



# SØER 2022

## NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 591

2024



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI



# SØER 2022

NOVANA

---

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 591

2024

Liselotte Sander Johansson  
Martin Søndergaard  
Peter Borgen Sørensen

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience



AARHUS  
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

# Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 591
Titel:	Søer 2022
Undertitel:	NOVANA
Forfattere:	Liselotte Sander Johansson, Martin Søndergaard & Peter Borgen Sørensen
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	<a href="https://dce.au.dk">https://dce.au.dk</a>
Udgivelsesår:	Februar 2024
Redaktion afsluttet:	Februar 2024
Faglig kommentering:	Torben Linding Lauridsen
Kvalitetssikring, DCE:	Kirsten Bang
Sproglig kvalitetssikring:	Anne Mette Poulsen
Ekstern kommentering	Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her: <a href="https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_500-599/KommentarerSR/SR591_komm.pdf">https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_500-599/KommentarerSR/SR591_komm.pdf</a>
Finansiel støtte:	Miljøministeriet
Bedes citeret:	Johansson, L.S., Søndergaard, M. & Sørensen, P.B. 2024. Søer 2022. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 96 s. - Videnskabelig rapport nr. 591
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i perioden 2017-2022, og beskriver udviklingen i udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer siden overvågningens begyndelse i 1989. De 180 søer, som indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, er gennemgående næringsrige og med uklart vand. Den gennemsnitlige sigtdybde om sommeren er som medianværdi på 1,5 m. I mange af søerne forbedredes tilstanden i løbet af 1990'erne, men den seneste seksårsperiode (2017-2022) viser en forøgelse i indhold af næringsstoffer og klorofyl i forhold til forrige seksårsperiode (2011-2016). Kontrolovervågningen af søernes udvikling, der omfatter 18 søer fulgt siden 1989 bekræfter, at de største forbedringer skete tidligt i overvågningsperioden, og at det største fald i indholdet af næringsstoffer skete i de søer, som fra begyndelsen havde de højeste koncentrationer. Blandt de 10 søer, hvor der er veldefinerede massebalancer, ses i overensstemmelse hermed de største ændringer i tilførsel af fosfor i begyndelsen i 1990'erne. Kontrolovervågningen af habitatnaturtyper har i perioden 2007-2022 omfattet i alt 432 vandhuller og småsøer <5 ha. Heraf udgjorde søer af naturtype 3150 (naturligt næringsrige søer) og 1150 (laguner og strandsøer) halvdelen. Det beregnede naturtilstandsindex var i de fleste undersøgte søer over 0,6, svarende til "god" eller "høj" tilstand.
Emneord:	Søer, miljøtilstand, overvågning, vandområdeplaner, NOVANA
Layout:	Grafisk Værksted
Foto forside:	Vandhul nord for Bryrup
ISBN:	978-87-7156-850-9
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	96

# Indhold

<b>Forord</b>	<b>5</b>
<b>Sammenfatning</b>	<b>7</b>
Overvågningsprogrammet	7
Kontrolovervågning af søernes udvikling	8
Kontrolovervågning af søernes tilstand	9
Kontrolovervågning af habitatnaturtyper i vandhuller og søer <5 ha.	10
Klima og afstrømning	11
Overordnede konklusioner	11
<b>Summary</b>	<b>12</b>
The monitoring programme	12
Control monitoring of lake development	13
Control monitoring of lake environmental state	14
Control monitoring of habitat types in ponds and lakes <5 ha	15
Climate and runoff	16
Overall conclusions	16
<b>1 Undersøglesprogrammet</b>	<b>18</b>
1.1 Historik	18
1.2 Direktiver i overvågningen og afrapportering	19
1.3 Parametre i overvågningen	20
1.4 Fejlanalyser af totalkvælstof og totalfosfor	21
1.5 Søtyper i henhold til vandrammedirektivet	21
1.6 Kontrolovervågning	22
1.7 Operationel overvågning	25
1.8 Kortlægning af habitatnaturtyper i søer	25
<b>2 Kontrolovervågning af søernes udvikling</b>	<b>26</b>
2.1 Generel karakteristik	26
2.2 Vandkemi og sigtddybde	27
2.3 Massebalancer i 10 KU-søer	44
<b>3 Kontrolovervågning af søernes tilstand</b>	<b>57</b>
3.1 Generel karakteristik	57
3.2 Generel tilstand	58
3.3 Vandkemi	58
3.4 Vegetation	72
3.5 Fisk	73
<b>4 Kontrolovervågningen af habitatnaturtyper i vandhuller og småsøer &lt;5 ha</b>	<b>75</b>
4.1 Fordeling af søerne på de enkelte habitatnaturtyper	76
4.2 Vandkemiske undersøgelser	77
4.3 Sammenligning med tidligere undersøgelser	81

<b>5</b>	<b>Klima og afstrømning</b>	<b>84</b>
5.1	Temperatur og global indstråling	84
5.2	Nedbør	85
5.3	Afstrømning	86
5.4	Vindforhold	86
<b>6</b>	<b>Referenceliste</b>	<b>87</b>
	<b>Bilag 1. Datagrundlag og metoder</b>	<b>89</b>
	<b>Bilag 2 A– Belastningsmodel for vand, fosfor (P) og kvælstof (N)</b>	<b>91</b>
	Volumenbalance for vand	91
	Massebalance for P og N	92
	<b>Bilag 2 B. Analyse af P- og N-tilbageholdelse</b>	<b>93</b>
	Formulering af statistisk model	93
	Analyse af P	93
	Analyse af N	95

## Forord

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 i efteråret 1988. Nærværende rapport omfatter data til og med 2022.

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.

DCE har som en væsentlig opgave for 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 samt arter og naturtyper.

I overvågningsprogrammet er der en arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentre og Miljøstyrelsen (MST). Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og fagdatacentret for punktkilder hos MST, mens fagdatacentre for ferskvand, marine områder, landovervågning samt arter og naturtyper er placeret hos Institut for Ecoscience, Aarhus Universitet, og fagdatacentret for atmosfæren hos Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet.

Denne rapport er udarbejdet af Fagdatacenter for ferskvand, og MST har haft mulighed for at kommentere udkast til rapporten. Rapporten er baseret på data indsamlet af MST. Dette års rapport er som udgangspunkt en opdatering af tidligere års rapporter om søer med data indsamlet i 2022. Massebalancer er beregnet for perioden 1990-2021.

Den seneste rapport er 'Søer 2021' (Johansson m.fl. 2023). Ikke alle indsamlede data bliver rapporteret hvert år, men først når der er et tilstrækkeligt datagrundlag for en rapportering. I år beskrives status og udviklingstendenser for vandkemiske parametre i søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling (de 18 KU-søer) for perioden 1989 til 2022 og i kontrolovervågningen af tilstand (de 180 KT-søer) primært for perioden 2011-2022 samt en status for udvalgte parametre i vegetations- og fiskeundersøgelser i KT-søerne. Resultater af massebalanceberegninger og kildeopsplitning præsenteres for udvalgte KU-søer.

Derudover gives der en status over naturtilstanden i 432 søer <5ha, der indgår i kontrolovervågningen af sønaturtyper jf. Habitatdirektivet, samt, for de søer, hvor det er muligt og relevant, en udvikling af tilstanden for perioden 2007-2022.

Data fra overvågning af arter er ikke med i denne rapport. Seneste artsrapportering foregik i 2021, hvor afrapporteringen af habitatarten vandranke udkom som netrapportering på Novana.au.dk. Resultater fra overvågningen af de øvrige habitatarter samt fra kortlægningen af sønaturtyper generelt, blev senest afrapporteret i 2019 i forbindelse med Danmarks rapportering til EU i medfør af Habitatdirektivets artikel 17 og fuglebeskyttelsesdirektivets artikel 12. Dette skete i form af et selvstændigt bidrag fra DCE til Miljø- og Fødevarerministeriets rapportering til EU (Fredshavn m.fl. 2019).

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenterrapporter i 'Vandmiljø og natur 2022', som udgives i et samarbejde mellem DCE, GEUS og MST.



# Sammenfatning

## Overvågningsprogrammet

Overvågningsprogrammet for de danske søer er løbende blevet justeret siden dets start i 1989 efter vedtagelsen af Vandmiljøplan 1 i 1988. De væsentligste behov for overvågning af søer gennemføres nu med udgangspunkt i de to EU-direktiver; vandrammedirektivet (Den Europæiske Union 2000) og Habitatdirektivet (Den Europæiske Union 1992). Således omfatter overvågningen fra og med 2010 dels en *kontrolovervågning* og dels en *operationel overvågning* af søer.

*Kontrolovervågningen* har i henhold til vandrammedirektivet til formål at "dokumentere søernes tilstand og den generelle udvikling, herunder de klimatiske relaterede og de menneskeskabte ændringer". Kontrolovervågningen omfatter en overvågning af den generelle tilstand i søer >5 ha (KT-søer, i alt 180 søer) og en overvågning af udviklingen i søer >5 ha (KU-søer, i alt 18 søer), vurderet på baggrund af lange tidsserier. Samlet udgør de 198 søer >5 ha ca. 1/3 af alle danske søer i denne størrelsesgruppe. Derudover foretages der en kontrolovervågning i henhold til Habitatdirektivet, som skal give et generelt billede af tilstand og udvikling af de enkelte beskyttede sønaturtyper.

*Den operationelle overvågning* skal danne baggrund for fastlæggelse af den økologiske tilstandsklasse, kemiske tilstand og indsatsbehov i søer, hvor man er i tvivl om tilstanden. Derudover skal den operationelle overvågning levere data, der dokumenterer effekten af vandområdeplaner, nitrathandlingsprogrammer og andre forvaltningsmæssige tiltag.

Indholdet i de forskellige undersøgelsesprogrammer er tilpasset de enkelte formålsbeskrivelser både mht. undersøgte parametre, frekvenser og antal søer. Til beskrivelse af søernes tilstand og udvikling måles der en række kemiske, fysiske og biologiske parametre, men ikke alle parametre måles i alle søer, og frekvensen varierer mellem de enkelte overvågningstyper.

