/l) for de 7 søtyper med mindst 20 datapunkter (se fig. 3.1.1), alle log-10 transformerede. Der er anvendt Proc REG (SAS). Ved regressionerne med TP er der kun anvendt søår med TP < 0,5 mg P/l. P < 0,0001 ved alle viste regressioner. 95% sikkerhedsintervaller (=2*standard error) på parameterestimaterne (skæring og hældning) er angivet i parentes. MSE er mean square error. N er antallet af søår. Ved den multiple regression er den partielle R²-værdi ved inddragelse af TP og TN angivet i parentes. I tabellen med regressionen for de lavvandede, kalkfattige, klare, ferske søer, er der vist regressioner både for TA < 1 meq/l (EU terminologi), og hvis TA < 0,2 meq/l, svarende til den danske søtype 1.

variabel	Log Chla =	MSE	N	R ²
Søtype1 (EU): Lavvandede, kalkfattige, klare, ferske søer				
TP	2,64 + 1,09*logTP, (±0,200;±0,141)	0,161	266	0,47
TN	1,21 + 0,95*logTN, (±0,061;±0,214)	0,234	266	0,23
TP, TN	2,48 + 0,96*logTP + 0,29*logTN, (±0,228;±0,168;±0,209)	0,157	266	0,49 (0,47; 0,01)
Søtype 1 (DK): Lavvandede, kalkfattige, klare, ferske søer, TA<0,2				
TP	2,64 + 1,15*logTP, (±0,345;±0,241)	0,245	137	0,40
TN	1,20 + 1,71*logTN, (±0,096;±0,416)	0,272	137	0,33
TP, TN	2,27 + 0,84*logTP + 0,64*logTN, (±0,492;±0,380;±0,620)	0,239	137	0,42 (0,40; 0,02)
Søtype 2: Dybe, kalkfattige, klare, ferske søer				
TP	2,60 + 0,94*logTP, (±0,200;±0,186)	0,041	87	0,67
TN	1,44 + 1,41*logTN, (±0,050;±0,234)	0,045	87	0,63
TP, TN	2,18 + 0,59*logTP + 0,67*logTN, (±0,291;±0,231;±0,357)	0,035	87	0,72 (0,67; 0,05)
Søtype 5: Lavvandede, kalkfattige, brune, ferske søer				
TP	2,60 + 0,97*logTP, (±0,244;±0,212)	0,119	93	0,48
TN	1,42 + 1,50*logTN, (±0,089;±0,462)	0,155	93	0,32
TP, TN	2,34 + 0,77*logTP + 0,63*logTN, (±0,314;±0,257;±0,487)	0,112	93	0,51 (0,48; 0,04)
Søtype 9: Lavvandede, kalkrige, klare, ferske søer				
TP	2,44 + 0,84*logTP, (±0,057;±0,061)	0,099	1100	0,41
TN	1,52 + 0,98*logTN, (±0,028;±0,100)	0,125	1100	0,26
TP, TN	2,20 + 0,68*logTP + 0,48*logTN, (±0,074;±0,069;±0,100)	0,092	1100	0,45 (0,41; 0,04)
Søtype 10: Dybe, kalkrige, klare, ferske søer				
TP	2,48 + 0,90*logTP, (±0,077;±0,062)	0,065	553	0,60
TN	1,34 + 0,73*logTN, (±0,033;±0,119)	0,130	551	0,22
TP, TN	2,34 + 0,81*logTP + 0,38*logTN, (±0,079;±0,061;±0,083)	0,057	550	0,66 (0,61; 0,05)
Søtype 11: Lave, kalkrige, klare, brakke søer				
TP	2,30 + 0,75*logTP, (±0,185;±0,213)	0,153	158	0,24
TN	1,47 + 1,03*logTN, (±0,080;±0,257)	0,143	158	0,29
TP, TN	1,92 + 0,48*logTP + 0,77*logTN, (±0,215;±0,216;±0,270)	0,127	158	0,37 (0,08; 0,29)
Søtype 13: Lave, kalkrige, brune, brakke søer				
TP	2,27 + 0,86*logTP, (±0,208;±0,213)	0,131	89	0,43
TN	1,28 + 1,10*logTN, (±0,143;±0,593)	0,197	89	0,14
TP, TN	TN ikke signifikant i en multipel regression	-	89	-

Test for forskelle (interkalibreret – ikke-interkalibreret)

Der findes ikke interkalibrerede, lavalkaline søtyper, som er direkte sammenlignelige med de danske søtyper (søtype 1-8), så det er ikke muligt at teste klorofyl – TP sammenhænge i forhold til interkalibrerede søtyper. Både søtype 1, 2 og 5 viser dog pænt stærke sammenhænge (R²= 0,40-0,67) til TP og øget eutrofiering ser dermed ud til at komme til udtryk i indholdet af klorofyl også for disse søtyper. Hvis klorofyl – TP relationerne for søtype 1, 2 og 5 testes i forhold til søtype 10, hvor der i de første vandplaner har været anvendt samme klorofyl-grænse mellem god og moderat tilstand (klorofyl *a* = 12 µg/l) er der ingen forskelle i hældningen, svarende til samme respons i forhold til øget TP (tabel 3.1.3). Skæringspunktet er dog forskelligt (p < 0,05) for søtype 1 og 2.

For de kalkrige søer adskiller hældningen for søtype 11 og søtype 13 sig ikke signifikant ($p > 0,05$) fra hældningen i søtype 9. Dvs. responsen på klorofyl *a* på øget fosforindhold ser ikke ud til at være anderledes i de brakke eller brunvandede kalkrige, lavvandede søer end i den interkalibrerede søtype 9. For især brakvandssøer (søtype 11) er forklaringsværdien til TP dog lav ($R^2 = 0,24$), hvilket blandt andet kan skyldes at TN i denne søtype har den højeste forklaringsværdi. Skæringen med y-aksen er i både søtype 11 og 13 forskellig fra søtype 9 og kan være et udtryk for at "baggrundsværdierne" af klorofyl *a* i disse to søtyper er anderledes end i søtype 9.

Tabel 3.1.3. Test for forskelle (hældning og skæring) i chl_a – TP sammenhænge mellem de to interkalibrerede søtyper (9 og 10) og de ikke interkalibrerede søtyper. Ved test for forskelle i skæring er der anvendt skæring ved TP = 0,07 mg/l i lavvandede søer og 0,025 mg/l i dybe søer, dvs. ved god-moderat grænsen anvendt i de første vandplaner. Der findes ikke interkalibrerede, lavalkaline søtyper (søtype 1-3), men her er disse søtyper testet op mod søtype 10, der i de første vandplaner havde samme krav til TP ved god-moderat grænsen. Søtype 1 og søtype 2 i forhold til søtype 10 er testet ved at anvende TP-værdier under 0,1 mg/l, så det spænd af TP-værdier, som søtyperne dækker over, er sammenlignelige. De øvrige søtyper er testet for TP-værdier < 0,5 mg/l. Hvis $p < 0,05$ er der signifikant forskel på 5% sikkerhedsniveau (disse er markeret med fed).

Ikke interkalibreret søtype	Søtype 9		Søtype 10	
	Forskel hældning	Forskel skæring	Forskel hældning	Forskel skæring
1	-	-	$p = 0,051$	$p < 0,001$
2	-	-	$p = 0,708$	$p = 0,044$
5	-	-	$P = 0,430$	$p = 0,166$
11	$p = 0,302$	$p = 0,030$	-	-
13	$p = 0,908$	$p < 0,001$	-	-

3.2 Fytoplankton

Databaggrund

I analyserne af relationerne mellem fytoplanktonindekset og næringsstoffer (TP og TN) indgår data fra i alt 152 søer over 1 hektar omfattende i alt 787 søår. Det samlede datasæt (alle søår) domineres af 28 søer, som har mere end 10 års observationer og udgør 64% af alle observationer (søår). Dominansen af forholdsvis få søer i datasættet betyder mindre robusthed i forhold til søtypespecifikke forhold.

Nogle søtyper domineres af enkelte søer med mange måleår, dette gælder blandt andet søtype 2, hvor Ørnsø-data udgør 16 af de 18 søår. Samtidigt ligger Ørnsø med en alkalinitet omkring 0,8-0,9 meq/l tæt på EU alkalinitetsgrænsen på 1 meq/l, der adskiller de højalkaline fra de lavalkaline søer. Det betyder, at data, der her repræsenterer søtype 2, næsten lige så godt kunne være medtaget under søtype 10, de kalkrige søer.

En oversigt over de data, som indgår i de enkelte søtyper er vist i tabel 3.2.1. Der er kun vist data fra søtyper, hvorfra der mindst er data fra 10 søår. Den eneste brunvandede søtype (søtype 5) omfatter kun måledata fra 14 søer og domineres samtidigt af svagt brunvandede søer. Disse analyseresultater må derfor tages med forbehold. Den eneste brakke søtype hvorfra der er data (søtype 11) domineres af næringsrige søer, hvor 75% af de anvendte observationer har TP-værdier over 0,144 mg/l. Det betyder at relationer etableret på baggrund af disse data bedst beskriver forholdene i næringsrige søer, hvorimod sammenhængen i søer med lavt fosforindhold er usikker.

Tabel 3.2.1. Oversigt over datafordelingen for de enkelte parametre i forbindelse med fytoplanktondata og for de forskellige søtyper. N er antal søår med TP-målinger.

	Søtype 1 (n = 115)						
	Min	10%	25%	50%	75%	90%	Max
Middeldybde (m)	0,7	0,8	1,1	1,6	2,7	2,8	2,8
Alkalinitet (meq/l)	-0,42	0,00	0,03	0,15	0,66	0,84	0,99
Farvetal (mg Pt/l)	2	8	13	29	45	53	58
Konduktivitet (mS/m)	0,2	9,5	11,3	15,4	19,3	27,3	55,8
Total fosfor (mg P/l)	0,010	0,015	0,021	0,034	0,069	0,086	0,108
Total kvælstof (mg N/l)	0,26	0,36	0,45	0,74	1,09	1,33	7,08
Klorofyl a (µg/l)	0,8	2,4	4,1	8,2	23,0	38,0	77,3
Søtype 2 (n = 18)							
Middeldybde (m)	4,1	4,1	4,1	4,1	4,1	4,8	5,2
Alkalinitet (meq/l)	0,02	0,23	0,84	0,85	0,91	0,95	0,99
Farvetal (mg Pt/l)	7	7	7	23	25	25	25
Konduktivitet (mS/m)
Total fosfor (mg P/l)	0,010	0,057	0,066	0,085	0,100	0,116	0,127
Total kvælstof (mg N/l)	0,31	0,65	1,14	1,29	1,34	1,43	1,46
Klorofyl a (µg/l)	6,5	33,6	41,9	45,0	53,7	62,8	65,4
Søtype 5 (n = 14)							
Middeldybde (m)	0,4	0,5	0,7	1,1	1,2	1,3	1,5
Alkalinitet (meq/l)	-0,05	-0,03	0,04	0,21	0,44	0,85	0,95
Farvetal (mg Pt/l)	61	66	67	78	106	127	131
Konduktivitet (mS/m)	8,0	8,4	12,4	19,0	23,9	27,4	31,6
Total fosfor (mg P/l)	0,018	0,022	0,031	0,061	0,111	0,150	0,181
Total kvælstof (mg N/l)	0,46	0,61	0,71	1,06	1,22	1,49	2,23
Klorofyl a (µg/l)	2,8	3,5	9,4	21,2	30,5	51,0	62,8
Søtype 9 (n = 309)							
Middeldybde (m)	0,3	1,0	1,1	1,2	2,0	2,6	2,7
Alkalinitet (meq/l)	1,06	1,62	1,85	2,45	3,52	4,31	6,37
Farvetal (mg Pt/l)	11	18	23	33	44	52	58
Konduktivitet (mS/m)	15,5	28,0	32,4	38,5	50,9	74,3	98,5
Total fosfor (mg P/l)	0,022	0,073	0,119	0,192	0,319	0,429	1,315
Total kvælstof (mg N/l)	0,48	0,88	1,32	1,95	2,63	3,43	4,96
Klorofyl a (µg/l)	5,0	20,8	51,8	84,6	134,9	197,3	464,9
Søtype 10 (n = 251)							
Middeldybde (m)	3,1	3,1	3,6	4,8	8,2	15,0	16,5
Alkalinitet (meq/l)	1,27	1,54	1,90	2,29	2,71	3,23	4,65
Farvetal (mg Pt/l)	5	7	9	16	21	26	41
Konduktivitet (mS/m)	23,3	31,4	35,3	40,2	46,4	50,0	68,3
Total fosfor (mg P/l)	0,012	0,023	0,032	0,070	0,127	0,227	0,491
Total kvælstof (mg N/l)	0,041	0,69	0,85	1,37	2,46	3,46	7,35
Klorofyl a (µg/l)	4,1	7,8	11,3	29,5	52,3	107,7	506,5
Søtype 11 (n = 69)							
Middeldybde (m)	0,2	0,5	0,8	1,2	2,0	3,0	3,0
Alkalinitet (meq/l)	1,49	1,93	2,07	2,59	3,35	3,96	5,23
Farvetal (mg Pt/l)	16	16	18	22	25	36	36
Konduktivitet (mS/m)	101,1	111,0	374,0	899,3	1417,7	1851,6	2966,5
Total fosfor (mg P/l)	0,042	0,062	0,144	0,216	0,291	0,495	1,367
Total kvælstof (mg N/l)	0,037	1,05	1,41	1,88	2,33	3,57	4,86
Klorofyl a (µg/l)	5,9	16,2	32,2	77,2	143,7	196,8	340,5

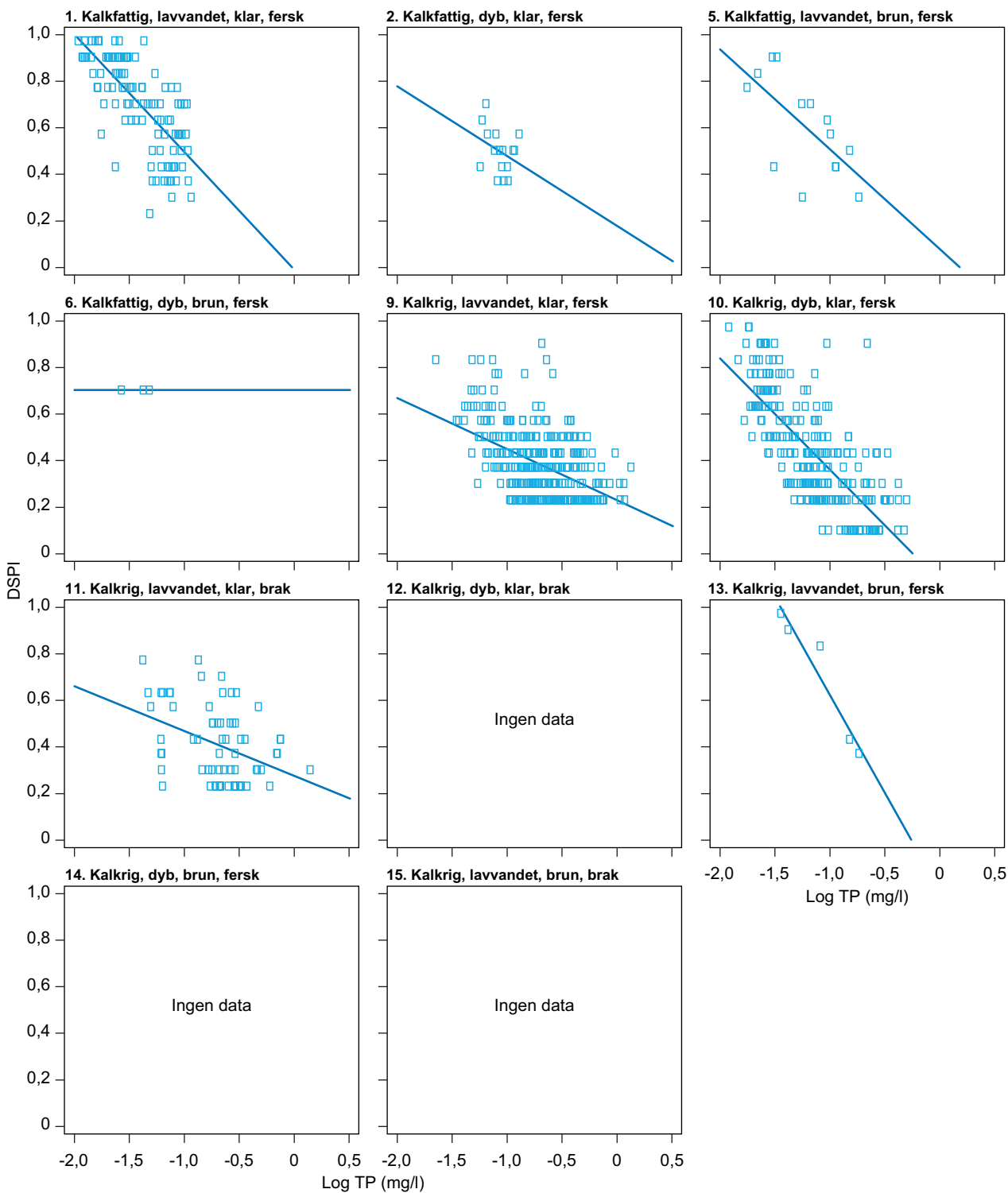
Relationer mellem næringsstoffer (TP og TN) og planteplanktonindekset (DSPI) for de enkelte søtyper

I fig. 3.2.1 er vist sammenhængen mellem planteplanktonindekset, dansk søplanktonindeks (DSPI) og totalfosfor i de 11 søtyper, som findes blandt vandplansøerne. For søtype 6, 12, 13, 14 og 15 er der ingen eller så få data, at det ikke giver mening at tolke på disse. Alle de 7 øvrige søtyper viser en mere eller mindre stærk sammenhæng, hvor DSPI reduceres med øget fosforindhold, og her er der i tabel 3.2.2 angivet relationerne til TP og TN i en multipel regression til både TP og TN.

For flere søtyper, herunder især søtype 11 og til dels søtype 9 er der kun meget få næringsfattige søer i datasættet. For søtype 11 er der ingen søer med TP under 0,041 mg P/l og kun 3 søer med TP < 0,05 og 13 søer med TP < 0,1 mg/l. For søtype 9 (i alt 279 søår) er der kun 11 søår med TP < 0,05 og 56 med TP < 0,1 mg P/l. Det betyder at disse relationer ikke er gode til at fastsætte god-moderat grænsen (svarende til DSPI = 0,6).

De stærkeste sammenhænge opnås i søtype 1, 5 og 10 med R^2 -værdier mellem 0,46 og 0,55. For nogle søtyper, herunder den almindelige søtype 9, er forklaringsværdien meget ringe ($R^2=0,19$). I denne søtype indgår også primært næringsrige søer (se ovenfor).

I søtype 5 forbedres regressionen noget ved at inddrage TN i den multiple regression, på trods af at kvælstof ikke som enkelt faktor har nogen betydning. Hældningskoefficienten til TN er dog positiv og det giver ikke umiddelbart nogen mening. Som den eneste søtype er relationen (R^2) til TN i søtype 11 (brakke søer) væsentlig bedre end til TP.



Figur 3.2.1. Sammenhænge mellem DSPI og indholdet af TP (sommergennemsnit) i de 11 søtyper, som vandplansøerne omfatter. For søtype 2 er der undladt én outlier-værdi med TP < 0,01 mg/l. Klar = ikke brunvandet. De indtegnede regressionslinjer svarer ikke altid helt til tabel 3.2.2, fordi der i figurene er taget alle TP-værdier med og ikke kun dem under 0,5 mg P/l. Søtype med nummerering anvendt jf. vandplanerne er nævnt øverst i figurene (grænsen for de kalkfattige søer følger EU-terminologien, dvs. TA < 1 meq/l).

Tabel 3.2.2. Regressionsanalyser mellem planteplanktonindekset, DSPI og TP (mg P/l) og TN (mg N/l) for de 7 søtyper med mindst 10 datapunkter (se fig. 3.2), alle log-10 transformerede. Der er anvendt Proc REG (SAS). Ved regressionerne med TP er der kun anvendt søår med TP<0,5 mg P/l. P<0,0001 ved alle viste regressioner. 95% sikkerhedsintervaller (=2*standard error) på parameterestimerne (skæring og hældning) er angivet i parentes. MSE er mean square error. N er antallet af søår. For søtype 2 er der undladt én outlier-værdi med TP< 0,01 mg/. Ved den multiple regression er den partielle R²-værdi ved inddragelse af TP og TN angivet i parentes. I tabellen med regressionen for de lavvandede, kalkfattige, klare, ferske søer, er der vist regressioner både for TA<1 meq/l (EU terminologi), og hvis TA<0,2 meq/l, svarende til den danske søtype 1. ^{a)} I en foreløbig version af denne rapport er der angivet en lidt anden sammenhæng: DSPI = - 0,100 - 0,45*logTP.

variabel	DSPI	MSE	N	R ²
Søtype 1 (EU): Lavvandede, kalkfattige, klare, ferske søer				
TP	-0,024 - 0,50*logTP, (±0,128;±0,087)	0,018	115	0,55
TN	0,650 - 0,41*logTN, (±0,035;±0,119)	0,028	115	0,29
TP, TN	TN ikke signifikant i en multipel regression			
Søtype 1 (DK): Lavvandede, kalkfattige, klare, ferske søer, TA<0,2				
TP	0,060 - 0,45*logTP, (±0,148;±0,101)	0,017	72	0,53
TN	0,626 - 0,54*logTN, (±0,044;±0,184)	0,024	72	0,33
TP, TN	TN ikke signifikant i en multipel regression		71	
Søtype 2: Dybe, kalkfattige, klare, ferske søer				
TP	Ikke signifikant		16	
TN	Ikke signifikant		16	
TP, TN	Ikke signifikant		16	
Søtype 5: Lavvandede, kalkfattige, brune, ferske søer				
TP	0,074 - 0,43*logTP, (±0,350;±0,178)	0,026	14	0,44
TN	Ikke signifikant	.	14	0,01
TP, TN	-0,140 - 0,61*logTP + 0,56*logTN, (±0,374;±0,301;±0,545)	0,020	14	0,60 (0,44; 0,16)
Søtype 9: Lavvandede, kalkrige, klare, ferske søer				
TP	0,227 - 0,22*logTP, (±0,036;±0,046)	0,017	310	0,23
TN	0,450 - 0,25*logTN, (±0,025;±0,075)	0,019	310	0,13
TP, TN	TN ikke signifikant i en multipel regression		279	
Søtype 10: Dybe, kalkrige, klare, ferske søer				
TP	-0,121 - 0,48*logTP ^{a)} , (±0,067;±0,055)	0,024	251	0,55
TN	0,486 - 0,29*logTN, (±0,033;±0,101)	0,048	251	0,11
TP, TN	-0,075 - 0,45*logTP - 0,10*logTN, (±0,074;±0,057;±0,075)	0,024	251	0,56 (0,55; 0,01)
Søtype 11: Lave, kalkrige, klare, brakke søer				
TP	0,273 - 0,19*logTP, (±0,085;±0,112)	0,022	68	0,15
TN	0,532 - 0,49*logTN, (±0,047;±0,139)	0,015	68	0,43
TP, TN	0,482 - 0,06*logTP - 0,45*logTN, (±0,101;±0,103;±0,155)	0,015	68	0,44 (0,01; 0,43)

Test for forskelle (interkalibreret - ikke-interkalibreret)

Der findes ikke interkalibrerede, lavalkaline søtyper (søtype 1-8), så det er ikke muligt at teste DSPI - TP sammenhænge i forhold til interkalibrerede søtyper. Søtype 1 og til dels søtype 5 (dog baseret på kun 14 datapunkter, hvoraf hovedparten har et farvetal mellem 60 og 100 mg Pt/l) viser dog pænt stærke sammenhænge (R²= 0,46-0,55) til TP og øget eutrofiering ser dermed ud til at komme til udtryk i fytoplanktonindekset også for disse søtyper.

Hvis DSPI - TP relationerne for søtype 1 og 5 testes i forhold til søtype 10, hvor der i de første vandplaner har været anvendt samme klorofyl-grænse mellem god og moderat tilstand (klorofyl a = 12 µg/l) er der ingen forskelle i hældningen i forhold til søtype 5, svarende til samme respons i forhold til øget TP, mens der er en svag signifikant anden hældning for søtype 1 i for-

hold til søtype 10 (tabel 3.2.3). Skæringspunktet er forskelligt ($p < 0,05$) for både søtype 1 og 5 i forhold til søtype 10.

For de kalkrige søer adskiller hældningen for søtype 11 sig ikke signifikant ($p > 0,05$) fra hældningen i søtype 9. Dvs. responsen på DSPI på øget fosforindhold ser ikke ud til at være anderledes i de brakke, kalkrige, lavvandede søer end i den interkalibrerede søtype 9. Forklaringsværdien til TP for søtype 11 er dog ligesom for søtype 9 meget lav ($R^2 = 0,19$), hvilket blandt andet kan skyldes at TN i denne søtype har den højeste forklaringsværdi. Skæringen med y-aksen i søtype 11 er svagt signifikant forskellig fra søtype 9 og kan være et udtryk for at "baggrundsværdierne" af DSPI er forskellige i de to søtyper.

Tabel 3.2.3. Test for forskelle (hældning og skæring) i DSPI – TP sammenhænge mellem de to interkalibrerede søtyper (9 og 10) og de ikke interkalibrerede søtyper. Ved test for forskelle i skæring er der anvendt skæring ved god-moderat grænsen. Der findes ikke interkalibrerede lavalkaline søtyper (søtype 1 og 5), men her er disse søtyper testet op mod søtype 10, der i de første vandplaner havde samme krav til TP ved god-moderat grænsen. Søtype 1 i forhold til søtype 10 er testet ved at anvende TP-værdier under 0,1 mg/l, så det spænd af TP-værdier, som søtyperne dækker over er sammenlignelige. De øvrige søtyper er testet for TP-værdier $< 0,5$ mg/l. Hvis $p < 0,05$ er der signifikant forskel på 5% sikkerhedsniveau (disse er markeret med fed).

Ikke interkalibreret søtype	Søtype 9		Søtype 10	
	Forskel hældning	Forskel skæring	Forskel hældning	Forskel skæring
1	-	-	p=0,032	p<0,001
5	-	-	P=0,332	p=0,007
11	p=0,467	p=0,035	-	-

3.3 Undervandsplanter

Databaggrund

Datasættet for undervandsplanter (makrofyter) omfatter i alt 730 søår fra 356 søer og inkluderer data til og med 2013 (i forhold til tidligere (Søndergaard et al. 2015) er 24 ekstra søår med, men 10 søår, som tidligere har været anvendt med manglende TA-værdi, som har været sat til $TA < 1$, er ekskluderet fra datasættet).

En oversigt over de anvendte data fra de forskellige søtyper er vist i tabel 3.3.1.

Tabel 3.3.1. Oversigt over datafordelingen for de enkelte parametre i forbindelse med makrofytdata og for de forskellige søtyper. N er antal søår med TP-målinger. Kun søtyper med N>10 er vist.

	Søtype 1 (n = 100)							
	Min	10%	25%	50%	75%	90%	Max	
Middeldybde (m)	0,4	0,8	1,2	1,6	2,5	2,8	3,0	
Alkalinitet (meq/l)	-0,04	0,01	0,05	0,19	0,73	0,90	0,99	
Farvetal (mg Pt/l)	0	8	17	30	48	56	60	
Konduktivitet (mS/m)	2,4	8,7	10	15,1	19,5	26,5	36,3	
Totalfosfor (mg P/l)	0,006	0,017	0,024	0,041	0,067	0,089	0,147	
Totalkvælstof (mg N/l)	0,27	0,38	0,47	0,79	1,06	1,37	4,76	
Klorofyl a (µg/l)	0,1	3,8	6,3	10,7	24,2	46,8	167,7	
		Søtype 2 (n = 15)						
Middeldybde (m)	3,2	3,4	4,2	4,3	5,8	5,9	7,0	
Alkalinitet (meq/l)	0,02	0,28	0,30	0,37	0,84	0,91	0,93	
Farvetal (mg Pt/l)	5	7	9	12	18	23	51	
Konduktivitet (mS/m)	6,0	7,3	9,5	11,7	18,2	22,6	23,5	
Total fosfor (mg P/l)	0,016	0,018	0,023	0,028	0,049	0,075	0,082	
Total kvælstof (mg N/l)	0,31	0,35	0,42	0,53	0,65	0,82	0,97	
Klorofyl a (µg/l)	5,3	6,7	9,0	12,2	29,8	32,5	48,1	
		Søtype 5 (n = 34)						
Middeldybde (m)	0,3	0,5	0,6	0,9	1,3	1,6	2,0	
Alkalinitet (meq/l)	-0,06	-0,04	0,04	0,13	0,56	0,76	0,97	
Farvetal (mg Pt/l)	61	66	77	113	186	269	1001	
Konduktivitet (mS/m)	1,7	8,4	11,1	13,7	23,1	28,0	32,5	
Total fosfor (mg P/l)	0,022	0,032	0,038	0,050	0,094	0,142	0,398	
Total kvælstof (mg N/l)	0,46	0,59	0,76	0,95	1,26	1,88	2,67	
Klorofyl a (µg/l)	2,8	7,8	14,8	23,0	46,9	105,7	208,7	
		Søtype 9 (n = 284)						
Middeldybde (m)	0,3	0,8	1,0	1,2	1,9	2,5	3,0	
Alkalinitet (meq/l)	1,02	1,45	1,79	2,29	3,18	3,92	6,28	
Farvetal (mg Pt/l)	7	15	20	29	42	51	59	
Konduktivitet (mS/m)	12,6	27,2	33,9	42,4	53,2	70,5	95,0	
Total fosfor (mg P/l)	0,010	0,038	0,059	0,110	0,171	0,304	1,345	
Total kvælstof (mg N/l)	0,35	0,71	0,89	1,23	1,72	2,36	3,99	
Klorofyl a (µg/l)	1,8	8,4	18,2	41,8	80,2	123,5	282,2	
		Søtype 10 (n = 199)						
Middeldybde (m)	3,1	3,6	3,6	5,6	8,2	15,0	16,5	
Alkalinitet (meq/l)	1,01	1,57	1,93	2,30	2,78	3,29	4,65	
Farvetal (mg Pt/l)	1	6	10	14	19	25	41	
Konduktivitet (mS/m)	14,5	25,6	33,8	39,1	47,9	56,5	78,4	
Total fosfor (mg P/l)	0,006	0,019	0,026	0,047	0,086	0,142	0,339	
Total kvælstof (mg N/l)	0,25	0,63	0,73	0,97	1,61	2,36	3,76	
Klorofyl a (µg/l)	1,3	6,8	10,1	17,4	35,1	56,0	158,3	
		Søtype 11 (n = 52)						
Middeldybde (m)	0,1	0,4	0,5	0,9	1,6	2,0	3,0	
Alkalinitet (meq/l)	1,22	2,12	2,40	2,89	3,55	4,09	5,64	
Farvetal (mg Pt/l)	10	16	21	31	38	50	54	
Konduktivitet (mS/m)	116,0	147,4	366,3	796,8	1338	1841	4381	
Total fosfor (mg P/l)	0,028	0,062	0,099	0,176	0,319	0,448	1,370	
Total kvælstof (mg N/l)	0,53	0,88	1,20	1,53	2,27	3,52	6,37	
Klorofyl a (µg/l)	2,8	13,9	32,6	59,2	100,3	174,5	255,2	