De fysisk-kemiske parametre omfatter blandt andet målinger af indholdet af fosfor og kvælstof, klorofyl *a*, alkalinitet (kalkholdighed), pH, ilt- og temperaturprofiler, ledningsevne (salinitet), farvetal samt sigtddybde. Forskellige grupper af miljøfarlige forurenende stoffer måles i sedimentet fra udvalgte søer, i væv fra fisk samt i begrænset omfang i søernes vandfase. De biologiske parametre omfatter undersøgelser af undervandsplanter, fisk og fytoplankton samt bunddyr og fyto-benthos.

I forhold til implementeringen af EU's vandrammedirektiv og udarbejdelsen af vandområdeplaner arbejdes der i Danmark med 11 forskellige søtyper, der afgrænses i forhold til vanddybde (dyb, lavvandet), alkalinitet (kalkrig, kalkfattig), brunfarvning (brunvandet, ikke brunvandet) og saltholdighed (fersk, brak). Præsentationen af data i denne rapport følger i mange tilfælde denne inddeling.

## Kontrolovervågning af søernes udvikling

De 18 KU-søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, hvoraf de fleste har været fulgt siden 1989, dækker et bredt spektrum, både hvad angår størrelse og dybde og indholdet af næringsstoffer. Tre af KU-søerne er ikke undersøgt i hele overvågningsperioden siden 1989 og indgår derfor ikke i de fremstillinger af søernes udvikling, hvor KU-søerne betragtes som en samlet gruppe.

### Vandkemiske forhold

Set over hele perioden siden overvågningsperiodens start i 1989 er der generelt sket et fald i indholdet af næringsstoffer og klorofyl *a* og en øgning i sigt-dybden. Det største fald i næringsstofindhold skete i begyndelsen af overvågningsperioden. Sommermedianen af totalfosforkoncentrationen lå i perioden 1989-1993 eksempelvis på ca. 0,1 mg/L, fra 1994 og frem til 2004 varierede den mellem 0,06 og 0,08 mg/L, mens den i perioden 2005-2022 har ligget mellem 0,05 og 0,07 mg/L. Et andet mønster i udviklingen af fosforkoncentrationen i KU-søerne gennem de seneste 30 år er, at det største fald generelt ses i søer, som fra begyndelsen havde de højeste koncentrationer. Reduktionen i fosforniveauet siden 1989 er også tydelig, hvis man ser på de enkelte søers udvikling, hvor fosforindholdet er reduceret signifikant i 12 ud af de 18 søer, mens det er uændret i de øvrige seks søer.

Udviklingen i KU-søernes indhold af totalkvælstof følger i store træk udviklingen i indholdet af fosfor, og siden 1989 er der sket en reduktion i indholdet af totalkvælstof i søerne på såvel års- som på sommerniveau. De største ændringer sås i begyndelsen af overvågningsperioden og i de mest belastede søer. Sommermedianen af totalkvælstof lå i perioden 1989-1993 på omkring 1,8 mg/L, og frem til 1996 var der et konstant fald i mediankoncentrationen til 1,1 mg/L. Siden har medianværdien ligget mellem 1 og 1,5 mg/L. Ser man på enkelt søerne i perioden 1989-2021/2022, er der som helhed sket en reduktion i totalkvælstofkoncentrationen i flertallet af søerne både hvad angår sommergennemsnit og årsgennemsnit (11 søer i begge tilfælde). Totalkvælstofkoncentrationen er kun øget i én sø både som års- og sommergennemsnit.

Klorofylkoncentrationen er i perioden 1989-2021/2022 som helhed reduceret signifikant i seks af de 18 søer både som års- og sommergennemsnit, mens den er øget i tre søer. Som for næringsstofferne fosfor og kvælstof ses ændringerne i klorofylkoncentrationen primært i den første del af den totale undersøgelsesperiode.

Sommersigtdybden i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling og som har været undersøgt i hele overvågningsperioden, har overordnet vist en stigende tendens siden 1989. De største ændringer skete også her i løbet af 1990'erne, hvor sommermedianværdien blev øget fra omkring 1,3 m til 1,9 m. Siden da har sommermedianværdien varieret en del fra år til år, uden at der har været nogen klar udviklingstendens. I den seneste 10-års periode har medianværdien svinget mellem 1,4 og 1,9 m. For sommergennemsnittet i de enkelte søer har der været en signifikant positiv udvikling i syv ud af de 15 søer for hele perioden, mens der kun er to søer, hvor der har været en signifikant reduceret sigt-dybde.

## Massebalancer

Næringsstofbalancer er opgjort for 10 KU-søer, hvor der er relativt veldefinerede vand- og stofbalancer. I forhold til tidligere er der anvendt en forbedret opgørelse af vandbalancen, samt opdaterede estimater for spredt bebyggelse. Denne opdatering nedskriver generelt bidraget fra spredt bebyggelse, hvilket reducerer den vandføringsvægtede koncentration af kvælstof og fosfor i vandet fra denne kildeform.

De største ændringer i tilførslen til søerne skete i begyndelsen af overvågningsperioden, specielt hvad angår fosfor. Den relative næringsstoff tilbageholdelse i søerne viser store variationer og generelt ingen markante ændringer. Der er dog en mindre specifik fosfortilbageholdelse i begyndelsen af perioden (1990-1994), hvilket tilskrives en respons på en historisk pulje af fosfor, der frigives. Der er en omvendt tendens for kvælstof, hvor den specifikke tilbageholdelse er størst først i perioden.

## Kontrolovervågning af søernes tilstand

Kontrolovervågningen af tilstand omfatter i alt 180 KT-søer, der senest er undersøgt i perioden 2017-2022. Størstedelen af søerne er relativt små (medianværdien for søareal er 22 ha) og lavvandede (medianværdien for middeldybden er 1,6 m). De fleste søer er ferske, men der indgår også en del brakvandssøer i kontrolovervågningen. Endvidere er de fleste søer ikke brunfarvede og har høj alkalinitet (kalkrige).

## Vandkemiske forhold

KT-søerne er gennemgående næringsrige med en medianværdi for totalfosfor (sommerrmiddel) på 0,089 mg/L og totalkvælstof på 1,42 mg/L. Tilsvarende er søerne gennemgående uklare med en medianværdi for sigtddybde (sommergennemsnit) på 1,1 m og et klorofylindhold med median på 36 µg/L (sommergennemsnit). Blandt de fire mest almindelige søtyper (søtype 9, 10, 11 og 13) er søtype 11 (kalkrig, ikke-brunvandet, lavvandet og saltholdig) den mest næringsrige med en medianfosforkoncentration på 0,185 mg/L og en mediankvælstofkoncentration på 2,26 mg/L. Det er også i søtype 11, at de højeste medianværdier af klorofyl *a* ses (58 µg/L). Den mest næringsfattige blandt de fire hyppigst forekommende søtyper er søtype 10 (kalkrig, ikke-brunvandet, fersk og dyb), hvor medianfosforkoncentrationen er på 0,053 mg/L, og mediankvælstofkoncentrationen er 0,96 mg/L.

I mange af KT-søerne er der, siden overvågningsprogrammets start, nu opnået så lange tidsserier, at det er muligt at vurdere og teste udviklingstendenser for de enkelte søer. Blandt de omkring 100 KT-søer med lange tidsserier ses statistisk signifikante ændringer på 0,1-10 % signifikansniveau for perioden 1989-2022 i indholdet af næringsstoffer, klorofyl *a* og sigtddybde i op imod halvdelen af søerne. I langt de fleste tilfælde er der for perioden som helhed tale om positive ændringer forstået sådan, at næringsstof- og klorofylindhold er reduceret, mens sigtddybden er øget. Indholdet af totalfosfor er således reduceret i 49 søer og kun øget i fire søer, indholdet af totalkvælstof er reduceret i 41 og øget i fire søer, mens klorofylindholdet reduceret i 44 søer og øget i fire søer. De fire søer, hvor der er sket en øgning i hhv. totalfosfor, totalkvælstof og klorofylindhold, er ikke nødvendigvis de samme fire søer.

Hvis der kun ses på udviklingen i de seneste 20 år, er der langt færre søer med signifikante ændringer. Dette skyldes først og fremmest, at der er langt færre søer, hvorfra der er data fra nok år til at teste udviklingen. Blandt de 15 søer, hvorfra der er mindst otte års næringsstofdata, er der signifikante ændringer i syv søers indhold af totalfosfor – i alle tilfælde reduceret indhold – og i fem søers indhold af totalkvælstof, hvoraf indholdet er reduceret i de fire. For indholdet af klorofyl *a* er der tale om signifikant mindskede koncentrationer i syv søer ud af de 19 søer, hvorfra der er nok data til at teste. Indholdet er ikke øget i nogen af søerne. Sigtdybden kan testes i 25 søer og her er den øget i fire søer og mindsket i to søer. I resten af søerne er sigt dybden uændret.

En sammenligning på tværs af alle søtyper for de to seneste seksårsperioder viser, at indholdet af totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl *a* i KT-søerne er øget signifikant fra perioden 2011-2016 til 2017-2022. For så vidt angår totalfosfor, kan der dog være usikkerhed pga. fejlanalyser i perioden 2007-2016. Udviklingen er mest tydelig for totalkvælstof og totalfosfor, hvor de fleste søer havde højere værdier i perioden 2017-2022 end i perioden 2011-2016. De generelle forbedringer, der generelt sås i de søer, der blev undersøgt i begyndelsen af overvågningsperioden, er altså ikke fortsat frem til den seneste seksårsperiode (2017-2022). De seneste resultater viser tværtimod tendenser til øget indhold af næringsstoffer og klorofyl *a*.

### **Vegetation**

Udbredelsen af undervandsplanter i de 180 KT-søer varierer meget – fra uklare søer helt uden planter til lavvandede og klarvandede søer, hvor det meste af bunden er dækket. I den mest almindelige lavvandede søtype (søtype 9) er medianværdien for det plantedækkede areal på 14,5 % og det plantefyldte vandvolumen på 1,3%. Det betyder, at i hovedparten af de lavvandede søer er kun en lille del af vandvolumenet fyldt med planter. I den mest almindelige dybe søtype (søtype 10) varierer dybdegrænsen mellem 0 m (ingen planter) og 11,1 m.