	Søtype 13 (n = 28)						
Middeldybde (m)	0,1	0,4	0,7	1,0	1,1	1,6	2,2
Alkalinitet (meq/l)	1,11	1,61	1,82	2,65	3,44	3,96	4,57
Farvetal (mg Pt/l)	61	61	68	80	96	126	166
Konduktivitet (mS/m)	22,0	32,0	36,9	45,7	53,5	88,6	92,4
Total fosfor (mg P/l)	0,019	0,032	0,066	0,107	0,211	0,419	1,068
Total kvælstof (mg N/l)	0,83	0,90	1,21	1,45	1,75	2,55	3,36
Klorofyl a (µg/l)	4,2	8,2	12,1	31,7	78,8	168,8	190,2

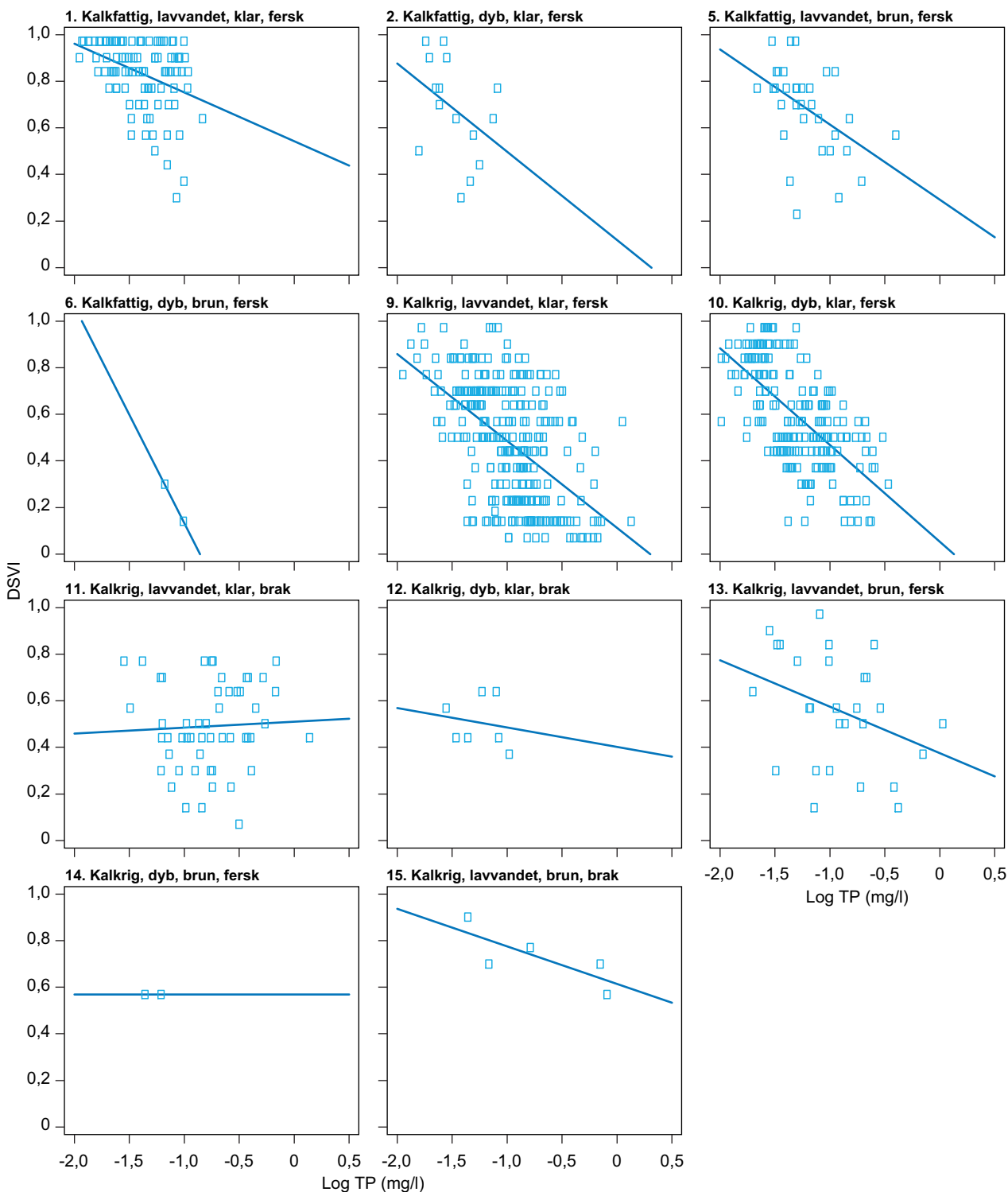
Relationer mellem næringsstoffer (TP og TN) og makrofytindekset (DSVI) for de enkelte søtyper

I fig. 3.1.1 er vist sammenhængen mellem makrofytindekset - dansk søvandplanteindeks (DSVI) og totalfosfor (sommeregnensnit) i de 11 søtyper, som findes blandt vandplansøerne.

For søtype 6, 12, 14 og 15 er der så få data, at det ikke giver mening at tolke på disse. Alle de 7 øvrige søtyper viser en reduceret DSVI ved stigende TP indhold, men generelt er der tale om nogle ret svage relationer (tabel 3.3.2).

For de lavalkaline søtyper, ikke mindst søtype 1, er datasættet næsten udelukkende repræsenteret af søer med TP under 100 µg P/l og det betyder, at TP-gradienten bliver ret lille. Tilsvarende er der kun få søer fra søtype 1, hvor DSVI er < 0,6, og det betyder en mere usikker fastsættelse af godmoderat grænsen. Relationen mellem DSVI og næringsstofindhold er ringe og faktisk lidt bedre til TN end til TP.

I regressionen med næringsstoffer og DSVI i søtype 1 med TA < 0,2 meq/l er TP ikke signifikant, mens den er til TN (R^2 dog kun 0,14). I den multiple regression med både TN og TP bliver TP også signifikant, men fortegnet er positivt, og det virker ikke meningsfyldt. Formentlig illustrerer dette en stor grad af usikkerhed i relationerne for denne søtype.



Figur 3.3.1. Sammenhænge mellem makrofytindekset (DSVI) og indholdet af TP (sommergennemsnit) i de 11 søtyper, som vandplansøerne omfatter. Klar = ikke brunvandet. De indtegnede regressionslinjer svarer ikke altid helt til tabel 3.4, fordi der i figurene er taget alle TP-værdier med og ikke kun dem under 0,5 mg P/l. Søtype med nummerering anvendt jf. vandplanerne er nævnt øverst i figurene (grænsen for de kalkfattige søer følger EU-terminologien, dvs TA < 1 meq/l).

Tabel 3.3.2. Regressionsanalyser mellem makrofytindekset, DSVI og TP (mg P/l) og TN (mg N/l), begge log-10 transformerede. Der er anvendt Prog REG (SAS). Analyserne er gennemført på søtyper med mindst 10 observationer (søår). Analyserne er gennemført ved TP<0,5 mg P/l. P<0,05 ved alle viste regressioner. 95% sikkerhedsintervaller (=2*standard error) på parameterestimaterne (skæring og hældning) er angivet i parentes. Mean square error (MSE) for modeludtrykket er også angivet. N er antallet af søår/søer. Ved den multiple regression er den partielle R² ved inddragelse af TP og TN angivet i parentes. Nederst i tabellen er vist regressionen for de lavvandede, kalkfattige, klare, ferske søer, hvis TA<0,2 meq/l, svarende til den danske søtype 1.

variabel	DSVI =	MSE	N	R ²
Søtype 1 (EU): Lavvandede, kalkfattige, klare, ferske søer				
TP	0,60 - 0,17*logTP, (±0,142;±0,098)	0,019	100	0,10
TN	0,80 - 0,26*logTN, (±0,031;±0,112)	0,018	100	0,15
TP, TN	0,73 - 0,05*logTP - 0,21*logTN, (±0,172;±0,130;±0,165)	0,019	100	0,16 (0,01; 0,15)
Søtype 1 (DK): Lavvandede, kalkfattige, klare, ferske søer, TA<0,2				
TP	Ikke signifikant		53	
TN	0,84 - 0,21*logTN, (±0,031;±0,146)	0,009	53	0,14
TP, TN	1,05 + 0,17*logTP - 0,43*logTN, (±0,492;±0,380;±0,620)	0,008	53	0,27 (0,13; 0,14)
Søtype 2: Dybe, kalkfattige, klare, ferske søer				
TP	Ikke signifikant		15	
TN	Ikke signifikant		15	
TP, TN	Ikke signifikant		15	
Søtype 5: Lavvandede, kalkfattige, brune, ferske søer				
TP	0,29 - 0,32*logTP, (±0,266;±0,214)	0,028	34	0,22
TN	Ikke signifikant		34	
TP, TN	Ikke signifikant til TN		34	
Søtype 9: Lavvandede, kalkrige, klare, ferske søer				
TP	0,09 - 0,39*logTP, (±0,084;±0,079)	0,046	274	0,26
TN	0,52 - 0,38*logTN, (±0,031;±0,147)	0,056	274	0,09
TP, TN	Ikke signifikant til TN		274	
Søtype 10: Dybe, kalkrige, klare, ferske søer				
TP	0,08 - 0,39*logTP, (±0,095;±0,071)	0,029	199	0,38
TN	0,60 - 0,20*logTN, (±0,030;±0,130)	0,045	199	0,04
TP, TN	0,10 - 0,38*logTP - 0,14*logTN, (±0,095;±0,070;±0,103)	0,028	199	0,41 (0,38; 0,02)
Søtype 11: Lavvandede, kalkrige, klare, brakke søer				
TP	Ikke signifikant		47	
TN	Ikke signifikant		47	
TP, TN	Ikke signifikant		47	
Søtype 13: Lavvandede, kalkrige, brune, brakke søer				
TP	Ikke signifikant		26	
TN	Ikke signifikant		26	
TP, TN	Ikke signifikant		26	

Test for forskelle (interkalibreret – ikke-interkalibreret)

Der findes ikke interkalibrerede lavalkaline søtyper (søtype 1-8), så det er ikke muligt at teste DSVI – TP sammenhænge i forhold til interkalibrerede søtyper. Der er kun etableret relationer mellem TP og DSVI for søtype 1 og søtype 5, om end relationerne er svage.

Hvis DSVI – TP relationerne for søtype 1 og 5 testes i forhold til søtype 10, hvor der i de første vandplaner har været anvendt samme klorofyl-grænse mellem god og moderat tilstand (klorofyl a = 12 µg/l) er der ingen forskelle i hældningen for nogen af søtyperne, svarende til samme respons i forhold til øget TP (tabel 3.3.3). Skæringspunktet er forskelligt (p<0,05) for søtype 1 i forhold til søtype 10.

Tabel 3.3.3. Test for forskelle (hældning og skæring) i DSVI – TP sammenhænge mellem de to interkalibrerede søtyper (9 og 10) og de ikke interkalibrerede søtyper. Ved test for forskelle i skæring er der anvendt skæring ved god-moderat grænsen. Der findes ikke interkalibrerede lavalkaline søtyper (søtype 1 og 5), men her er disse søtyper testet op mod søtype 10, der i de første vandplaner havde samme krav til TP ved god-moderat grænsen. Søtype 1 i forhold til søtype 10 er testet ved at anvende TP-værdier under 0,1 mg/l, så det spænd af TP-værdier, som søtyperne dækker over er sammenlignelige. For søtype 5 er testet for TP-værdier < 0,5 mg/l. Hvis $p < 0,05$ er der signifikant forskel på 5% sikkerhedsniveau (disse er markeret med fed).

Ikke interkalibreret søtype	Søtype 9		Søtype 10	
	Forskel hældning	Forskel skæring	Forskel hældning	Forskel skæring
1	-	-	$p=0,707$	P=0,001
5	-	-	$P=0,099$	$p=0,278$

3.4 Fisk

Fiskeindekset er endnu ikke interkalibreret, og der pågår en øvelse på europæisk plan, hvor fiskedata fra en række lande indgår i en tværgående analyse. Der foreligger dog allerede et forslag til et dansk fiskeindeks (se Søndergaard et al., 2013), og det er det, som er anvendt her.

Databaggrund

I analyserne af relationerne mellem fiskeindekset og næringsstoffer (TP og TN) indgår data fra i alt 199 søer over 1 hektar omfattende i alt 282 søår. Dvs. 83 søer er fisket to gange i perioden 2004-2012. I forhold til alkalinitet er anvendt den danske grænse på 0,2 meq/l, og som adskillelse mellem brakvandssøer og ferskvandssøer er anvendt en kombination af salinitet (>0,5 ‰) og konduktivitet (>100 mS/m). Hvis der ikke forekommer information på den ene variabel er anvendt information fra den anden variabel. I 5 søtyper (1, 9, 10, 11 og 13) er der udført 9 eller flere fiskeundersøgelser. I 4 søtyper (2, 5, 12 og 14) er der gennemført mellem 1 og 4 fiskeundersøgelser og dermed ikke nok undersøgelser til at indgå i denne analyse.

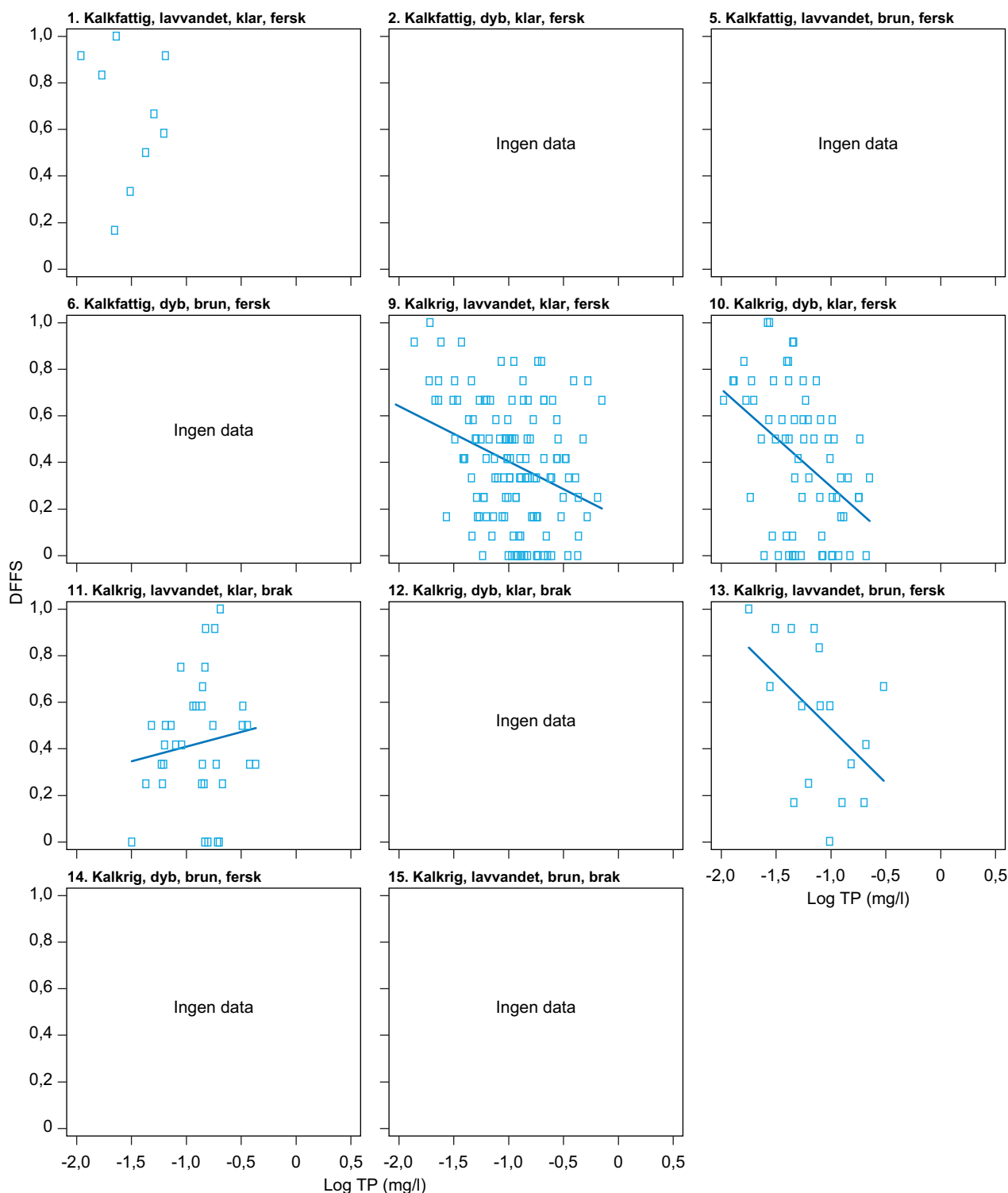
En oversigt over de data, som indgår i de enkelte søtyper er vist i tabel 3.4.1. Der er kun vist data fra søtyper, hvorfra der er data fra mindst 9 sø-år.