### **Fisk**

Hvad angår fisk, så ses det største antal og den største biomasse generelt i den lavvandede, ferske kalkrige søtype (søtype 9), hvor der som medianværdi blev fanget 153 fisk per garn og 4,2 kg per garn. Det er noget højere end den tilsvarende dybe søtype (søtype 10), hvilket formentlig er et udtryk for det lavere næringsstofniveau i de dybe søer. Af samme årsag (lavere næringsstofniveau) blev der generelt fanget færre fisk, og biomassen var mindre i de kalkfattige søtyper (søtype 1-6), selvom der dog her må tages forbehold for det langt færre antal søer, der indgår i datasættet. Som medianværdi blev der i disse søer fanget mellem 9 og 26 fisk pr. garn og 0,3-1,5 kg fisk pr. garn. Tilsvarende var individbiomassen som medianværdi højest i de kalkfattige søtyper.

### **Kontrolovervågning af habitatnaturtyper i vandhuller og søer <5 ha.**

I alt 432 søer indgik i perioden 2007-2022 i kontrolovervågningen i forbindelse med kortlægningen af habitatnaturtyper i vandhuller og småsøer <5 ha. Søer af naturtype 3150 (naturligt næringsrige søer) og 1150 (laguner og strandsøer) var de mest almindelige typer, idet de udgjorde henholdsvis 36% og 14% af de 432 søer.

Det beregnede naturtilstandsindex var i de fleste af de undersøgte søer over 0,6, hvilket svarer til "god" eller "høj" tilstand. Størstedelen af type 3110 (lobeliesøer) og 3160 (brunvandede søer) havde et naturtilstandsindex på over 0,8, hvilket svarer til "høj" tilstand.

De vandkemiske analyser, som indgår i kontrolovervågningen af habitatnaturtypesøerne, viser overordnet, at søer af type 1150 og søer, der ikke kan henføres til nogen naturtype, er de mest næringsrige.

Der er foretaget sammenligning af naturtilstanden mellem årene 2007-2016 og 2017-2022 foretaget i samme sø, og hvor naturtypen ikke skifter mellem flere undersøgelser. Sammenligningen blev foretaget på grundlag af i alt 180 søer, og viste, at der ikke var nogen forskel i naturtilstanden for nogen af naturtyperne mellem 2007-2016 og 2017-2022. Sammenligningen af resultater af analyser af totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl *a* mellem de samme to perioder i 177 søer, viste alene forskel mht. totalfosfor, hvor der sås en stigning i totalfosfor i naturtype 3150 og for alle naturtyperne tilsammen.

## Klima og afstrømning

For Danmark som helhed var årets gennemsnitlige temperatur i 2022 på 9,4 °C, hvilket var en væsentlig højere gennemsnitstemperatur end gennemsnittet for perioden 1990-2021 (8,7 °C). Januar og februar samt sensommeren og efteråret var varmere i 2022 end gennemsnittet for perioden 1990-2021, mens december var koldere end gennemsnittet for perioden 1990-2021. Den globale indstråling i 2022 var lidt højere end gennemsnittet for perioden 1990-2021. Den gennemsnitlige årlige vindhastighed for hele Danmark var i 2022 4,6 m/s, hvilket er lidt lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2021 (4,9 m/s).

I 2022 kom der på landsplan 694 mm nedbør, hvilket er noget mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2021 (761 mm). Der var store variationer over året, og i februar 2022 kom der over dobbelt så meget nedbør (122 mm) som gennemsnittet for perioden 1990-2021 (51 mm). Marts 2022 var til gengæld meget tør (4 mm) sammenlignet med gennemsnittet for 1990-2021 (47 mm). Den arealspecifikke ferskvandsafstrømning var i 2022 på 284 mm, hvilket er 12 % lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2021 (323 mm).

## Overordnede konklusioner

De danske søer er siden 1989 blevet fulgt via et omfattende og standardiseret overvågningsprogram, der beskriver søernes tilstand og udvikling på mange niveauer.

De overordnede konklusioner af denne overvågning er, at tilstanden i de danske søer generelt er forbedret siden overvågningens start, men at disse forbedringer især fandt sted i 1990'erne, formentlig som følge af forbedret spildevandsrensning og efterhånden aftagende intern fosforbelastning i søerne. De seneste ca. 20 år har der generelt kun været få ændringer i søernes tilstand, og sammenlignes de seneste to seksårsperioder er der endda tegn på øget næringsstofindhold - især hvad angår kvælstof - i nogle af søerne.

Der findes stadigvæk pæne og rene søer i Danmark, men langt hovedparten er i dag præget af højt næringsstofindhold, der generelt fører til uklart vand og biologiske forhold, som er påvirkede i negativ retning.

# Summary

## The monitoring programme

The monitoring programme of Danish lakes has continuously been adjusted since its implementation in 1989 after the adoption of the first National Aquatic Monitoring Programme in 1988. The most important needs for the monitoring of lakes are now based on the two EU directives – The Water Framework Directive (WFD, European Union 2000) and the Habitats Directive (European Union 1992). This means that the monitoring as from 2010 consists of *control monitoring* and *operational monitoring* of lakes.

The purpose of the control monitoring is to “document the state of the lakes and the general development, including climatic-related and anthropogenic changes”. The control monitoring includes monitoring of the general condition of lakes >5 hectares (KT lakes, a total of 180 lakes), and monitoring of the development in lakes >5 hectares (KU lakes, a total of 18 lakes), assessed on the basis of long time series. In total, the 198 lakes > 5 hectares constitute approx. 1/3 of all Danish lakes in this size group. In addition, control monitoring is carried out in accordance with the Habitats Directive. This intends to provide a general picture of the state and development of the individual protected lake habitats.

*The operational monitoring* forms the basis for the establishment of the ecological state, the chemical state and the effort required in lakes where there is doubt about the condition. In addition, the operational monitoring is to provide data documenting the impact of water basin management plans, nitrate action programmes and other management actions.

The content of the various monitoring programmes is adapted to the individual descriptions of objectives, both in terms of parameters, frequencies and the number of lakes. A number of chemical, physical and biological parameters are measured for description of the state and development of the lakes, but not all parameters are measured in all lakes, and the frequency varies between the individual types of monitoring.

The physical-chemical parameters include measurements of the concentrations of phosphorus and nitrogen, chlorophyll *a*, alkalinity, pH, oxygen and temperature profiles, conductivity, colour and Secchi depth. Different groups of environmentally hazardous pollutants are measured in the sediment from selected lakes, in muscle tissue from fish and to a limited extent in the water phase of the lakes. The biological parameters include studies of submerged macrophytes, fish and phytoplankton as well as benthic invertebrates and phytobenthos.

In connection with implementing the WFD and preparing water basin managing plans, Denmark is working with 11 different lake types that are defined by water depth (deep, shallow), calcium content (calcareous, lime poor), colour (brown water, non-brown water) and salinity (fresh, brackish). The presentation of the data in this report mainly follows this classification.

## Control monitoring of lake development

The 18 KU lakes included in the monitoring of development, most of which have been followed since 1989, cover a broad spectrum, both in terms of size and depth and the concentrations of nutrients. Three of the KU lakes have not been studied during the entire monitoring period since 1989 and are therefore not included in the presentations of the lakes' development where the KU lakes are considered as a group.

### Water chemical conditions

Over the whole period since the start of the monitoring period in 1989, there has generally been a decrease in nutrient and chlorophyll concentrations and an increase in Secchi depth. The greatest decrease in nutrient concentrations occurred at the beginning of the monitoring period. For example, the summer median total phosphorus concentrations in the period 1989-1993 were approximately 0.1 mg/L, from 1994 until 2004 they varied between 0.06 and 0.08 mg/L, while in the period 2007-2022 they ranged between 0.05 and 0.07 mg/L. Another pattern in the development of phosphorus concentrations in the KU lakes over the past 30 years is that the greatest decrease generally occurs in the lakes that had the highest concentrations from the beginning. The reduction in phosphorus levels since 1989 is also evident if you look at the development of the individual lakes, where the phosphorus concentrations have been significantly reduced in 12 out of the 18 lakes, while it is unchanged in the other six lakes.

The development in the total nitrogen concentration of the KU lakes broadly follows the development in the phosphorus concentrations, and since 1989 there has been a reduction in the total nitrogen concentrations in the lakes at both annual and summer level. The biggest changes were seen at the beginning of the monitoring period and in the most heavily loaded lakes. The summer median total nitrogen in the period 1989-1993 was around 1.8 mg/L, and until 1996 there was a constant decrease in the median concentration to 1.1 mg/L. Since then, the median has been between 1 and 1.5 mg/L. Looking at the individual lakes in the period 1989-2021/2022, there has been a reduction in the total nitrogen concentrations in the majority of the lakes both in terms of summer and annual averages (11 lakes in both cases). The total nitrogen concentrations have only increased in one lake as both an annual and summer average.

In the period 1989-2021/2022 as a whole, the chlorophyll concentration declined significantly in six of the 18 lakes both as an annual and summer average, while it has increased in three lakes as an annual average and in two lakes as a summer average. As with the nutrients phosphorus and nitrogen, the changes in chlorophyll concentration are primarily seen in the first part of the total study period.

Overall, the summer Secchi depth in the 15 lakes included in the control monitoring of development, which has been examined throughout the monitoring period, has shown an upward trend since 1989. The biggest changes also occurred during the 1990s, when the summer median value increased from about 1.3 m to 1.9 m. Since then, the summer median value has varied considerably from year to year, without any clear development trends. In the latest 10-year period, the median has fluctuated between 1.4 and 1.9 m. For the summer average in the individual lakes, there has been a significant positive development in seven out of the 15 lakes for the entire period, while there are only two lakes where Secchi depth has significantly declined.

## Mass balances

Nutrient balances were calculated for 10 KU lakes with relatively well-defined water and nutrient balances. Compared to previously, an improved calculation of the water balance has been used as well as updated estimates for scattered dwellings. This update generally reduces the contribution from scattered dwellings, which decreases the flow-weighted concentrations of nitrogen and phosphorus in the water from this source.

The biggest changes in the nutrient input to the lakes took place at the beginning of the monitoring period, especially with regard to phosphorus. The relative nutrient retention in the lakes shows great variations and generally no significant changes. However, there was a minor phosphorus retention at the beginning of the period (1990-1994), which is attributed to a response to the release from a legacy pool of phosphorus. There is a reverse trend for nitrogen where the specific retention is greatest at the beginning of the period.

## Control monitoring of lake environmental state

The control monitoring of lake environmental states covers a total of 180 KT lakes monitored during the period 2017-2022. The majority of the lakes are relatively small (median lake area 23 ha) and shallow (median mean depth 1.6 m). Most lakes are freshwater lakes, but a number of brackish lakes are also included in the control monitoring. Furthermore, most lakes are non-brown water and have high alkalinity (calcareous).

## Water chemical conditions

The KT lakes are generally nutrient-rich with a median value of total phosphorus (summer mean) of 0.089 mg/L and a median value of total nitrogen of 1.42 mg/L. Similarly, the lakes are generally turbid with a median value of Secchi depth (summer mean) of 1.1 m and a chlorophyll content with a median value of 36 µg/L (summer mean). Among the four most common lake types (lake types 9, 10, 11 and 13), lake type 11 (high alkalinity, non-brown water, shallow and saline) is the most nutrient-rich with a median phosphorus concentration of 0.185 mg/L and a median nitrogen concentration of 2.26 mg/L. It is also lake type 11 that has the highest median values of chlorophyll *a* (58 µg/L). The most nutrient-poor among the four most frequently occurring lake types is lake type 10 (high alkalinity, non-brown water, fresh and deep), where the median phosphorus concentration is 0.053 mg/L, and the median nitrogen concentration is 0.96 mg/L.

Since the monitoring programme was initiated, sufficiently long time series have been obtained for many of the KT lakes to allow assessment and testing of the development trends for the individual lakes. Among the approximately 100 KT lakes with long time series, statistically significant changes of 0.1-10% significance level for the period 1989-2021 can be seen in the concentrations of nutrients, chlorophyll and Secchi depth in up to half of the lakes. In the vast majority of cases, the changes are positive in that the nutrient and chlorophyll concentrations have declined, while the Secchi depth has increased. Total phosphorus concentrations have thus decreased in 49 lakes and only increased in four lakes, the concentrations of total nitrogen have declined in 41 and increased in four lakes, while the chlorophyll concentrations have decreased in 44 lakes and increased in four lakes. The four lakes with an increase in total phosphorus, total nitrogen and chlorophyll concentrations, respectively, are not necessarily the same four lakes. Considering only the



development in the past 20 years, there are far fewer lakes with significant changes. This is primarily due to the fact that there are far fewer lakes from which there are data from a sufficient number of years to test the development. Among the 15 lakes with at least eight years of nutrient data, there have been significant changes in the total phosphorus concentrations in seven lakes – in all cases a reduction – and total nitrogen concentrations have changed in five lakes, with a decrease in four. For chlorophyll, there is a significant decrease in concentrations in six lakes out of the 19 lakes, from which there are enough data to test. The concentrations have not increased in any of the lakes. Secchi depth can be tested in 25 lakes, and here it has increased in four lakes and decreased in two lakes. In the rest of the lakes, the Secchi depth is unchanged.

A comparison across all lake types for the last two six-year periods shows that the concentrations of total phosphorus, total nitrogen and chlorophyll have increased significantly from the period 2011-2016 to 2017-2022. As for total phosphorus there might be uncertainties due to incorrect analyses during the period 2007-2016. The development is most evident for total nitrogen and total phosphorus, where most lakes had higher values in the period 2017-2022 than in the period 2011-2016. The overall improvements generally seen in the lakes examined at the beginning of the monitoring period have thus not continued until the latest six-year period (2017-2022). On the contrary, the latest results show a trend towards increased concentrations of nutrients and chlorophyll.

### **Vegetation**

The distribution of submerged macrophytes in the 180 KT lakes varies greatly – from turbid lakes without plants to shallow and clear-water lakes where most of the bottom is covered by submerged macrophytes. In the most common shallow lake type (lake type 9), the median value for the plant-covered area is 14.5%, and the plant-filled water volume is 1.3%. This means that in the majority of shallow lakes, only a small part of the water volume is plant-filled. In the most common deep lake type (lake type 10), the depth limit varies between 0 m (no plants) and 11.1 m.

### **Fish**

With regard to fish, the largest number and the largest biomass are generally found in the shallow, fresh, high alkaline lake type (lake type 9), where the median value was 153 fish caught per net and 4.2 kg per net. It is somewhat higher than in the corresponding deep lake type (lake type 10), which presumably reflects the lower nutrient level in the deep lakes. For the same reason (lower nutrient level), fewer fish were generally caught, and the biomass was lower in the calcareous lake types (lake types 1-6), although reservations must be made for the much smaller number of lakes included in the data set. As median value, between 9 and 26 fish per net and 0.3-1.5 kg fish per net were caught in these lakes. Similarly, individual biomass as median value was highest in the lime-poor lake types.

### **Control monitoring of habitat types in ponds and lakes <5 ha**

In the period 2007-2022, a total of 432 lakes were included in the control monitoring in connection with the mapping of habitat types in ponds and small lakes <5 ha. Lakes of habitat types 3150 (naturally nutrient-rich lakes) and

1150 (lagoons and beach lakes) were the most common types, representing 36% and 14%, respectively, of the 432 lakes.

In most of the lakes studied, the calculated natural state index was above 0.6, which corresponds to “good” or “high” status. The majority of type 3110 (lobelia lakes) and 3160 (brown water lakes) had a natural state index above 0.8, which corresponds to the “high” state.

Overall, the water chemical analyses included in the control monitoring of habitat lakes show that type 1150 lakes and lakes not attributable to any habitat type are the most nutrient-rich.

A comparison of the nature state index was made between the years 2007-2016 and 2017-2022 in lakes showing no shift in habitat type according to several studies. The comparison was made on the basis of a total of 180 lakes and showed that there was no difference in the natural state index of any of the habitat types between 2007-2016 and 2017-2022. A comparison of the results of analyses of total phosphorus, total nitrogen and chlorophyll between the same two periods in 177 lakes showed only a difference in total phosphorus, where there was an increase in total phosphorus in habitat type 3150 and for all habitat types combined.

## **Climate and runoff**

For Denmark as a whole, the average temperature of the year in 2022 was 9.4 °C, which was a significantly higher average temperature than the average for the period 1990-2021 (8.7 °C). January and February, as well as late summer and autumn, were warmer in 2022 than the average for the period 1990-2021, while December was colder than the average for the period 1990-2021. Global radiation in 2022 was slightly higher than the average for the period 1990-2021. The average annual wind speed for all of Denmark in 2022 was 4.6 m/s, which is slightly lower than the average for the period 1990-2021 (4.9 m/s).

In 2022, precipitation was 694 mm nationwide, which is somewhat less than the average for the period 1990-2021 (761 mm). There were large variations over the year, and in February 2022 there was more than twice as much precipitation (122 mm) as the average for the period 1990-2021 (51 mm). March 2022, on the other hand, was very dry (4 mm) compared to the average for 1990-2021 (47 mm). The area-specific freshwater runoff in 2022 was 284 mm, which is 12% lower than the average for the period 1990-2021 (323 mm).

## **Overall conclusions**

Since 1989, Danish lakes have been monitored through a comprehensive and standardised monitoring programme that describes the lakes' condition and development at many levels.

The overall conclusions of this monitoring are that the condition of the Danish lakes has generally improved since the monitoring started, but that these improvements took place mainly in the 1990s, probably as a result of improved wastewater treatment and a gradually decreasing internal phosphorus load in the lakes. In the past 20 years or so, there have generally been only few changes in the condition of the lakes, and compared with the past two six-year periods there are even signs of increased nutrient concentrations – especially with regard to nitrogen – in some of the lakes.

There are still nice and clean lakes in Denmark, but today the vast majority are characterised by high nutrient concentrations, which generally leads to turbid water and adversely affected biological conditions.

# 1 Undersøgellesprogrammet

## 1.1 Historik

Siden vedtagelsen af Vandmiljøplan 1 i 1988 er der løbende sket ændringer og tilpasninger af overvågningsprogrammerne. I perioden 1989-1997 omfattede overvågningsprogrammet 37 søer >5 ha, hvori der hvert år blev foretaget intensive kemiske/fysiske og biologiske undersøgelser. Kemiske/fysiske undersøgelser og planktonundersøgelser blev i den enkelte sø foretaget to gange pr. måned om sommeren og én gang pr. måned om vinteren – i alt 19 gange. Derudover blev der årligt foretaget planteundersøgelser, mens fiskeundersøgelser blev foretaget hvert femte år i hver sø. I perioden 1998-2003 var antallet af søer reduceret til 31.

I 2004, hvor den første NOVANA-periode (se forordet) trådte i kraft, og i de efterfølgende år blev antallet af intensivt undersøgte søer reduceret yderligere til 15 søer i 2010. Samtidig skete der en reduktion i frekvensen af de biologiske undersøgelser, hvilket medførte, at planteundersøgelser blev foretaget hvert tredje år og fiske- og planktonundersøgelser hvert sjette år. Fra og med 2015 blev undersøgelsesfrekvensen af de kemiske/fysiske undersøgelser af søvandet i de intensivt undersøgte søer reduceret fra hvert år til hvert andet år. I 2011 blev programmet udvidet med tre søer (hvoraf to søer tidligere havde indgået i programmet) til 18 søer med intensive undersøgelser (*kontrolovervågning af søernes udvikling; KU-søer*, se nedenfor). Fra 2016 ophørte overvågningen af dyreplankton i NOVANA.

Samtidig med at antallet af de intensivt undersøgte søer i 2004 blev reduceret, blev der inddraget væsentligt flere søer i et mere ekstensivt program. I dette program blev undersøgelserne i de enkelte søer foretaget med lavere frekvens, både årligt og i overvågningsperioden som helhed. Det ekstensive program dækkede indtil 2008 tre størrelseskategorier af søer: >5 ha (Ekstensiv-1 søer), 0,1-5 ha (Ekstensiv-2 søer) og 0,01-0,1 ha (Ekstensiv-3 søer) og omfattede i gennemsnit i perioden 2004-2007 årligt ca. 60 søer i hver størrelsesgruppe. Fra 2008 overgik søerne <5 ha i det daværende ekstensive program til en anden del af overvågningen – de fleste til den del af overvågningen, der foretages jf. Habitatdirektivet (se nedenfor).