Tabel 3.4.1. Oversigt over datafordelingen for de enkelte parametre og for de forskellige søtyper. N er antal søår med fiskeundersøgelser.

	Søtype 1 (n = 9)							
	Min	10%	25%	50%	75%	90%	Max	
Middeldybde (m)	0,85	0,85	1,21	1,51	1,6	1,74	1,89	
Alkalinitet (meq/l)	0,003	0,008	0,03	0,084	0,11	0,16	0,19	
Farvetal (mg Pt/l)	4	10	24	29	40	48	57	
Konduktivitet (mS/m)	8,7	8,9	9,5	10,3	17,9	19,2	21,7	
Totalfosfor (mg P/l)	0,011	0,016	0,022	0,031	0,051	0,063	0,064	
Totalkvælstof (mg N/l)	0,34	0,41	0,49	0,58	0,83	0,87	0,94	
Klorofyl a (µg/l)	1,9	3,9	5,6	11,7	17	19,6	29,6	
		Søtype 9 (n = 136)						
Middeldybde (m)	0,33	0,58	0,94	1,42	2	2,36	3	
Alkalinitet (meq/l)	0,39	0,99	1,66	2,37	3,28	3,80	6,22	
Farvetal (mg Pt/l)	8	16	19	29	41	50	60	
Konduktivitet (mS/m)	17,7	23,6	32,6	45,1	57	79,1	368	
Totalfosfor (mg P/l)	0,009	0,038	0,062	0,113	0,202	0,372	1,323	
Totalkvælstof (mg N/l)	0,28	0,68	0,93	1,26	1,79	2,33	3,74	
Klorofyl a (µg/l)	2,6	8,9	21,6	44	79,7	1127,6	260	
		Søtype 10 (n = 68)						
Middeldybde (m)	3,0	3,36	3,8	4,4	7	11,8	16,5	
Alkalinitet (meq/l)	0,266	0,87	1,46	2,16	2,76	3,4	4,68	
Farvetal (mg Pt/l)	2	9	11	16	21	30	56	
Konduktivitet (mS/m)	10,5	20,3	31	40,6	46,1	54,3	67,3	
Totalfosfor (mg P/l)	0,011	0,019	0,035	0,052	0,099	0,134	0,225	
Totalkvælstof (mg N/l)	0,30	0,48	0,61	0,96	1,40	1,90	3,52	
Klorofyl a (µg/l)	4,6	8,1	11	25,6	43,7	72,7	160,1	
		Søtype 11 (n = 38)						
Middeldybde (m)	0,45	0,5	0,84	1,30	1,95	2,58	3,70	
Alkalinitet (meq/l)	1,68	2,01	2,3	2,85	3,52	3,79	4,67	
Farvetal (mg Pt/l)	10	15	18	25	31	36	45	
Konduktivitet (mS/m)	20,4	313	580	1014	1346	1796	2280	
Totalfosfor (mg P/l)	0,032	0,060	0,082	0,146	0,192	0,369	0,573	
Totalkvælstof (mg N/l)	0,35	0,64	0,97	1,59	3,49	4,03	6,30	
Klorofyl a (µg/l)	5,1	13	27	54	132	169	240	
		Søtype 13 (n= 21)						
Middeldybde (m)	0,28	0,34	0,48	0,70	1,0	1,6	2,1	
Alkalinitet (meq/l)	0,24	0,73	0,87	1,10	2,72	3,50	3,99	
Farvetal (mg Pt/l)	60	61	66	78	96	259	283	
Konduktivitet (mS/m)	11,4	20,2	24,3	33,1	46,3	50,2	96,5	
Totalfosfor (mg P/l)	0,018	0,031	0,054	0,098	0,21	1,05	3,62	
Totalkvælstof (mg N/l)	0,62	0,88	1,11	1,39	2,08	2,29	3,79	
Klorofyl a (µg/l)	3,6	9,1	15	45	67	119	182	

Relationer mellem næringsstoffer (TP og TN) og fiskeindekset (DFFS) for de enkelte søtyper

I fig. 3.4.1 er vist sammenhængen mellem fiskeindekset (dansk fiskeindeks for søer, DFFS) og totalfosfor i 5 søtyper. For søtyperne 2, 5, 6, 12, 14 og 15 er der ingen eller så få data, at det ikke giver mening at tolke på disse. For søtype 1 er der også få data (n= 9), men data er alligevel vist, på trods af at der ikke er tilstrækkelig sikkerhed til at etablere gode empiriske relationer. For søtyperne 9, 10 og 13 er vist en mere eller mindre stærk sammenhæng, hvor DFFS falder med stigende fosforindhold; for søtype 11 ses derimod en positiv korrelation med TP. I tabel 3.1 er angivet relationerne til TP og TN.



Figur. 3.4.1. Sammenhænge mellem DFFS og indholdet af TP (sommergennemsnit) i de 11 søtyper, som vandplansøerne omfatter. Klar = ikke brunvandet. De indtegnede regressionslinjer svarer til tabel 3.4.2, idet søer med TP værdier over 0,5 mg P/l er udeladt. Grænsen for de kalkfattige søer følger den nationale terminologi, dvs. TA<0,2 meq/l.

For den almindelige søtype 9 fremgår det af såvel figur 3.4.1 som tabel 3.4.2, at der er en forholdsvis ringe sammenhæng med TP ($R^2=0,11$). Årsagen er ikke kun den store spredning på data ved givne TP-niveauer, men også at der er forholdsvis få næringsfattige søer i datasættet. For søtypen er der således kun 23 sø-år ud af totalt 136 sø-år, med TP-værdier under 0,05 mg TP/l og sættes grænsen ved 0,03 mg TP/l er der kun 9 søer med lavere TP.

Tilsvarende søtype 9 er der heller ikke en god forklaringsværdi for søtype 1, primært fordi vi kun har data fra 9 søer, men også fordi alle søerne er forholdsvis næringsfattige, altså modsat søtype 9, hvor størstedelen af søerne er næringsrige. I den næstmest almindelige søtype 10, er forklaringsgraden lidt bedre ($R^2=0,19$). Årsagen er her, at søerne er mere ligeligt fordelt langs en TP-gradient, idet 33 søer af i alt 68 søer har en TP-værdi under 0,05 mg TP/l. Forklaringsgraden er dog stadig ikke god, men uanset de forholdsvis dårlige forklaringsgrader er der i begge tilfælde tale om signifikante relationer mellem DFFS og TP.

I søtype 13 ses den bedste forklaringsgrad ($R^2=0,24$) uanset det lave antal søer, som indgår i analysen. Årsagen skal derfor findes i en relativ lille spredning ved givne TP-værdier samt en mere jævn fordeling af søer mellem næringsfattige og næringsrige forhold.

For søtype 11 (brakke, lave, klare, kalkrige) er der ingen sammenhæng mellem DFFS og TP. Årsagen er formentlig en meget divergerende fiskesammensætning, varierende fra en typisk ferskvandsfiskesammensætning til et næsten marint fiskesamfund. Data indikerer ikke at skiftet fra et ferskt samfund til et marint samfund sker ved en bestemt salinitetsgrænse. Således findes marine fiskesamfund helt nede ved 1,28 ‰ og ferskvandssamfund ved 2,5 ‰. Det betyder også, at det ikke er muligt at anvende det udviklede fiskeindeks på brakvandssøerne.

Tabel 3.4.2. Regressionsanalyser mellem DFFS og TP (mg P/l) og TN (mg N/l) for de 4 søtyper med mindst 9 datapunkter (se fig. 3.4.1), alle log-10 transformerede. Ved regressionerne med TP er der kun anvendt søer med $TP < 0,5$ mg P/l. Med undtagelse af søtype 11 er $P < 0,0001$ ved alle viste TP-regressioner. Med undtagelse af søtype 9, er der ikke signifikant sammenhæng mellem DFFS og TN.

variabel	DFFS =	N	R ²
9 Lavvandede, kalkrige, klare, ferske søer			
TP	$-0,2377 \cdot \log TP + 0,1667$	136	0,1142
TN	$-0,4536 \cdot \log TN + 0,439$	136	0,1414
10 Dybe, kalkrige, klare, ferske søer			
TP	$-0,4183 \cdot \log TP - 0,1216$	68	0,1876
TN	$-0,3052 \cdot \log TN + 0,3993$	ikke signifikant	0,0568
11 Lave, kalkrige, klare, brakke søer			
TP	$0,1262 \cdot \log TP + 0,5361$	ikke signifikant	0,0186
TN	$-0,0233 \cdot \log TN + 0,4285$	ikke signifikant	0,0009
13 Lave, kalkrige, brune, ferske søer			
TP	$-0,4644 \cdot \log TP + 0,0218$	21	0,2381
TN	$-0,563 \cdot \log TN + 0,6015$	ikke signifikant	0,0968

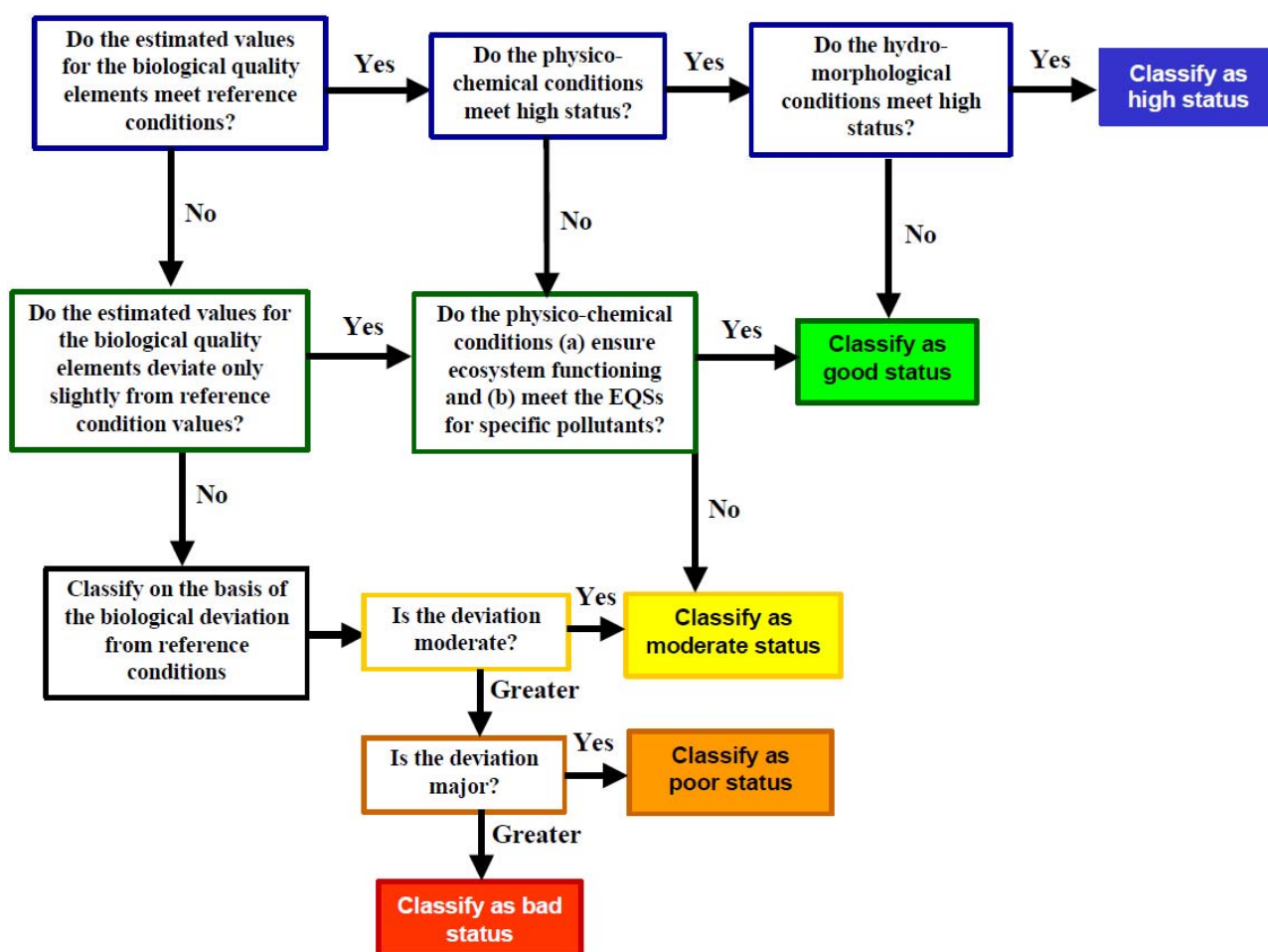
Test for forskelle (interkalibreret – ikke-interkalibreret)

I forhold til fisk findes der ikke interkalibrerede søtyper. Det er derfor ikke muligt at teste DFFS – TP sammenhænge i forhold til interkalibrerede søtyper. Der er i øjeblikket en interkalibreringsproces i gang i forhold til søtype 9, og det kan derfor være relevant at teste DFFS i forhold til denne søtype.

4 Vandkemiske støtteparametre

4.1 Anvendelsen af støtteparametre i klassificeringen

Søers fysisk-kemiske variable skal indgå i vurderingen af den overordnede økologiske klasse (Fig. 4.1.1). Det fremgår her, at hvis ikke de fysisk-kemiske forhold kan sikre "ecosystem functioning", så kan søen ikke klassificeres som værende med god økologisk kvalitet. Det er dog indtil videre ikke nærmere defineret, hvordan disse forhold skal tolkes (se også afsnit 4.3). I dette afsnit søger vi at vurdere, hvordan indholdet af næringsstoffer (fosfor og kvælstof) evt. kan anvendes til at vurdere om et givent næringsstofniveau sikrer den måde økosystemet fungerer på (underforstået opfyldelse af god økologisk tilstand).



Figur 4.1.1. De forskellige roller af biologiske, hydromorfologiske og fysisk-kemiske kvalitetselementer i den økologiske klassificering af søer jf. de normative definitioner i WFD Annex V:1.2. Fra EU (2005). Der er anvendt en engelsk version af diagrammet for at være præcis omkring begreberne (eksempelvis er "Ecosystem functioning" i den danske version oversat til "økosystemets funktion", hvor "Ecosystem functioning" også kunne oversættes som den måde økosystemet fungerer på).

4.2 Analyse af danske data, god-moderat grænse

I det følgende er danske vandkemiske data (TP og TN) vurderet i forhold til de anvendte kvalitetselementer (fytoplankton og makrofytter) samt klorofyl a og i forhold til de grænser, der er defineret som adskillelsen mellem god og

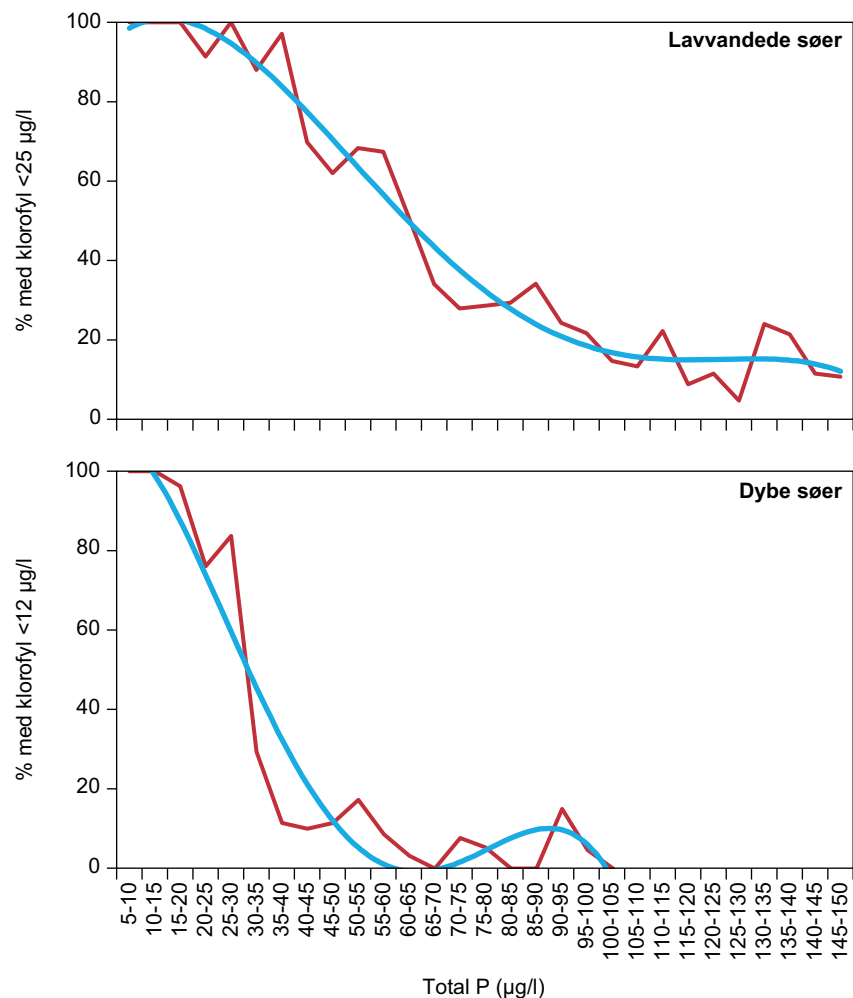
moderat økologisk tilstand. Dvs. for klorofyl *a*'s vedkommende ved 25 µg/l i de lavvandede søer og 12 µg/l i de dybe søer. For fytoplankton- og makrofytindekset er vurderingen gennemført omkring god-moderat grænsen.

I analysen er der kun skelnet mellem den lavvandede og dybe søtype (middeldybde >> 3 m) og ikke de specifikke søtyper. Dette er for at sikre et så stort datamateriale som muligt at gennemføre analyserne på. Analyserne sigter på at beskrive, hvor stor en søandel, der ved et givent næringsstofindhold, har mindst god økologisk tilstand. Samtidigt søges identificeret tærskelværdier af TP og TN, hvor andelen af søer, som opfylder kravet til mindst god økologisk tilstand, reduceres markant. Analyserne er baseret på de samme datasæt, som er anvendt i afsnit 3.

Klorofyl og TP

Som det fremgår af Fig. 4.2.1, har næsten alle lavvandede søer med TP-koncentration under 40 µg/l også et klorofylindhold under 25 µg/l. Fra 40 til ca. 70 µg TP/l falder andelen af søer med klorofylkoncentrationer under 25 µg/l markant fra omkring 90% til 30% og ved et TP-indhold på 100 µg/l har mindre end 20% af søerne (søår) et klorofylindhold under 25 µg/l.

Figur 4.2.1. Andelen af søår fra de lavvandede søer (øverst, middeldybde < 3m), hvor klorofyl *a* koncentrationen er under 25 µg/l eller i de dybe søer under 12 µg/l (nederst) i forhold til TP-kategorier mellem 5 og 150/105 µg/l. Den blå kurve angiver det bedst fittede 4-grads polynomium. N=1027 i de lavvandede søer. Bortset fra de to laveste TP-klasser, hvor N= 7-17 er N mellem 21 og 49 i de øvrige TP-klasser. I de dybe søer er N=507 og her repræsenteres TP-klasserne af 19-43 observationer (bortset fra den laveste TP-klasse, hvor der kun er tre observationer).

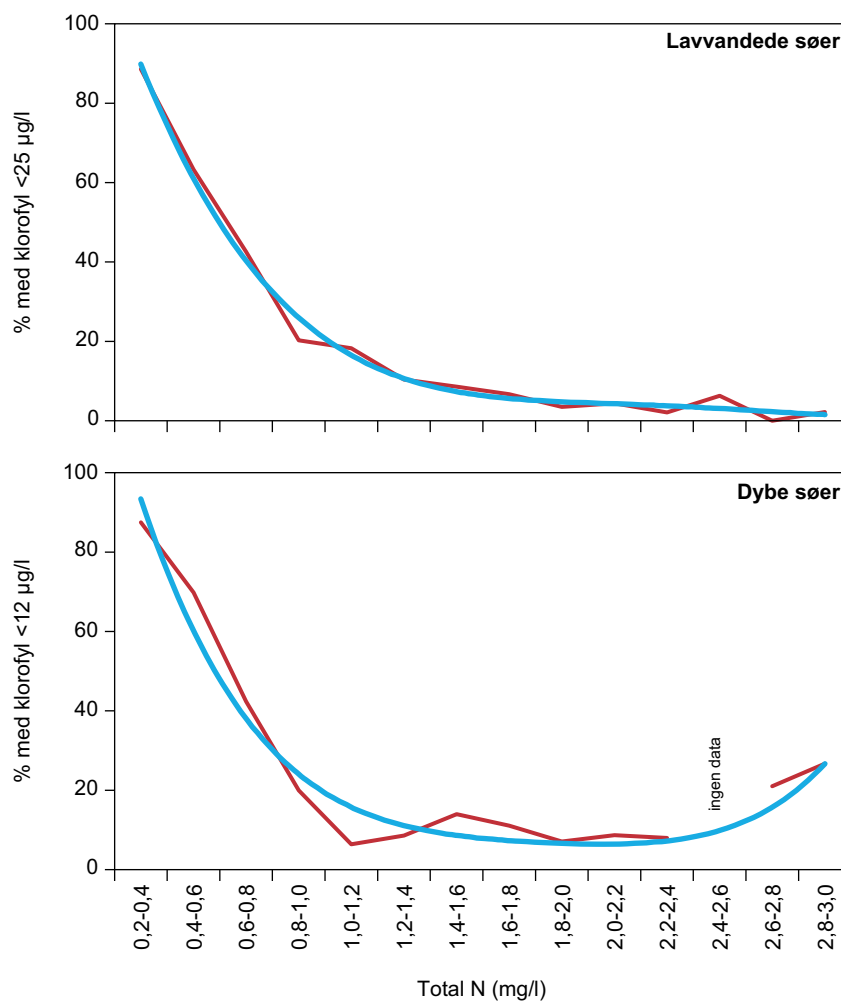


I de dybe søer (middeldybde > 3 m) har stort set alle søer (søår) mindre end 12 µg klorofyl/l op til en TP-koncentration på 20 µg/l og op til 30 µg TP/l har omkring 80% af søerne et klorofylindhold under 12 µg/l. Herefter falder andelen hurtigt og ved TP værdier over 35 µg/l har kun 20% eller færre en klorofylværdi under 12 µg/l.

Klorofyl og TN

I både dybe og lavvandede søer falder andelen af søer med klorofyl *a* under henholdsvis 12 og 25 µg/l meget markant i de laveste TN-kategorier. Andelen af søår, der opfylder kravet til klorofyl reduceres fra omkring 90% i søer med TN mellem 0,2-0,4 mg/l til omkring 10% eller derunder, når TN overstiger 1,2 mg/l (Fig. 4.2.2).

Figur 4.2.2. Andelen af søår fra de lavvandede søer (øverst, middeldybde < 3m), hvor klorofyl *a* koncentrationen er under 25 µg/l eller i de dybe søer under 12 µg/l (nederst) i forhold til TN-kategorier (mg/l) mellem 0,2 og 3,0. Den blå kurve angiver det bedst fittede 4-grads polynomium. N=1634 i de lavvandede søer og mellem 31 og 202 i de enkelte TN-klasser. I de dybe søer er N=616 og her repræsenteres TN-klasserne af 15-106 observationer. I begge søtyper der flest observationer i de midterste TN-klasser.

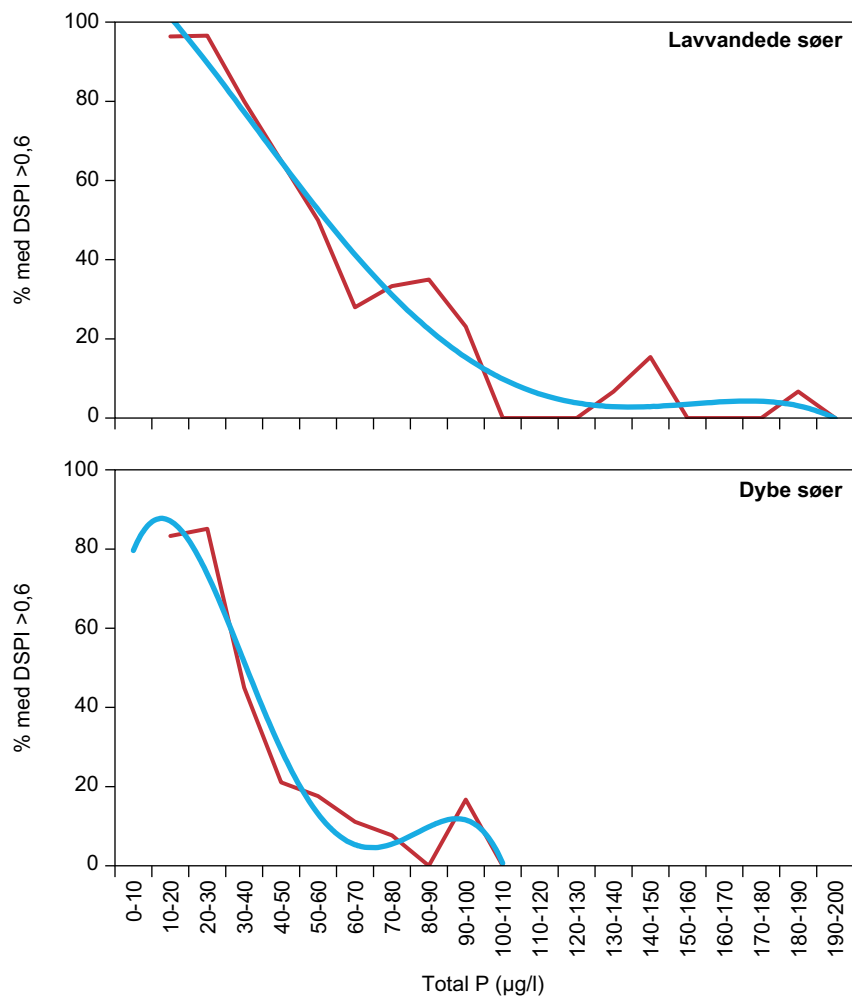


Fytoplanktonindeks (DSPI) og TP

Andelen af lavvandede søer, som har et DSPI>0,6 reduceres mest markant fra omkring 30 µg TP/l til omkring 60 µg TP/l, hvor procentandelen reduceres fra næsten 100% til omkring 30% (Fig. 4.2.3). Herefter reduceres andelen yderligere til tæt ved 0% ved TP-værdier over 100 µg TP/l.

I de dybe søer sker den største ændring i antallet af søer, som har DSPI > 0,6, fra 30 til 50 µg/l, hvor procentandelen reduceres fra omkring 80 til omkring 20. Ved TP-værdier over 60 µg/l har kun meget få søer en DSPI over 0,6.

Figur 4.2.3. Andelen af søår fra de lavvandede søer (øverst, middeldybde < 3m), hvor DSPI er > 0,6 (god-moderat grænsen) i forhold til TP-kategorier mellem 0 og 190/110 µg/l. Den blå kurve angiver det bedst fittede 4-grads polynomium. N=319 i de lavvandede søer med mellem 11 og 20 observationer i hver kategori (flest i de midterste TP-klasser). I de dybe søer er N=200 og her repræsenteres TP-klasserne af 15-29 observationer (dog kun 5 i TP-klassen 120-130 µg/l).

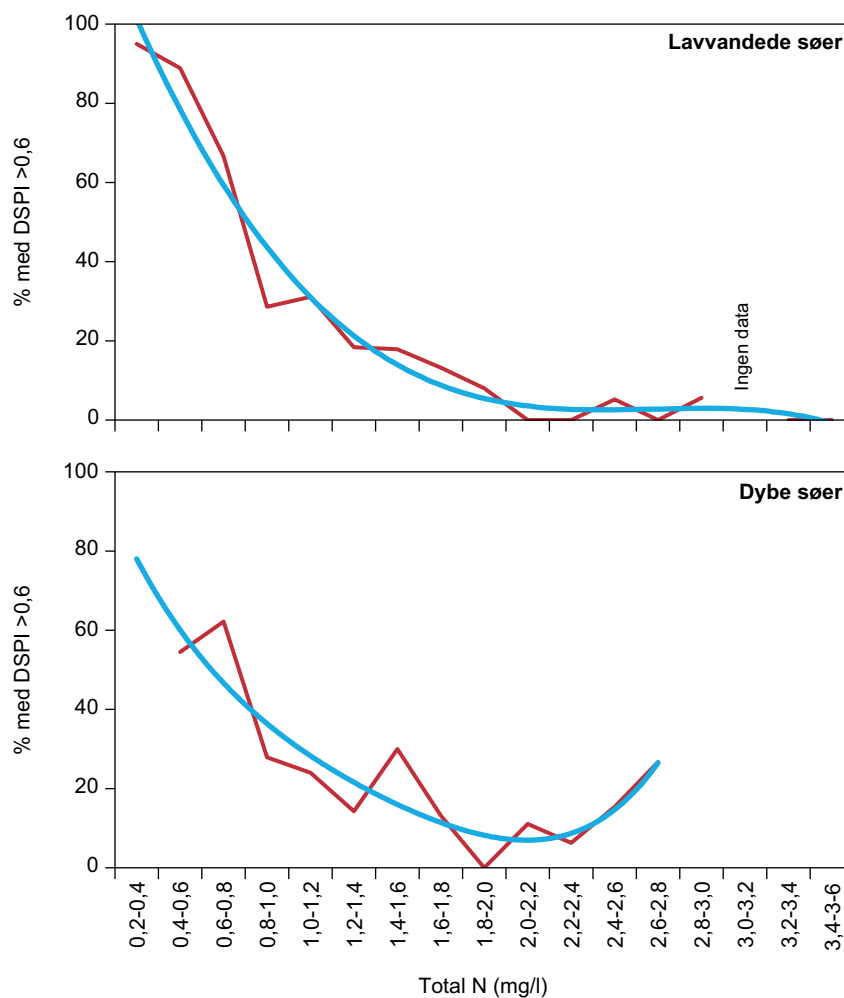


Fytoplanktonindeks (DSPI) og TN

I de lavvandede søer reduceres andelen af søår med DSPI>0,6 allerede ved de lave TN-koncentrationer (Fig. 4.2.4). Ved TN under 0,6 har omkring 90% af alle søår et DSPI>0,6, men allerede ved 1,2 mg TN/l er dette tal reduceret til omkring 30% og ved TN-værdier over 2 mg/l har næsten ingen søer et DSPI over 0,6.