I 2010 blev overvågningen opdelt i *kontrolovervågning* og *operationel overvågning* (se nedenfor). Således blev 180 søer >5 ha fra den ekstensive overvågning videreført i *kontrolovervågningen af tilstand, KT-søer*, hvor hver sø bliver undersøgt i en seksårig turnus (dvs. 30 søer pr. år), i begyndelsen for vandkemiske parametre, sigtdybde, vegetation og fisk. I det ekstensive program blev algemængden indikeret ved klorofylkoncentrationen, og i 2011 blev fytoplankton og i 2013 fytobenthos (repræsenteret ved bentiske kiselalger) inkluderet i *kontrolovervågningen af tilstand*. Fra 2015 blev den årlige undersøgelsesfrekvens i hver af KT-søerne reduceret fra syv årlige prøvetagninger til fem prøvetagninger i perioden maj-september.

Fra 2008 blev omfanget af overvågningen af søer <5 ha ændret. Udvalgte søer i størrelsesklassen 1-5 ha undersøges nu i det operationelle program, og søer med et areal på 0,01-5 ha (størstedelen i Natura 2000-habitatområder) undersøges i forbindelse med overvågningen af habitatnaturtyper i henhold til Habitatdirektivet (Den Europæiske Union 1992). Samtidig overgik overvågningen af naturtyper i søer og arter tilknyttet søer fra programmet for overvågning af arter og natur til søprogrammet.

Fra og med 2011 trådte en ny seksårig NOVANA-periode i kraft, som er videreført i NOVANA-perioden 2016-2021, hvis programindhold opsummeres herunder. Året 2022 blev anset som et overgangså, der stort set var en forlængelse af perioden 2016-2021; dog blev bundfauna fra 2022 introduceret i overvågningsprogrammet for de 180 KT-søer. Fra 2023 påbegyndtes en ny programperiode, som videreføres indtil 2027 med væsentlige ændringer i forhold til perioden til og med 2022.

## 1.2 Direktiver i overvågningen og afrapportering

De væsentligste behov for overvågning af søer gennemføres nu med udgangspunkt i de to EU-direktiver vandrammedirektivet (Den Europæiske Union 2000) og Habitatdirektivet (Den Europæiske Union 1992). Således omfatter overvågningen fra og med 2010 dels en *kontrolovervågning* og dels en *operationel overvågning* af søer, OP-søer.

*Kontrolovervågningen* har til formål at "dokumentere søernes tilstand og den generelle udvikling, herunder de klimatiske relaterede og de menneskeskabte ændringer". Kontrolovervågningen skal endvidere give et generelt billede af tilstand og udvikling af de enkelte sønaturtyper. Kontrolovervågning af arter i søer skal danne baggrund for en vurdering af bevaringsstatus på landsplan af de plante- og dyrearter, som indgår i bilag II og IV i Habitatdirektivet (de såkaldte "habitatarter")" (Miljøstyrelsen 2017 og 2022). Kontrolovervågningen i henhold til vandrammedirektivet omfatter hovedsageligt søer >5 ha (198 stk.), mens kontrolovervågningen i henhold til Habitatdirektivet udelukkende omfatter søer <5 ha (432 stk.).

Data fra kontrolovervågningen anvendes i forbindelse med basisanalyserne, der bl.a. danner grundlag for vandområde- og Natura 2000-planlægningen. Derudover skal data anvendes til afrapporteringer i henhold til nationale forpligtelser, herunder f.eks. Artikel-17 afrapportering og rapportering i henhold til nitratdirektivet (Miljøstyrelsen 2017 og 2022).

*Den operationelle overvågning* skal danne baggrund for fastlæggelse af den økologiske tilstandsklasse, kemiske tilstand og indsatsbehov i søer, hvor man er i tvivl om tilstanden. Derudover skal den operationelle overvågning levere data, der dokumenterer effekten af nationale vandmiljøplaner, vandområdeplaner, nitrathandlingsprogrammer og andre forvaltningsmæssige tiltag (Miljøstyrelsen 2017 og 2022).

Indholdet i de forskellige undersøgelsesprogrammer er tilpasset de enkelte formålsbeskrivelser både mht. undersøgte parametre, frekvenser og antal søer. Måleprogrammerne er opnået ved at sammenstille de hidtidige erfaringer fra søovervågningsprogrammet, bl.a. igennem en statistisk optimering (Larsen m.fl. 2002) og tidligere erfaringer ved opstilling af undersøgelsesprogrammer for søer (Søndergaard m.fl. 1999), ligesom et internationalt evalueringspanel har givet anbefalinger vedrørende disse forhold.

### 1.3 Parametre i overvågningen

Til beskrivelse af søernes tilstand og udvikling måles der en række kemiske, fysiske og biologiske parametre. Ikke alle parametre måles i alle søer, og frekvensen varierer mellem de enkelte overvågningstyper.

I søvandet beskrives næringsstofferne med målinger af både totale og, i nogle af søerne, uorganiske opløste fraktioner af kvælstof og fosfor. I udvalgte søer måles til- og fraførsel af vand, og der foretages analyser af totalkvælstof, totalfosfor og totaljern i søens til- og afløb. Sedimentets indhold af totalfosfor og totaljern bestemmes i udvalgte søer til understøttelse af analyserne af næringsstofomsætningen i søerne.

Søernes bufferkapacitet og forsureningsstatus kan beskrives ved måling af alkalinitet (kalkholdighed) og pH, som sammen med bl.a. totaljern kan indgå i beskrivelsen af næringsstoffodynamikken i søerne. Herudover indgår også ilt- og temperaturprofiler, ledningsevne (salinitet), farvetal samt sigtdybde i en beskrivelse af de fysiske forhold i søvandet. Nogle af disse parametre anvendes også i forbindelse med fastlæggelse af søtype jf. vandrammedirektivet (se afsnit 1.5).

Mængden af partikulært materiale i søvandet måles som den totale koncentration af suspenderet stof sammen med glødetabet, der udtrykker andelen af organisk materiale af det suspenderede stof. Indholdet af klorofyl *a* giver et estimat for biomassen af fytoplankton.

Ud over de kemiske og fysiske faktorer undersøges en række biologiske komponenter, som også er nødvendige for beskrivelsen af søers tilstand. Undervandsplanter beskrives ved deres tæthed, artssammensætning og dybdeudbredelse. Fiskebestandens arts- og størrelsessammensætning samt biomasse bliver opgjort, og fytoplanktonets tæthed og taksonomiske sammensætning beskrives i udvalgte søer. Bunddyr og fytobenthos (repræsenteret ved benthiske kiselalger) undersøges ligeledes i udvalgte søer.

Miljøfarlige forurenende stoffer inden for grupperne metaller, aromatiske kulbrinter, phenoler, polyaromatiske kulbrinter (PAH), blodgørere og organotinforbindelser måles i sedimentet fra udvalgte søer. I biota (fiskevæv) måles kviksølv, og fra 2019 indgik dioxiner og furaner, perflourerede forbindelser samt pesticiderne heptachlor og heptachlorepoxyd i målingerne i fiske. En række pesticider blev i begrænset omfang målt i vandfasen i 2020.

Til beskrivelse af bevaringsstatus og udbredelse og for at opnå et tilstrækkeligt videngrundlag for søerne i forhold til naturplanerne foretages der kontrol- overvågning og kortlægning af habitatnaturtyper i søerne. Heri indgår en registrering af strukturelle faktorer og registrering af plantearter i de enkelte søer og deres nære omgivelser. I søer, der indgår i denne type kontrolovervågning, bliver der foretaget ekstensive vandkemiske undersøgelser.

I afsnit 1.6-1.8 gives en kort beskrivelse af de enkelte overvågningstyper i søerne. En komplet beskrivelse af overvågningsprogrammet for søer i NOVANA 2017-2021 og NOVANA 2022 findes i Miljøstyrelsen (2017) og Miljøstyrelsen (2022).

## 1.4 Fejlanalyser af totalkvælstof og totalfosfor

Analyser af totalkvælstof og totalfosfor fra vandprøver foretaget af et eksternt analyselaboratorium var igennem en årrække fejlbehæftede. Årsagen var, at der blev anvendt en ikke godkendt analysemetode (UV-metoden) i stedet for den korrekte autoklavemetode. Anvendelsen af UV-metoden førte til en utilstrækkelig destruktion/oplukning af prøvens indhold af kvælstof og fosfor bundet i organisk stof og dermed en underestimering af de målte koncentrationer af totalkvælstof og totalfosfor i prøverne. Der er redegjort for de nærmere detaljer i Larsen m.fl. (2018) og Larsen m.fl. (2020).

I Larsen m.fl. (2020) blev det anbefalet at gennemføre korrektion af koncentrationer af totalkvælstof, dog med forbehold for, at UV-analysemetoden, der blev anvendt i perioden 2007-2014 for hver enkelt prøve, var sammenlignelig med den UV-analysemetode, der blev anvendt i 2015, og hvorpå korrektionsligningerne mellem resultaterne af autoklave- og UV-metoden kunne udregnes. Miljøstyrelsen vurderede, at der kunne tages udgangspunkt i, at det var de samme laboratorier og metoder, der har været anvendt for vandløbs- og søprøver i perioden 2007-2015. Med denne vurdering blev der i Tornbjerg m.fl. (2021) anbefalet og efterfølgende gennemført korrektioner af totalkvælstofkoncentrationen i søprøver for perioden 2007 til første kvartal 2017. Den relative middelfejl på totalkvælstofanalyserne, baseret på de to års indsamlede data for totalkvælstof målt med både UV- og autoklavemetoden, der har dannet baggrund for opstillingen af de anvendte korrektionsligninger, var på henholdsvis 14,6 % (2015) og 16,3 % (2017). I perioden 2007-første kvartal 2017 blev der foretaget ca. 14.000 analyser af totalkvælstof i søprogrammet i NOVANA, hvoraf resultaterne af ca. 10.000, svarende til 71 % af prøverne, blev korrigeret. Korrektionen af disse data betyder, at tidligere præsentationer af resultater for totalkvælstof, der dækker perioden 2007-2017 og perioden før gennemførelsen af korrektioner, afviger fra præsentationerne i denne rapport.