I de dybe søer er der færre data, og det giver et mere uklart billede. Selv ved de laveste TN-kategorier (TN fra 0,4-0,8 mg/l) er der højest 50-60% af søerne, som har et DSPI over 0,6. Ved TN-værdier over 1 mg N/l reduceres andelen til under 30%, men der er store variationer.

Figur 4.2.4. Andelen af søår fra de lavvandede søer (øverst, middeldybde < 3m), hvor DSPI er > 0,6 (god-moderat grænsen) i forhold til TN-kategorier (mg/l) mellem 0,2 og 3,6/2,8. Den blå kurve angiver det bedst fittede 4-grads polynomium. N=472 i de lavvandede søer med mellem 12 og 49 observationer i hver kategori (flest i de midterste TN-klasser). I de dybe søer er N=232 og her repræsenteres TN-klasserne af 11-43 observationer (flest i de midterste TN-klasser).

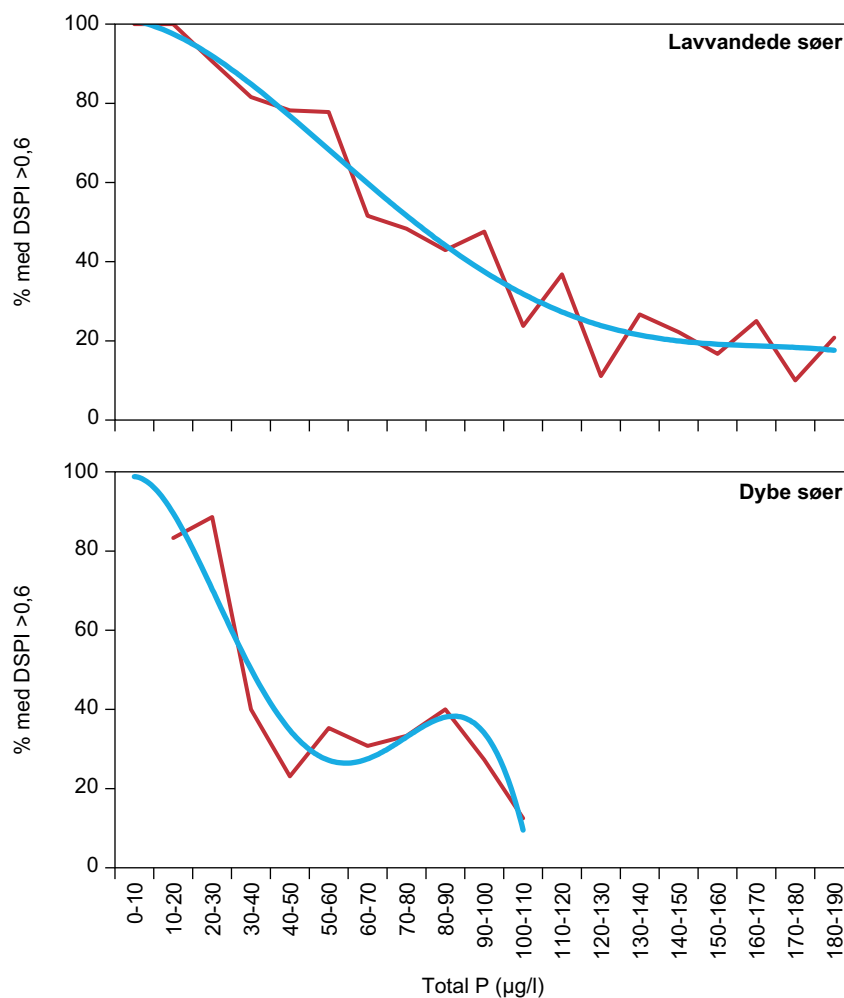


Makrofytindeks (DSVI) og TP

I de lavvandede søer sker ændringer i antallet af søår med DSVI > 0,6 (god-moderat grænse) jævnt hen over et TP-indhold fra omkring 20 til 130 $\mu\text{g P/l}$, hvor procentandelen falder fra næsten 100% til omkring 20% (Fig. 4.2.5).

I de dybe søer er datasættet noget mindre ($n=197$) og flere af TP-kategorierne består af forholdsvis få observationer, så kurveforløbet bliver mere præget af tilfældigheder. De største ændringer sker mellem 30 og 50 $\mu\text{g TP/l}$, hvor antallet af søår med DSVI > 0,6 reduceres fra omkring 80% til omkring 30%, men selv ved TP-værdier mellem 50 og 100 $\mu\text{g/l}$ har omkring 30% af observationerne en DSVI over 0,6.

Figur 4.2.5. Andelen af søår fra de lavvandede søer (øverst, middeldybde < 3m) og dybe søer (nederst, middeldybde > 3 m), hvor DSVI er over 0,6 (god-moderat grænsen) i forhold til TP-kategorier mellem 0 og 190/110 µg/l. Den blå kurve angiver det bedst fittede 4-grads polynomium. N=405 i de lavvandede søer. Bortset fra den laveste TP-klasse, hvor der kun er tre observationer, er N mellem 10 og 46 i de øvrige TP-klasser (flest i de midterste TP-klasser). I de dybe søer er N=197 og her repræsenteres TP-klasserne af 8-44 observationer (flest i de midterste laveste TP-klasser).

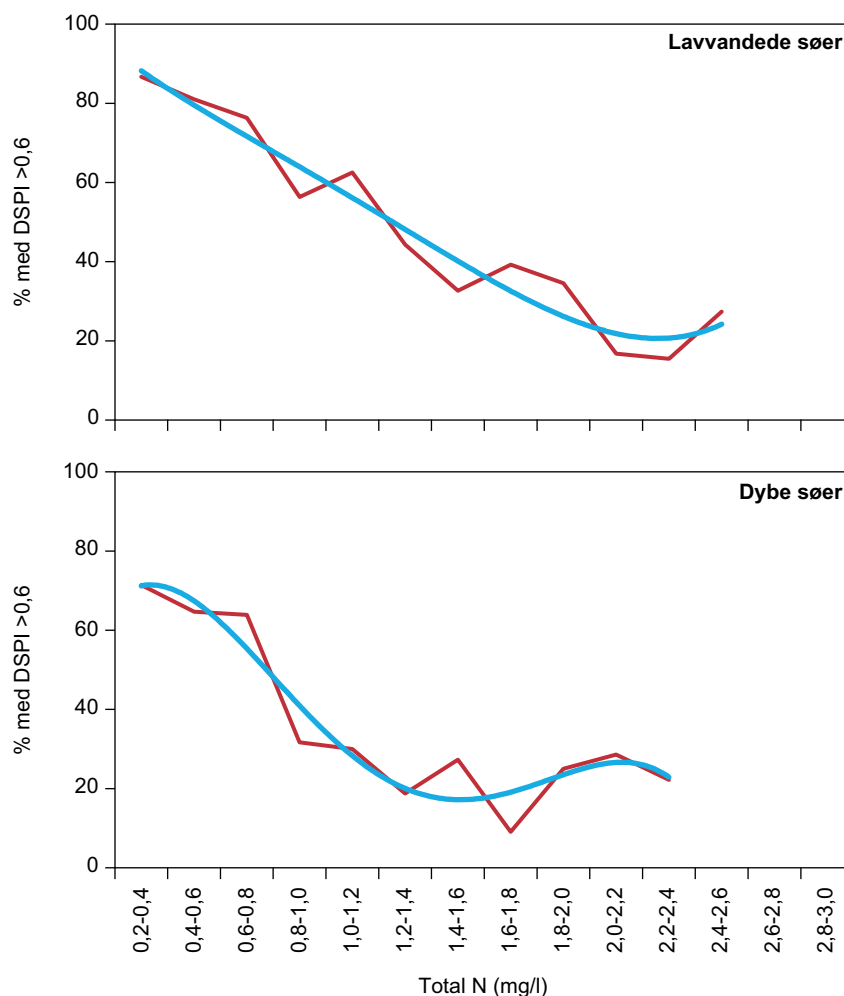


Makrofytindeks (DSVI) og TN

I de lavvandede søer falder andelen af søår med DSVI > 0,6 jævnt med øget TN (Fig. 4.2.6). Faldet er fra omkring 80% med DSVI > 0,6 ved TN under 0,6 mg N/l til omkring 20% med DSVI > 0,6 ved TN-værdier over 2 mg/l. Der er ikke klare tærskelværdier i forhold til indholdet af TN.

I de dybe søer er datasættet noget mindre og omfatter 208 søår samtidigt med at flere af TN-kategorierne består af forholdsvis få observationer, så kurveforløbet bliver mere præget af tilfældigheder. De største ændringer sker mellem 0,4 og 1,2 mg TN/l, hvor antallet af søår med DSVI > 0,6 reduceres fra omkring 70% til omkring 20%, men selv ved TN-værdier mellem 1,4 og 2,4 mg /l har omkring 20% af observationerne en DSVI over 0,6.

Figur 4.2.6. Andelen af søår fra de lavvandede søer (øverst, middeldybde < 3m), hvor DSVI er > 0,6 (god-moderat grænsen) i forhold til TN-kategorier (mg/l) mellem 0,2 og 2,6/2,4. Den blå kurve angiver det bedst fittede 4-grads polynomium. N=469 i de lavvandede søer med mellem 11 og 87 observationer i hver kategori (flest i de midterste TN-klasser). I de dybe søer er N=208 og her repræsenteres TN-klasserne af 9-61 observationer (flest i de midterste TN-klasser).



4.3 Hvordan anvendes vandkemiske støtteparametre, og er der fælles EU-retningslinjer?

Som nævnt i indledningen findes der ikke præcise definitioner af, hvad der kræves af de fysisk-kemiske kvalitetselementer, så de kan sikre "ecosystem functioning" og indgå i vurderingen af den økologiske tilstand.

Én fortolkning af, hvad der skal til, for at "the physico-chemical conditions ensure ecosystem functioning", kunne være, at man skulle ned på et næringsstofniveau, som med rimelig sandsynlighed sikrede (ensure) den gode økologiske kvalitet. Med det kendskab vi har til den variation, der findes i de biologiske kvalitetselementer i forhold til næringsstofindhold, ville dette indebære, at man skulle være i den lave ende af det næringsstofniveau, hvor risikoen for at søen bevæger sig fra en god til en moderat økologisk tilstand begynder at blive høj. Det er disse forhold, der er søgt illustreret i det foregående afsnit (4.2).

I de relationer, som tidligere er etableret for de empiriske sammenhænge mellem TP (og TN) og de biologiske kvalitetselementer, anvendes typisk skæringen ved indeks=0,6 (god-moderat grænsen) for at afgøre hvilken indsats, der evt. skal iværksættes for at nedbringe næringsstofforsyningen. Skæringen ved god-moderat grænsen i disse empiriske sammenhænge svarer imidlertid kun til, at 50% af søerne vil opnå mindst en god økologisk tilstand ved de givne regressioner. Så spørgsmålet er, om dette næringsstofniveau kan kaldes at sikre den gode økologiske tilstand, eller om man skal længere ned.

Disse spørgsmål er også til diskussion i EU, og i øjeblikket pågår der en proces, hvor disse forhold belyses med henblik på at fastlægge fælles standarder. Ved et ECOSTAT-møde i oktober 2013 var der enighed om, at der var behov for at udføre yderligere sammenligninger af hvilke næringsstofstandarder, der anvendes, eftersom tidligere undersøgelser har vist, at der er store forskelle mellem de forskellige medlemslande. Det er besluttet, at der på tværs af medlemslandene skal indsamles information om hvilke næringsstofstandarder, der bruges, og hvilke metoder, der er anvendt til at etablere disse standarder. Det er endvidere tanken at undersøge, hvordan medlemslandene udvikler sammenhænge mellem den næringsstofmæssige og den biologiske status samt at undersøge, hvordan medlemslandene tolker kombinationen af den biologiske klassifikation og næringsstofindhold i lyset af, at Vandrammedirektivet kræver, at næringsstofindholdet skal understøtte den økologiske status.

4.4 Forslag til anvendelsen af kemiske støtteparametre, god-moderat grænse

Indtil der foreligger nærmere forslag til fælles EU-retningslinjer, som evt. kan anvendes i den danske forvaltning, er det i tabel 4.4.1 angivet, hvilke TP- og TN-værdier, der skal til, hvis der stilles forskellige krav til andelen af søer (søår), som opfylder kravet om mindst god økologisk tilstand. Værdierne er baseret på analyserne af danske data vist i afsnit 4.2.

Tabel 4.4.1. Angivelse af de TP-værdier ($\mu\text{g/l}$) og TN-værdier (mg/l), hvor 25%, 50% eller 75% af observationerne (søår) har en indeks-værdi på 0,6 eller derover (eller for klorofyl *a* under $25 \mu\text{g/l}$ i lavvandede søer og i dybe søer under $12 \mu\text{g/l}$). TP- og TN-værdierne er baseret på fig. 4.2.1-4.2.6 (aflæst på det indtegnede polynomium). Under range er angivet det TP og TN interval (aflæst som observerede værdier), hvor der sker store ændringer omkring god-moderat økologisk tilstand. *) usikker fastsættelse.

		Klorofyl <i>a</i>			Fytoplanktonindeks				Makrofytindeks			
		Totalfosfor ($\mu\text{g/l}$)										
	Range	25%	50%	75%	Range	25%	50%	75%	Range	25%	50%	75%
Lavvandede søer	40-70	85	65	45	30-130	80	55	30	60-120	120*	80	42
Dybe søer	20-40	42	30	23	30-50	45	34	22	30-50	60*	36	23
		Totalkvælstof (mg/l)										
	Range	25%	50%	75%	Range	25%	50%	75%	Range	25%	50%	75%
Lavvandede søer	0,4-1,2	0,95	0,65	0,4	0,4-2,0	1,2	0,8	0,5	0,6-1,2	2,0*	1,25	0,6
Dybe søer	0,4-1,0	0,9	0,6	0,4	0,4-1,2	1,1*	0,65*	0,4*	0,8-1,2*	1,2*	0,8	*

Som tabellen illustrerer, giver anvendelsen af de to indices (fytoplankton og makrofytter) og klorofyl *a* forskellige værdier af TP og TN i forhold til om 25%, 50% eller 75% af observationer skal være med mindst god økologisk tilstand. Som også set i andre sammenhænge giver fytoplanktonindekset de laveste TP-værdier i de lavvandede søer, hvor TP skal være under $80 \mu\text{g/l}$ for at mindst 25% har en god økologisk tilstand, under $55 \mu\text{g/l}$ for at mindst 50% har en god økologisk tilstand og under $30 \mu\text{g/l}$, hvis mindst 75% af søerne skal have mindst god økologisk tilstand. For TN skal de laveste værdier opnås, hvis indholdet af klorofyl anvendes. Tidligere er der foreslået en afgrænsning mellem god og moderat økologisk tilstand ved et TP-indhold på $50 \mu\text{g/l}$ i de lavvandede søer og $25 \mu\text{g/l}$ i de dybe søer (Søndergaard et al., 2003).