For så vidt angår analyser af totalfosfor, blev det i Larsen m.fl. (2020) vurderet, at det ikke var muligt at finde gode korrektionsmuligheder på baggrund af de eksisterende data, fordi disse viste væsentligt forskellige forskelle i korrektionsniveau mellem de to år, hvor der kunne opstilles korrektionsligninger. Ikke desto mindre blev det i Tornbjerg m.fl. (2021) bemærket, at problemstillingen i forhold til totalkvælstofanalyser efter al sandsynlighed også gælder for totalfosforanalyser gennemført i den samme periode. Det blev derfor anbefalet at vurdere forhold vedr. totalfosforanalyser nærmere. Ved præsentation af resultater af totalfosfor i søvand i denne rapport er perioden 2007-2017 markeret med grå skravering.

## 1.5 Søtyper i henhold til vandrammedirektivet

I forhold til vandrammedirektivets implementering og udarbejdelsen af vandområdeplaner arbejdes der i Danmark med 11 forskellige søtyper. Søtyperne defineres med udgangspunkt i forskelle i kalkholdighed, brunfarvning, saltholdighed og middelvanddybde (tabel 1.1).

**Tabel 1.1.** Oversigt over de 11 danske søtyper anvendt i forbindelse med vandrammedirektivets implementering. Grænserne for kalkrig-kalkfattig (alkalin – lav-alkalin) er ved en alkalinitet på 0,2 mmol/L, brunvandet – ikke-brunvandet ved et farvetal på 60 mg Pt/L, fersk – saltholdig (brak) ved en saltholdighed på 0,5 ‰ og lavvandet – dyb ved en middelvanddybde ved 3 m.

Søtype	Alkalinitet	Farvetal	Saltholdighed	Middeldybde
1	Kalkfattig	Ikke-brunvandet	Fersk	Lavvandet
2	Kalkfattig	Ikke-brunvandet	Fersk	Dyb
5	Kalkfattig	Brunvandet	Fersk	Lavvandet
6	Kalkfattig	Brunvandet	Fersk	Dyb
9	Kalkrig	Ikke-brunvandet	Fersk	Lavvandet
10	Kalkrig	Ikke-brunvandet	Fersk	Dyb
11	Kalkrig	Ikke-brunvandet	Saltholdig	Lavvandet
12	Kalkrig	Ikke-brunvandet	Saltholdig	Dyb
13	Kalkrig	Brunvandet	Fersk	Lavvandet
14	Kalkrig	Brunvandet	Fersk	Dyb
15	Kalkrig	Brunvandet	Saltholdig	Lavvandet

## 1.6 Kontrolovervågning

Kontrolovervågningen omfatter tre hovedtyper: en overvågning af udviklingen i søer >5 ha (KU-søer), vurderet på baggrund af lange tidsserier, en overvågning af den generelle tilstand i søer >5 ha (KT-søer), samt en overvågning af den generelle tilstand i søer <5 ha til vurdering af Habitatdirektivets beskyttelse af sønaturtyper i denne størrelsesgruppe. En oversigt over kontrolovervågningens omfang er givet i tabel 1.2.

Samlet udgør de 198 søer >5 ha, som er omfattet af kontrolovervågningen i henhold til vandrammedirektivet, ca. 1/3 af alle danske søer i denne størrelsesgruppe (tabel 1.3). Søerne er udpeget af DCE, så de omfatter alle danske søtyper og har en stor geografisk dækning.

**Tabel 1.2.** Kontrolovervågning – antal søer i de forskellige arealklasser.

Kontrolovervågning	Antal søer pr. år (gennemsnit)	Antal søer i en seksårig periode
Økologisk og kemisk tilstand		
Udvikling (søer >5 ha)	9	18 <sup>1)</sup>
Tilstand (søer >5 ha)	30	180
Naturtyper		
Vandhuller (0,01-1 ha)	35	210
Småsøer (1-5 ha)	35	210

<sup>1)</sup>Undersøges hvert andet år for fysik/kemi, hvert tredje år for vegetation og fyto-benthos (repræsenteret ved bentiske kiselalger) og hvert sjette år for bunddyr, fytoplankton, fisk og sediment.

**Tabel 1.3.** Oversigt over antallet af søer >5 ha i kontrolovervågningen af henholdsvis udvikling (KU-søer) og tilstand (KT-søer) i en seksårig overvågningsperiode med arealfgrænsning af programmerne samt måleprogrammets turnus. "% af alle" angiver, hvor stor en andel de udvalgte søer udgør af det samlede antal danske søer >5 ha.

Programtype	Areal (ha)	Antal søer	% af alle	Turnus (år)
Kontrolovervågning, udvikling	7-4000	18	} 33	2 <sup>1)</sup>
Kontrolovervågning, tilstand	5-1730	180		6

<sup>1)</sup>Vandkemiske parametre. Sedimentkemiske og biologiske parametre undersøges med lavere frekvens.



### **Kontrolovervågning af udvikling (søer >5 ha), 18 KU-søer**

For at kunne give en detaljeret beskrivelse af tilstand og udvikling i udvalgte søtyper gennemføres der en intensiv overvågning af i alt 18 søer, hvoraf 15 indtil 2010 var en del af "Det intensive program". Disse søer benævnes KU-søer (Kontrolovervågning af Udvikling). Tre nye søer blev i 2011 en del af KU-programmet, hvoraf én (Ulvedybet) tidligere har indgået i "Det intensive program", og to (Keldsnor og Tranemose) har været inkluderet i andre dele af overvågningsprogrammet. Disse tre søer indgår ikke i alle analyser af den generelle udvikling i denne rapport pga. afbrudt tidsserie eller uensartet prøvetagning.

De fysiske og kemiske undersøgelser omfatter i alt 17 vandkemiske og fysiske parametre (se den fulde liste i Miljøstyrelsen 2017 og 2022). Den årlige prøvetagningsfrekvens for de vandkemiske og fysiske parametre er 19 (to gange pr. måned i april-oktober, resten af året månedlige prøver). I udvalgte KU-søer måles til- og fraførsel af vand, og der foretages analyser af totalkvælstof, totalfosfor og totaljern i søens til- og afløb. Disse målinger foretages med en årlig frekvens på 12-22, afhængigt af afstrømningsmønsteret. På baggrund af dette kan næringsstoffdynamikken beskrives detaljeret. De enkelte søers sediment undersøges for totalfosfor, totaljern, tørstof og glødetab hvert sjette år, vegetation og fytobenthos (repræsenteret ved bentiske kiselalger) undersøges hvert tredje år, mens planteplankton (12 prøver pr. år), fisk og bunddyr undersøges hvert sjette år. Miljøfarlige forurenende stoffer (se Miljøstyrelsen 2017 og 2022) undersøges i KU-søer i sediment og biota (fisk) hvert sjette år.

Der er kun medtaget 18 søer (hvoraf kun de 15 har en lang tidsserie) i kontrolovervågningen af udviklingen, og disse søer kan ikke betragtes som værende repræsentative for danske søer som helhed, men giver mulighed for at vurdere langsigtede udviklingstendenser i større søer. Reduceret undersøgelsesfrekvens i forhold til tidligere betyder, at det tager længere tid at detektere en eventuel udvikling. For så vidt angår kemiske og fysiske parametre, giver resultaterne fra KU-søerne en baggrund for at vurdere resultaterne fra de mere ekstensivt overvågede søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand.

De intensive målinger i KU-søerne giver grundlag for at udarbejde en detaljeret beskrivelse af de enkelte søers økosystem, så næringsstofomsætning, biologisk tilstand og interaktioner kan tolkes. Samtidig kan der etableres en årsagssammenhæng mellem menneskelig påvirkning og søernes fysisk-kemiske såvel som biologiske respons. Det er samtidig muligt at beskrive klimatiske og andre naturgivne forholds indflydelse på søerne og deres respons.

### **Kontrolovervågning af tilstand (søer >5 ha), 180 KT-søer**

Til overvågning af de danske søers generelle økologiske og kemiske tilstand gennemføres der undersøgelser i gennemsnitligt 30 søer >5 ha pr. år, dvs. i alt 180 søer, over en seksårig periode. Disse søer benævnes KT-søer (Kontrolovervågning af Tilstand). Udvalget af dem er geografisk stratificeret, og de væsentligste danske søtyper, herunder brakvandssøer, er omfattet. En del af disse søer indgår tillige i det operationelle program. Eftersom KT-søerne tidligere var inkluderet i "Det ekstensive program" eller "Det intensive program", er næsten alle KT-søer undersøgt mindst tre gange i løbet af overvågningsperioden (1989-2022). Mange af dem er undersøgt 7-8 gange eller mere, hvilket gør det muligt at beskrive udviklingen i hver af disse søer med statistisk sikkerhed.

Vandkemiske og fysiske forhold i KT-søerne følges månedligt i sommerperioden (maj-september) med i alt 11 nøgleparametre (se den fulde liste i Miljøstyrelsen 2017 og 2022). De biologiske undersøgelser omfatter i den enkelte sø fem årlige fytoplanktonprøver (månedligt fra maj til september) samt undersøgelse af undervandsplanter, fyto-benthos (repræsenteret ved bentiske kiselalger) og fisk én gang i en seksårig periode. Fra og med 2022 undersøges tillige bundfauna i KT-søerne.

Ud over vandkemiske og biologiske undersøgelser foretages der undersøgelser af miljøfarlige forurenende stoffer i sediment og biota (fisk) i 70 udvalgte KT-søer og i vand i fire søer i løbet af overvågningsperioden.

### Kontrolovervågning af habitatnaturtyper i søer

#### Søer <5 ha

Til vurdering af bevaringsstatus og udvikling af Habitatdirektivets beskyttede naturtyper i søer (se tabel 1.4) bliver der i kontrolovervågningen årligt foretaget ekstensive undersøgelser i gennemsnitligt ca. 70 søer <5 ha.

For søerne <5 ha er disse udvalgt på baggrund af tidligere undersøgelser, så der sikres en nogenlunde ligelig fordeling mellem de seks naturtyper beskrevet i tabel 1.4.

De målte parametre i kontrolovervågningen af naturtypesøerne <5 ha omfatter vegetationens dækning og taksonomiske sammensætning samt strukturelle faktorer, der knytter sig til søbredden og de nærmeste omgivelser (se Fredshavn m.fl. 2009 for en fuld oversigt) endvidere undersøges en række kemiske parametre.

**Tabel 1.4.** Oversigt over de seks danske habitatnaturtyper i søer anvendt i forbindelse med overvågning jf. Habitatdirektivet. Se nærmere beskrivelse i habitatnøglen og habitatbeskrivelserne her: <https://mst.dk/natur-vand/natur/natura-2000/natura-2000-omraaderne/beskyttede-arter-og-naturtyper/>. Hvis en sø ikke tilhører nogen af de nævnte typer, registreres den med "type 3100".