Hvis der anlægges den mest restriktive betragtning af de tre eksempler angivet i tabellen (75% af søerne har mindst god økologisk tilstand) og for det mest restriktive af kvalitetselementerne (fytoplankton) svarer dette til et

krav om TP på højest 30 µg/l i de lavvandede søer og 22 µg/l i de dybe søer. For TN er de tilsvarende værdier 0,4 mg/l i både lavvandede og dybe søer.

Hvis 50% af søerne (søår) skal have mindst en god økologisk tilstand, er de tilsvarende TP-værdier 55 µg P/l i de lavvandede søer og 30 µg P/l i de dybe søer. For TN er værdierne 0,65 mg/l i de lavvandede søer og 0,6 i de dybe søer.

Hvis 25% af søerne (søår) skal have mindst en god økologisk tilstand, er de tilsvarende TP-værdier 80 µg P/l i de lavvandede søer og 42 µg P/l i de dybe søer. For TN er værdierne 0,95 mg/l i de lavvandede søer og 0,90 i de dybe søer.

4.5 Analyse af danske data, høj-god grænse

På tilsvarende vis kan man analysere de fysisk-kemiske støtteparametre i forhold til at understøtte den høje økologiske tilstand. I dette afsnit er der anvendt samme typer analyser, som vist i afsnit 4.2 i forsøg på at give et bud på hvilke vandkemiske forhold (TP og TN), der kan anvendes til afgrænsningen mellem høj og god økologisk tilstand.

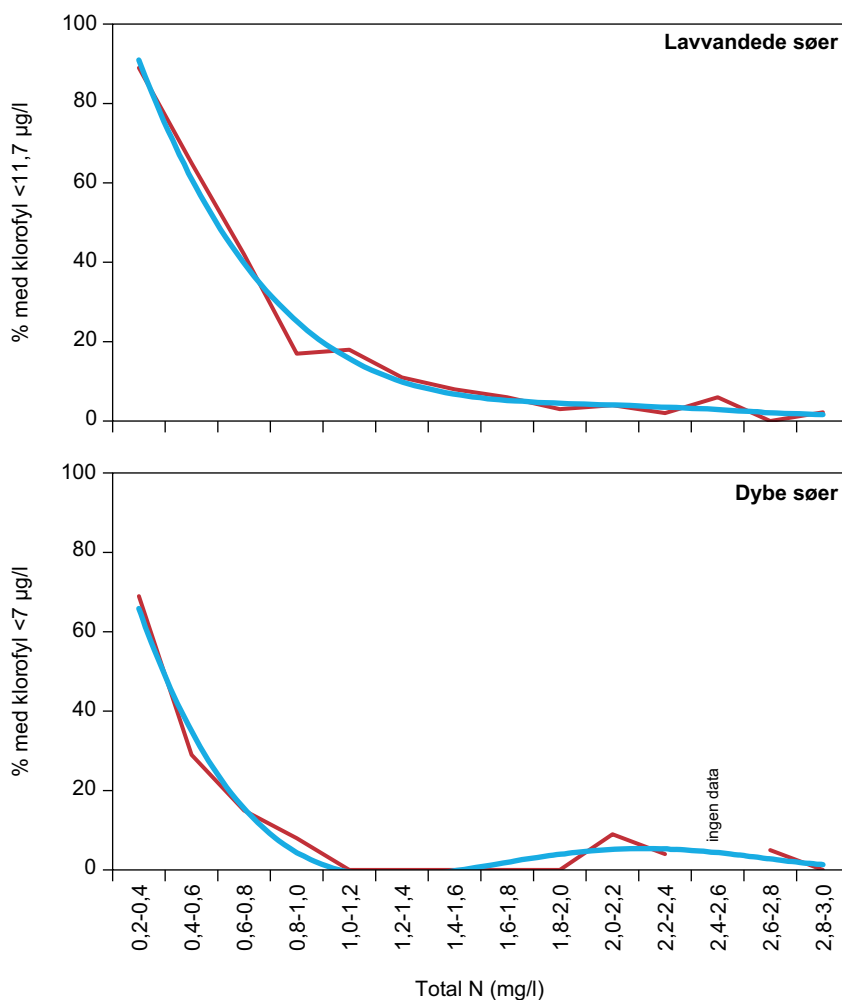
I analyserne er der, som tidligere kun skelnet mellem dybe og lavvandede søer (middeldybde $>< 3$ m). Analyserne er foretaget ud fra en klorofyl a grænse ved høj-god økologisk tilstand ved 11,7 og 7,0 µg/l i henholdsvis lavvandede og dybe søer (Retningslinjer for udarbejdelse af indsatsprogrammer, Vandplaner 2010-2015, Naturstyrelsen, maj 2012). For makrofyt- og fytoplanktonindicene er den høje-gode økologiske grænse sat ved indeks=0,8.

Klorofyl og TP

Sammenhængen mellem indhold af klorofyl a og TP viser, at man i de lavvandede søer skal ned under en TP-koncentration på ca. 30 µg/l for at 80% eller flere af søerne har et klorofylindhold under 11,7 µg/l (Fig. 4.5.1). Fra 30 til ca. 50 µg TP/l falder andelen af søer (søår) med klorofylkoncentrationer under 11,7 µg/l markant til omkring 20% eller derunder.

I de dybe søer (middeldybde > 3 m) er der kun få søer med klorofylindhold under 7 µg/l og selv ved TP-koncentrationer under 15 µg/l gælder dette kun for omkring 2/3 af søerne. Ved TP-koncentrationer over 30 µg/l er der mindre end 10% af søerne, der har et klorofylindhold under 7 µg/l.

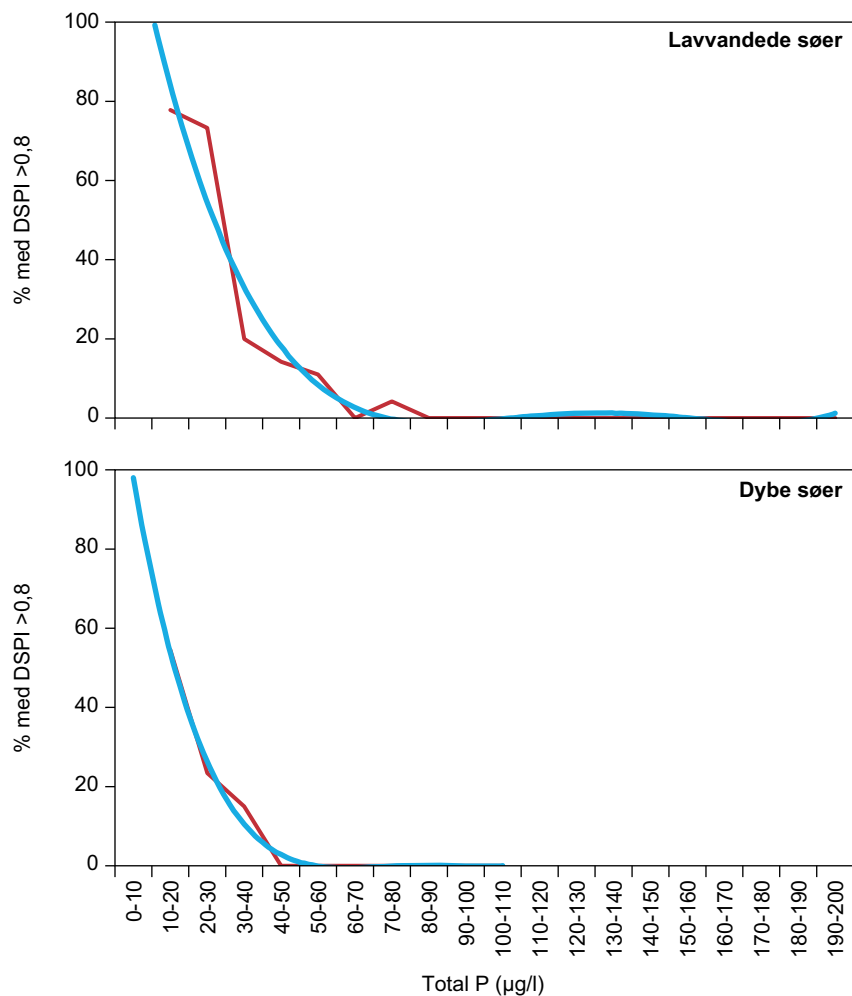
Figur 4.5.2. Andelen af søår fra de lavvandede søer (øverst, middeldybde < 3m), hvor klorofyl a koncentrationen er under 11,7 µg/l eller i de dybe søer under 7 µg/l (nederst) i forhold til TN-kategorier (mg/l) mellem 0,2 og 3,0. Den blå kurve angiver det bedst fittede 4-grads polynomium. N=1634 i de lavvandede søer og mellem 31 og 202 i de enkelte TN-klasser. I de dybe søer er N=616 og her repræsenteres TN-klasserne af 15-106 observationer. I begge søtyper der flest observationer i de midterste TN-klasser.



Fytoplanktonindeks (DSPI) og TP

Andelen af lavvandede søer, som har et DSPI > 0,8 er lavt og mindre end 10% ved TP-værdier over 40 µg/l (Fig. 4.5.3). Ved TP-værdier under 30 µg/l er mindst 2/3 af søerne med DSPI over 0,8. I de dybe søer når andelen af søer med DSPI større end 0,8 ikke over 36% selv ved de laveste TP-værdier i det tilgængelige datasæt.

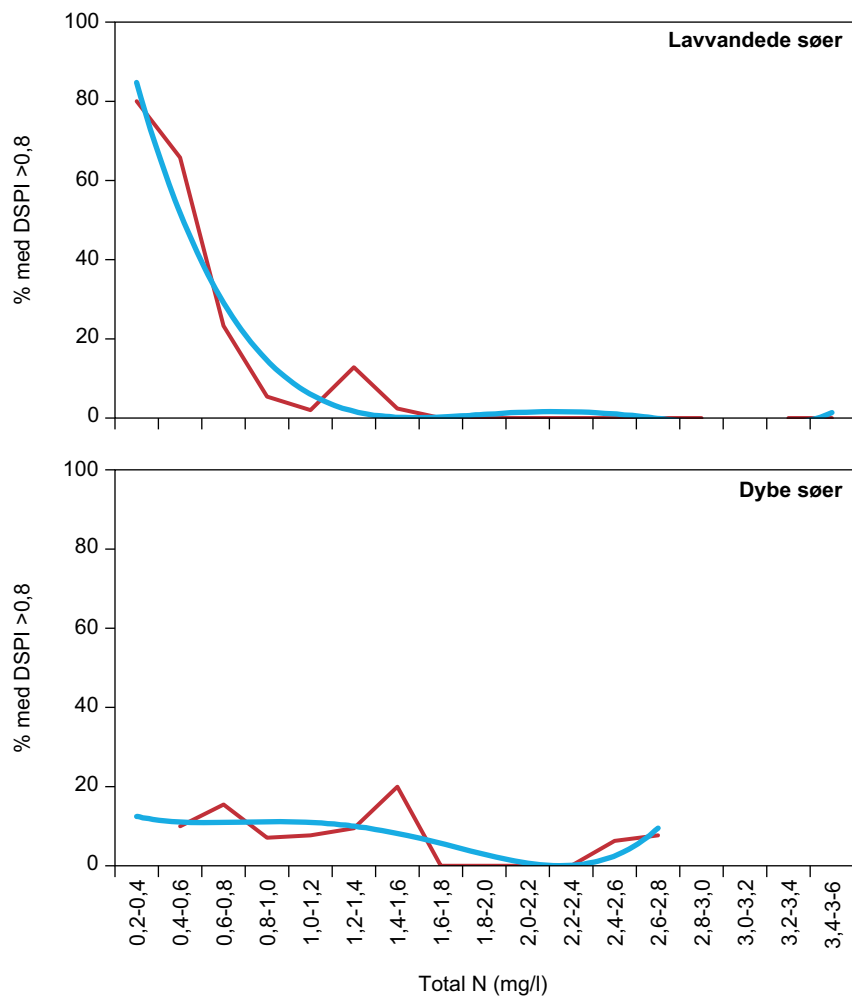
Figur 4.5.3. Andelen af søår fra de lavvandede søer (øverst, middeldybde < 3m), hvor DSPI er > 0,8 (høj-god grænsen) i forhold til TP-kategorier (mg/l) mellem 0 og 190/110 µg/l. Den blå kurve angiver det bedst fittede 4-grads polynomium. N=319 i de lavvandede søer med mellem 11 og 20 observationer i hver kategori (flest i de midterste TP-klasser). I de dybe søer er N=200 og her repræsenteres TP-klasserne af 15-29 observationer (dog kun 5 i TP-klassen 120-130 µg/l).



Fytoplanktonindeks (DSPI) og TN

I de lavvandede søer er det kun ved de laveste TN-værdier (<0,6 mg/l) at mere end 20% og op til 75% af søerne har en DSPI > 0,8. I de dybe søer er der meget få søer med DSPI > 0,8, og der er ikke noget klart billede langs et øget indhold af TN.

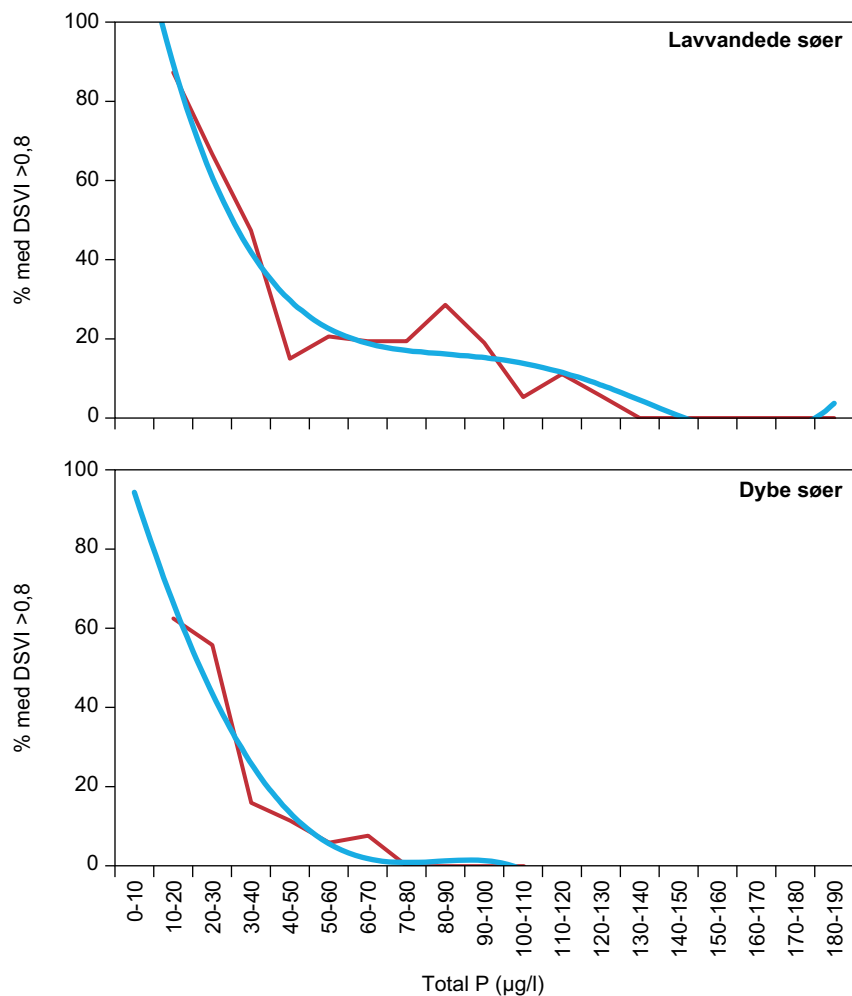
Figur 4.5.4. Andelen af søår fra de lavvandede søer (øverst, middeldybde < 3m), hvor DSPI er > 0,8 (høj-god grænsen) i forhold til TN-kategorier (mg/l) mellem 0,2 og 3,6/2,8. Den blå kurve angiver det bedst fittede 4-grads polynomium. N=472 i de lavvandede søer med mellem 12 og 49 observationer i hver kategori (flest i de midterste TN-klasser). I de dybe søer er N=232 og her repræsenteres TN-klasserne af 11-43 observationer (flest i de midterste TN-klasser).



Makrofytindeks (DSVI) og TP

I de lavvandede søer falder antallet af søår med DSVI > 0,8 (høj-god grænse) hurtigt ved øget indhold af TP og allerede ved TP-koncentrationer over 50 µg/l har kun omkring 20% eller mindre et DSVI over 0,8 (Fig. 4.5.5). I de dybe søer har mindre end 15% af søerne et DSVI over 0,8, når TP-indholdet overstiger 30 µg/l.

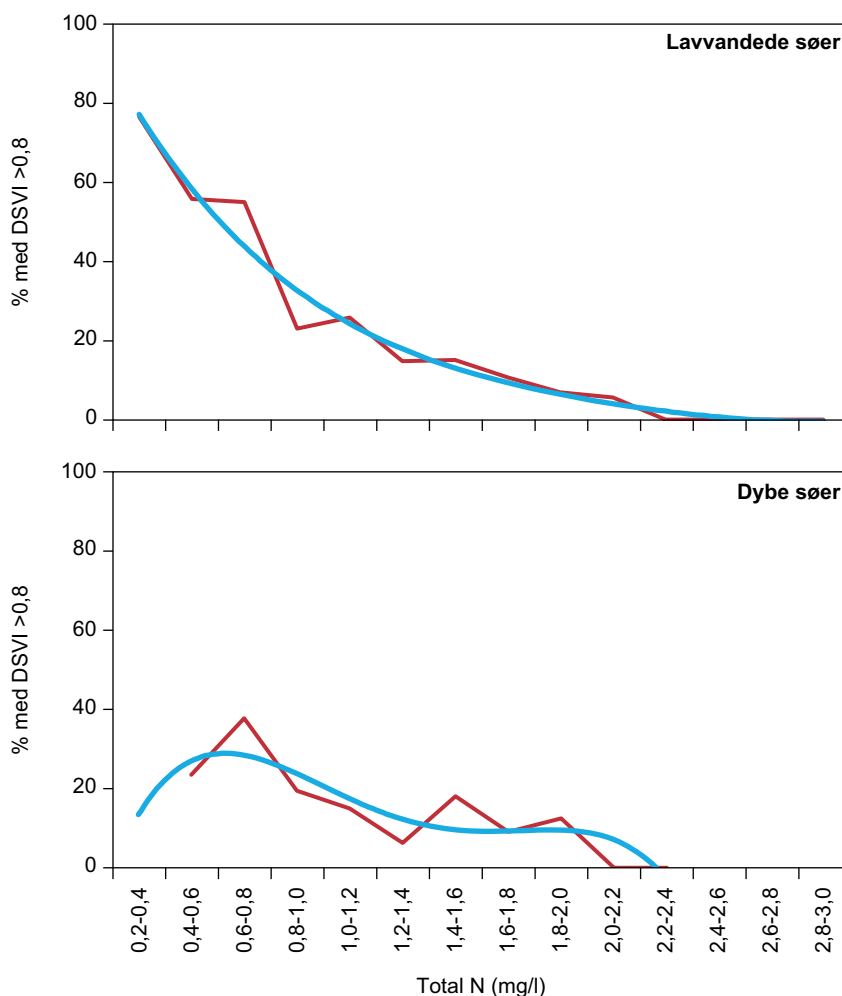
Figur 4.5.5. Andelen af søår fra de lavvandede søer (øverst, middeldybde < 3m) og dybe søer (nederst, middeldybde > 3 m), hvor DSVI er over 0,8 (høj-god grænsen) i forhold til TP-kategorier mellem 0 og 190/110 µg/l. Den blå kurve angiver det bedst fittede 4-grads polynomium. N=405 i de lavvandede søer. Bortset fra den laveste TP-klasse, hvor der kun er tre observationer, er N mellem 10 og 46 i de øvrige TP-klasser (flest i de midterste TP-klasser). I de dybe søer er N=197 og her repræsenteres TP-klasserne af 8-44 observationer (flest i de midterste laveste TP-klasser).



Makrofytindeks (DSVI) og TN

I de lavvandede søer falder andelen af søår med DSVI > 0,8 hurtigt ved øget TN og allerede ved TN koncentrationer over 0,8 mg/l har højst 25% eller færre af søerne et DSVI over 0,8 (Fig. 4.5.6). I de dybe søer er effekten af øget TN-koncentrationer på DSVI svag, og det er kun et mindretal af søerne, der opnår et DSVI over 0,8. Selv ved de laveste TN-værdier har højst 38% af søerne en DSVI over 0,8.

Figur 4.5.6. Andelen af søår fra de lavvandede søer (øverst, middeldybde < 3m), hvor DSVI er > 0,8 (høj-god grænsen) i forhold til TN-kategorier (mg/l) mellem 0,2 og 2,6/2,4. Den blå kurve angiver det bedst fittede 4-grads polynomium. N=469 i de lavvandede søer med mellem 11 og 87 observationer i hver kategori (flest i de midterste TN-klasser). I de dybe søer er N=208 og her repræsenteres TN-klasserne af 9-61 observationer (flest i de midterste TN-klasser).



Samlet

I tabel 4.5.1 angivet, hvilke TP- og TN-værdier, der skal til, hvis der stilles forskellige krav til andelen af søer (søår), som opfylder kravet om høj økologisk tilstand (høj-god grænsen). Værdierne er baseret på analyserne af danske data vist i afsnit 4.5.

Tabel 4.5.1. Angivelse af de TP-værdier ($\mu\text{g/l}$) og TN-værdier (mg/l), hvor 25%, 50% eller 75% af observationerne (søår) har en indeks-værdi på 0,8 eller derover (eller for klorofyl *a* under 11,7 $\mu\text{g/l}$ i lavvandede søer og i dybe søer under 7 $\mu\text{g/l}$). TP- og TN-værdierne er baseret på fig. 4.5.1-4.5.6 (aflæst på det indtegnede polynomium). Under range er angivet det TP og TN interval (aflæst som observerede værdier), hvor der sker store ændringer omkring høj-god økologisk tilstand. *) usikker fastsættelse.

	Klorofyl <i>a</i>			Fytoplankton			Makrofyt					
	Range	25%	50%	75%	Range	25%	50%	75%	Range	25%	50%	75%
	Totalfosfor ($\mu\text{g/l}$)											
Lavvandede søer	20-70	58	40	26	10-50	43	28	18	10-50	53*	30	20
Dybe søer	10-30	23	13	*	*	20*	*	*	10-40	36	22	*
	Totalkvælstof (mg/l)											
Lavvandede søer	0,2-1,0	0,95	0,6	0,4	0,2-0,8	0,7	0,45	*	0,2-1,2	1,1*	0,6	*
Dybe søer	0,2-1,0	0,6	0,4	*	*	*	*	*	*	*	*	*

5 Resumé/konklusioner

I tabel 5.1 er det opsummeret for hvilke søtyper, der er etableret anvendelige indices (herunder også klorofyl *a*). For næsten alle (94%) af vandplansøerne er der data og sammenhænge, som bekræfter, at klorofyl *a* kan anvendes til at udtrykke en eutrofieringspåvirkning, mens der tilsvarende er data og sammenhænge for fytoplanktonindekset i knap 80% af vandplansøerne og for makrofytindekset i 63% af søerne. For søtype 9 (fytoplankton) og søtype 1 og 5 (makrofytter) er relationerne til næringsstofindhold dog forholdsvis svage. For fiskeindekset er der etableret relationer for 70% af søerne, men ingen af disse er stærke og har alle en R^2 -værdi under 0,25.

Tabel 5.1. Oversigt over søtyper med brugbare indices (herunder også klorofyl *a*), dvs. hvor der er data nok, og der kan etableres signifikante sammenhænge til TP og/eller TN. % af vandplansøer er %-delen, som søtypen udgør af de 856 vandplansøer (jf. Basisanalyse for Vandområdeplaner 2015-2021, naturstyrelsen.dk). *) det er antaget at de 80 (9,3%) vandplansøer af ukendt type er ligeligt fordelt mellem de kendte søtyper. Parentes omkring x angiver at $R^2 < 0,25$ ($R < 0,5$) og relationen derfor svag og kun med ringe sikkerhed kan anvendes til at målrette en indsats over for en fosfor- eller kvælstoftilførsel. Under "Klorofyl *a*, god/mod. grænse" er grænsen mellem god – moderat tilstand angivet for alle søtyper, hvis der anvendes klorofylværdierne ($\mu\text{g/l}$) defineret i forbindelse EU-interkalibreringen og EU-søtyperne vedr. alkalinitet og middeldybde overføres til danske søtyper.

Søtype	% af vandplansøer*	Klorofyl <i>a</i> , $\mu\text{g/l}$ god/mod. grænse	Klorofyl <i>a</i>	Fytoplankton	Makrofytter	Fisk
1	2,7	8-12	x	x	(x)	
2	1,4	8-12	x			
3	0	-	-	-	-	-
4	0	-	-	-	-	-
5	5,8	8-12	x	x	(x)	
6	1,3	8-12				
7	0	-	-	-	-	-
8	0	-	-	-	-	-
9	41,9	21-25	x	(x)	x	(x)
10	13,0	8-12	x	x	x	(x)
11	13,7	21-25	x	x		
12	0,5	8-12				
13	15,1	21-25	x			(x)
14	0,5	8-12				
15	4,1	21-25				
16	0	-	-	-	-	-
Andel af søer med brugbart indeks (%)			93,6	78,5	63,4	70
Andel søer med stærke ($R > 0,5$) relationer til TP eller TN (%)			93,6	36,6	54,9	0

Der findes ingen faste regler for, hvornår en forklaringsværdi (R^2) for en given sammenhæng er høj nok til, at den giver mening at anvende, for eksempel i forhold til at iværksætte en reduceret tilførsel af fosfor. I forbindelse med den europæiske interkalibreringsproces af de forskellige biologiske kvalitetselementer var det et krav, at R^2 skulle være $> 0,25$ for at de nationale og de fælles indikatorer (common metrics) kunne anses som værende sammenlignelige. Disse retningslinjer kan ikke nødvendigvis overføres til analyserne vist her, men angiver dog et niveau.

Mange af de sammenhænge, som i denne rapport er relateret til indholdet af fosfor, er forholdsvis svage og ligger med R^2 -værdier omkring eller endda under 0,2. Dette gælder især fiskeindekset, hvor R^2 -værdien i ingen af søtyperne overstiger 0,25, men også for nogle af søtyperne og relationerne for de øvrige kvalitetselementer er der relative svage sammenhænge til TP og TN. Dette gælder eksempelvis flere af søtyperne ved anvendelsen af makrofytindekset.

Svage relationer til TP og TN er et udtryk for, at de biologiske forhold og de indikatorer, som indgår i indekset påvirkes af mange andre forhold end lige præcis koncentrationen totalfosfor eller totalkvælstof. Disse omfatter blandt andet utallige biologiske interaktioner, men i nogle situationer også, at datamængden er utilstrækkelig eller kun repræsenterer en lille gradient af den påvirkningsfaktor, der undersøges, dvs. her eutrofiering, og at mange af de søer, som indgår i analyserne, er næringsrige og dermed giver et dårligt grundlag for at fastsætte god-moderat grænsen.

Svage relationer til TP-koncentrationen for en given søtype og kvalitetselement betyder, at det bliver tilsvarende usikkert at anvende disse relationer til at målrette en indsats efter (eksempelvis over for en fosfortilførsel), så der med en tilstrækkelig sikkerhed opnås den effekt, der ønskes. I disse situationer må det vurderes, om ikke regressionerne for søtyper/kvalitetselementer med stærkere relationer til næringsstofindhold er at foretrække som styrende instrument for en indsats.

Hvad angår anvendelsen af næringsstofindholdet (TP og TN) som støtteparametre i den økologiske klassificering, mangler der en europæisk afklaring omkring fælles retningslinjer. Her er det også et spørgsmål om, hvad der lægges i betydningen af at sikre mindst en god økologisk tilstand. Gennem en analyse af danske sødata omfattende indhold af klorofyl *a*, fytoplanktonindekset og makrofytindekset angives de fosfor- og kvælstofindhold, der medfører at mindst hhv. 25%, 50% og 75% af søerne opnår mindst god økologisk tilstand for de forskellige kvalitetselementer. Eksempelvis må fosforindholdet højst være mellem 55 og 80 $\mu\text{g/l}$ i de lavvandede søer og 30-36 $\mu\text{g/l}$ i de dybe søer afhængig af hvilket kvalitetselement, der anvendes, hvis mindst 50% af søerne skal opnå en god økologisk tilstand. De vandkemiske støtteparametre er også analyseret i forhold til høj-god økologisk tilstand.

6 Referencer

EU 2005. Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC). Guidance document n. 13: Overall approach to the classification of ecological status and ecological potential.

Poikane S. 2009. Water Framework Directive intercalibration technical report: part 2: lakes. JRC Scientific and Technical Reports.

Søndergaard, M., Jeppesen, E., Jensen, J.P. (redaktører), Bradshaw, Skovgaard, H. & Grünfeld, S. 2003: Vandrammedirektivet og danske søer. Del 1: Søtyper, referencetilstand og økologiske kvalitetsklasser. Danmarks Miljøundersøgelser. 142 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 475. <http://faglige-rapporter.dmu.dk>.

Søndergaard, M., Lauridsen, T. L., Kristensen, E. A., Baattrup-Pedersen, A., Wiberg-Larsen, P., Hansen, R. B. & Friberg, N. 2013. Biologiske indikatorer i danske søer og vandløb: Vurdering af økologisk kvalitet. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 78 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi; Nr. 59.

Søndergaard, M., Trolle, D. & Bjerring, R. 2015. Sammenhænge mellem næringsstofindhold og biologiske kvalitetselementer i danske søer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 36 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 136.

[Tom side]

ANVENDELSEN AF KVALITETSELEMENTER I IKKE-INTERKALIBREREDE DANSKE SØTYPER

Rapporten etablerer en række empiriske sammenhænge mellem søers næringsstofindhold (fosfor og kvælstof) og de tre biologiske kvalitetselementer (planteplankton, undervandsplanter og fisk) og de tilhørende indices, der indgår i den økologiske klassificering af søer. For indholdet af klorofyl a kan der etableres sammenhænge til næringsstofindhold for mere end 90% af de danske søer, mens der for de tre kvalitetselementer kun kan etableres stærke relationer for halvdelen eller mindre. Rapporten giver også forslag til hvordan næringsstofindholdet kan anvendes som støtteparametre i den økologiske klassificering.