#### Habitatnaturtype

Nr.	Beskrivelse
1150	Kystlaguner og strandsøer
3110	Kalk- og næringsfattige søer og vandhuller (lobeliesøer)
3130	Ret næringsfattige søer og vandhuller med små amfibiske planter ved bredden
3140	Kalkrige søer og vandhuller med kransnålalger
3150	Næringsrige søer og vandhuller med flydeplanter eller store vandaks
3160	Brunvandede søer og vandhuller

#### Søer >5 ha

Kontrolovervågningen af habitatnaturtyper i søer >5 ha jf. Habitatdirektivet foregår samtidig med kontrolovervågningen af disse søer jf. vandrammedirektivet. Naturtypen bestemmes i henhold til habitatnøglen og habitatbeskrivelserne (se <https://mst.dk/natur-vand/natur/natura-2000/natura-2000-omraaderne/beskyttede-arter-og-naturtyper/>), og der indsamles ikke data ud over dem, der indgår i kontrolovervågningen i henhold til vandrammedirektivet.

## 1.7 Operationel overvågning

For at tilvejebringe data til brug ved vurdering af tilstanden i søer, der er i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet, og for at opnå datagrundlag til at vurdere den nødvendige indsats er der hvert år i perioden 2016-2022 foretaget undersøgelser af vandkemi i 95 søer, vegetation i 50 søer og fisk i 11 søer (antallet af søer pr. år er gennemsnitligt, og nogle søer er undersøgt to gange i perioden), alle over 5 ha. En del af disse søer er også inkluderet i kontrol-overvågningen. Derudover overvåges i gennemsnit pr. år 25 småsøer med et areal på 1-5 ha, hvor vandkemi og vegetation undersøges. Søerne i den operationelle overvågning indgår alle i vandområdeplanerne og er udpeget af MST.

Søerne er af Miljøstyrelsen udvalgt efter følgende kriterier:

- Søer, hvor der aldrig har været tilsyn.
- Søer, for hvilke der ikke findes oplysninger om den aktuelle status, eller hvor oplysningerne er forældede.
- Søer, hvor der har været tilsyn, men hvor man mangler oplysninger i forhold til nødvendig indsats.
- Søer, der ikke opfylder målsætningen, og hvor effekten af igangsatte eller gennemførte tiltag skal vurderes.
- Søer, der opfylder målsætningen, men er i forværring.

Undersøgelserne i den operationelle overvågning omfatter op til 16 udvalgte vandkemiske og fysiske parametre. Ud over vandkemiske og biologiske undersøgelser undersøges sedimentet for miljøfarlige forurenende stoffer i udvalgte søer. Til og med 2020 blev også totalfosfor og totaljern undersøgt (se nærmere i Miljøstyrelsen 2017 og 2022). Desuden undersøges fisk i udvalgte søer for miljøfarlige forurenende stoffer.

## 1.8 Kortlægning af habitatnaturtyper i søer

For at sikre et tilstrækkeligt videngrundlag for søerne i forhold til naturplanerne skal der, i henhold til Habitatdirektivet, foretages en kortlægning (dvs. fastlæggelse af naturtype og indsamling af data til tilstandsvurdering) af naturtyper. Gennemsnitligt kortlægges ca. 500 vandhuller og småsøer <5 ha pr. år. Denne kortlægning fortsættes i de kommende år, indtil alle vandhuller og småsøer i Natura 2000-habitatområder er undersøgt.

Til brug ved kortlægning af habitatnaturtyper i søer >5 ha anvendes de data, der indgår i overvågningen jf. vandrammedirektivet, hvilket vil sige, at der ikke indsamles yderligere data. Naturtypen for søer både under og over 5 ha bestemmes i henhold til Miljøstyrelsens habitatnøgle og habitatbeskrivelser, som kan findes her: <https://mst.dk/natur-vand/natur/natura-2000/natura-2000-omraaderne/beskyttede-arter-og-naturtyper/>.

## 2 Kontrolovervågning af søernes udvikling

Denne del af rapporten indledes med en generel karakteristik af de 18 KU-søer (figur 2.1). Femten af KU-søerne var i perioden 1989-2010 omfattet af "Det intensive program" og har dermed gennemgået intensive undersøgelser siden 1989. De fysiske og kemiske parametre undersøges hvert andet år (indtil 2015 var det hvert år), og det seneste komplette datasæt, hvor vandkemiske parametre i alle KU-søer er undersøgt, omfatter således data fra perioden 2021-2022.

**Figur 2.1.** Geografisk placering af de 18 KU-søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling.



### 2.1 Generel karakteristik

Vandkemisk spænder KU-søerne vidt (tabel 2.1): fra kalkfattige til kalkrige (sommergennemsnitlig alkalinitet fra 0,003 til 4,8 mmol/L), fra ikke-farvede til brunvandede (sommergennemsnitlig farvetal fra 5 til 200 mg Pt/L) og næringsstofmæssigt fra et sommergennemsnit for totalfosfor mellem 0,015 og 0,638 mg/L og for totalkvælstof mellem 0,32 og 9,11 mg/L. Dette kommer til udtryk i en sigtddybde, der som sommergennemsnit varierer fra 0,2 til 3,9 m, og et indhold af klorofyl *a*, der sommergennemsnitligt spænder fra 5,8 til 263 µg/L. Alle de nævnte værdier er fra overvågningen i 2021-2022.

**Tabel 2.1.** Vandkemiske forhold i de 18 KU-søer i 2021-2022 baseret på års- og sommergennemsnit for de enkelte søer.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Totalfosfor (mg/L), år	0,110	0,055	0,014	0,644	18
Totalfosfor (mg/L), sommer	0,123	0,053	0,015	0,638	18
Opløst fosfor (ortho-P) (mg/L), år	0,018	0,008	0,002	0,075	18
Opløst fosfor (ortho-P) (mg/L), sommer	0,016	0,005	0,001	0,079	18
Totalkvælstof (mg/L), år	2,36	1,71	0,38	9,60	18
Totalkvælstof (mg/L), sommer	1,98	1,53	0,32	9,11	18
Nitrat (NO <sub>3</sub> -N) (mg/L), år	0,81	0,17	0,02	4,15	18
Nitrat (NO <sub>3</sub> -N) (mg/L), sommer	0,36	0,02	0,003	2,67	18
Klorofyl a (µg/L), år	52,6	22,9	5,4	363	18
Klorofyl a (µg/L), sommer	50	20,7	5,8	263	18
Sigtdybde (m), år	2,0	1,6	0,2	3,9	18
Sigtdybde (m), sommer	1,9	1,5	0,2	3,9	18
Alkalinitet (mmol/L), år	2,1	2,2	0,01	4,6	18
Alkalinitet (mmol/L), sommer	2,0	2,1	0,003	4,8	18
Farvetal (mg Pt/L), år	34,1	22,5	5,6	199	18
Farvetal (mg Pt/L), sommer	33,7	18,7	5,2	200	18

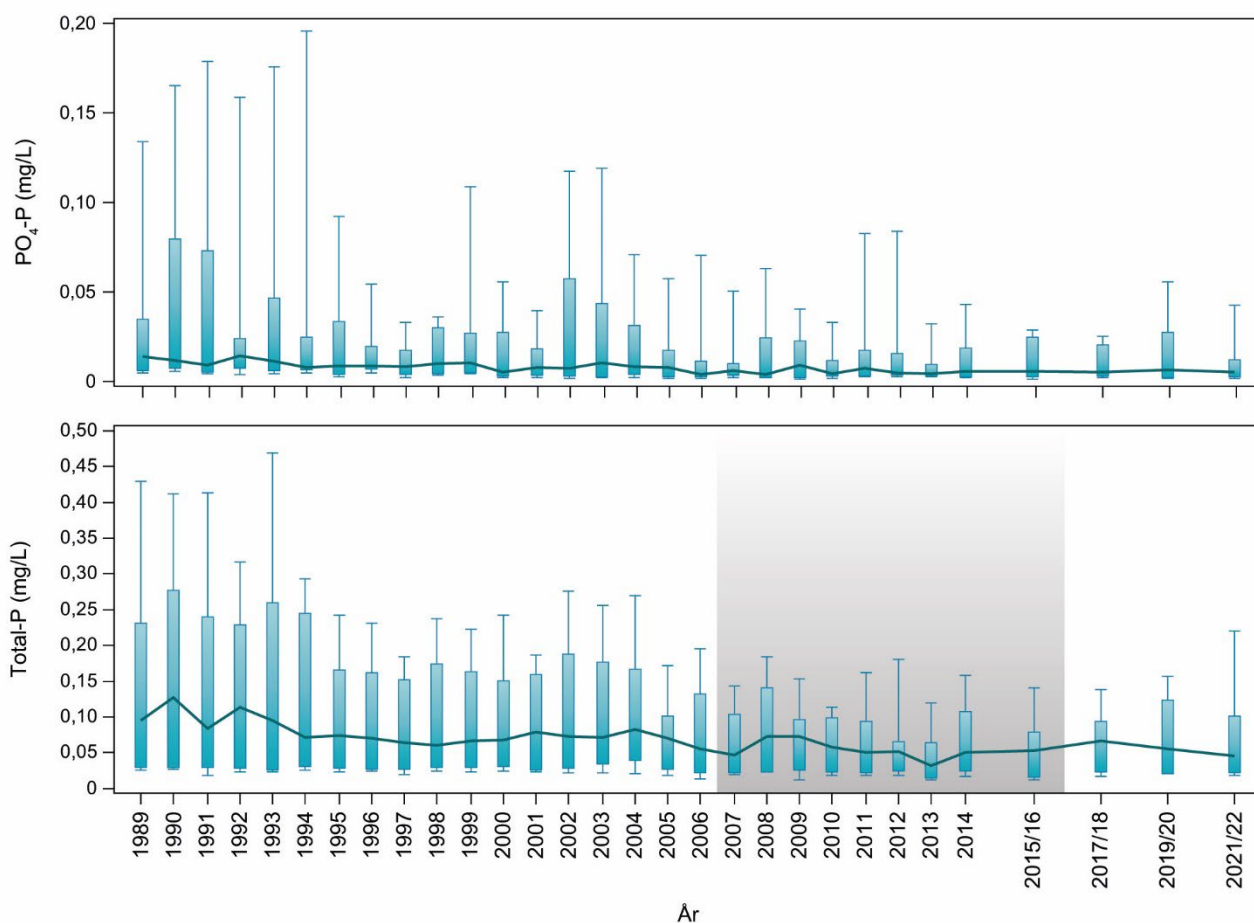
## 2.2 Vandkemi og sigtdybde

### Fosfor

Fosfor i vandmiljøet kommer primært fra landbrugs- og naturarealer, spildevand fra byer og spredt bebyggelse og i mindre omfang fra industrier og dambrug.

Fosfor er et plantenæringsstof, der i de fleste søer betragtes som den mest begrænsende faktor for algevæksten. Fosfor har dermed stor betydning for vandmiljøet og mange af de biologiske forhold i søerne. Fosfor akkumuleres i søbunden, og efter en reduceret belastning eller afskæring af spildevand kan denne fosfor efterfølgende i en årrække frigives til søvandet, hvilket forsinker effekten på vandkvaliteten. Totalfosfor udtrykker den samlede fosformængde, hvoraf en stor del ofte er bundet i alger og andre partikler, mens den opløste fosfor (orthofosfat) er direkte tilgængelig for algernes produktion. Høje koncentrationer af opløst fosfor er derfor en indikation på, at en søs algevækst ikke er fosforbegrænset.

Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2022 af totalfosfor og opløst fosfor i de søer, der er omfattet af kontrolovervågningen af udvikling, og som har været undersøgt siden 1989, er vist i figur 2.2. De tre søer, som kun har været med i kontrolovervågning af søernes udvikling siden 2011 (se afsnit 1.1), er ikke medtaget i disse fremstillinger. Resultaterne for de enkelte søer ses i figur 2.3, og her er også de tre søer med data siden 2011 vist. Det skal bemærkes, at totalfosforanalyser fra perioden 2007 til første kvartal 2017 kan være fejlbehæftede (se afsnit 1.4).



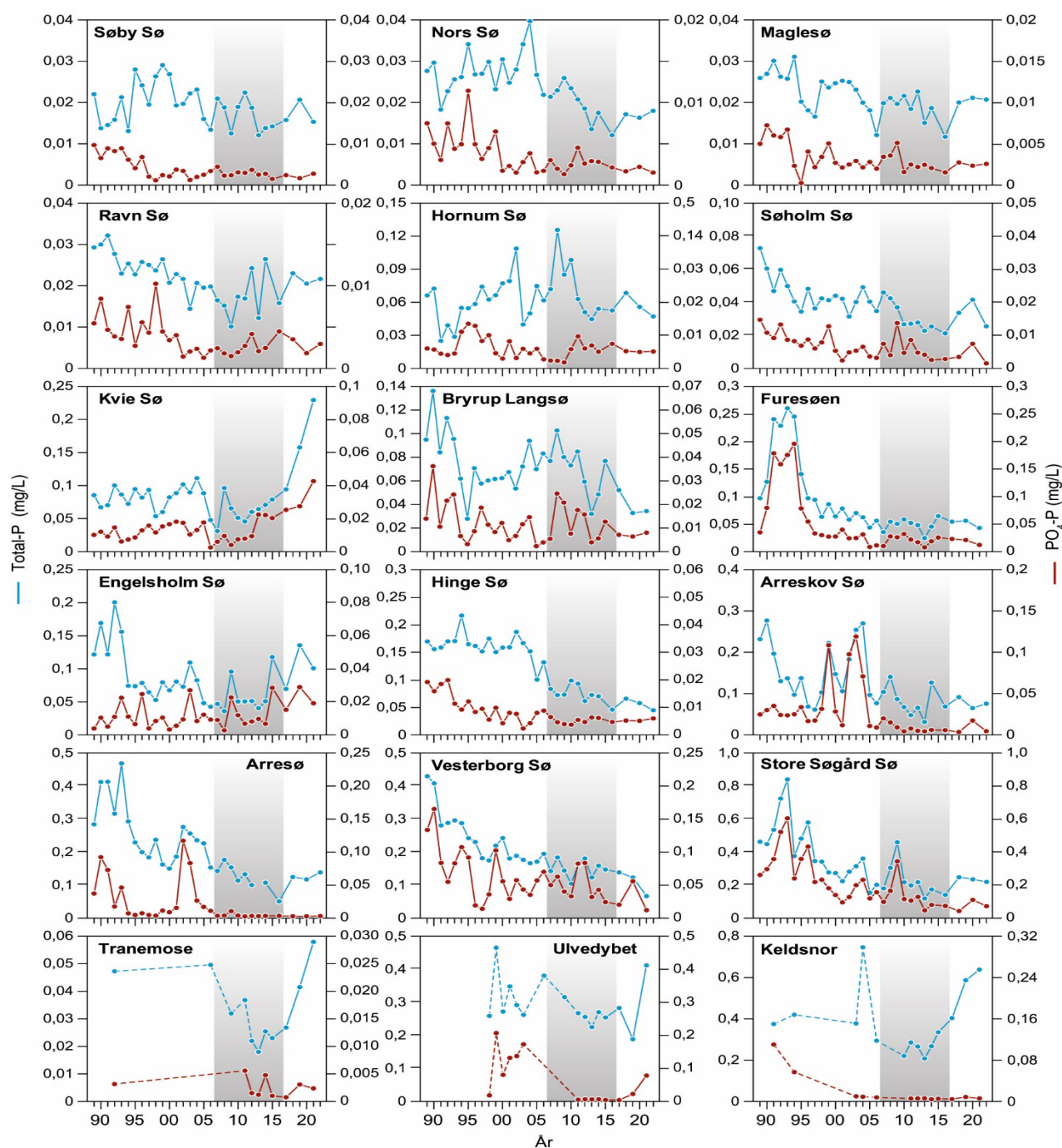
**Figur 2.2.** Udviklingen i sommergennemsnit for søkoncentrationen af opløst fosfor ( $\text{mg PO}_4\text{-P/L}$ ) og totalfosfor ( $\text{mg P/L}$ ) i de 15 KU-søer, der har været undersøgt siden 1989. Hver box med whiskers viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne. Fra og med 2015 er hver sø kun undersøgt hvert andet år, hvorfor resultaterne fra hver af perioderne 2015-2016, 2017-2018, 2019-2020 og 2021-2022 er slået sammen. Det skraverede område indikerer perioden med fejlbehæftede analyseresultater, se afsnit 1.4.

Det største fald i fosforindholdet er generelt sket i begyndelsen af overvågningsperioden (figur 2.2 og 2.3). Sommermedianen af totalfosforkoncentrationen lå i perioden 1989-1993 på ca. 0,1 mg/L. Fra 1994 og frem til 2004 varierede medianværdierne mellem 0,06 og 0,08 mg/L, mens den i perioden 2005-2022 har ligget mellem 0,05 og 0,07 mg/L. I 2013 blev der målt den laveste medianværdi, hvorefter medianværdien i de seneste to perioder (2019-2020 og 2021-2022) har ligget på 0,05-0,06 mg/L. Medianværdierne af opløst fosfor var ligeledes generelt højest i den første del af perioden, mens de laveste værdier ses fra 2005 og frem.

At det største fald i fosforkoncentrationen skete i begyndelsen af overvågningsperioden, ses også i tabel 2.2. Faldet i årsværdierne for totalfosfor var af samme størrelsesorden som sommerværdierne; medianværdien faldt fra 0,105 til 0,060 mellem de to første femårsperioder, hvorefter den lå på 0,05-0,07 i de følgende perioder. Udviklingen i medianværdierne af orthofosfat er ikke tydelig, hvis man ser på femårsperioderne for årsværdier (tabel 2.3); dog har sommerværdierne været jævnt faldende fra en medianværdi på 0,011 mg/L i perioden 1989-1993 til 0,05 mg/L i 2021-2022. Dette kan være et udtryk for en efterhånden mindsket intern fosforfrigivelse fra sedimentet.

Et andet mønster i udviklingen af fosforkoncentrationen i KU-søerne gennem de seneste 30 år er, at det største fald generelt ses i de søer, som fra begyndelsen havde de højeste koncentrationer (figur 2.2 og 2.3 samt tabel 2.2 og 2.3).

Således er det generelt maksimumværdierne og 75 %-fraktilerne, der er faldet mest, hvorimod minimum- og 25 %-fraktilerne ikke ændres meget. For totalfosfor var både 75 %-fraktilen og maksimumværdien mere end halveret mellem perioden 1989-1993 og 2021-2022. Dette gælder både sommergennemsnittet (dog ikke 75 %-fraktilen) og gennemsnittet på årsbasis. Reduktionen i de mest næringsrige KU-søer er endnu tydeligere for orthofosfat, hvor 75 %-fraktilen og maksimumværdierne fra 1989-1993 til 2021-2022 på årsbasis var reduceret til henholdsvis 32 % og 22 %. For sommerværdier var der tale om reduktioner til henholdsvis 46 % og 18 % mellem de samme perioder. Der kan dog ikke tolkes alt for hårdt på disse kvartilværdier på grund af det lave antal søer, hvor en enkelt eller få søer kan have stor betydning.



**Figur 2.3.** Udvikling i sommergennemsnitskoncentrationen af totalfosfor (mg Total-P/L) og opløst fosfor (mg  $PO_4$ -P/L) i hver af de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Stiplede linjer viser perioder med afbrudt dataserie. Bemærk forskellige skalaer på akserne. Det skraverede område på hver graf indikerer perioden med fejlbehæftede analyseresultater af totalfosfor, se afsnit 1.4.

**Tabel 2.2.** Koncentrationen af totalfosfor angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-6-årsperioder siden 1989 samt 2021-2022 i de 15 KU-søer, som har været overvåget siden 1989. Data er baseret på gennemsnit for de enkelte søer. \*) Nogle af resultaterne i disse perioder vil være påvirkede af fejlanalyserne beskrevet i afsnit 1.4.

<b>Totalfosfor</b>	<b>Gns.</b>	<b>Median</b>	<b>Min.</b>	<b>25 %</b>	<b>75 %</b>	<b>Maks.</b>
<b>Periode</b>	<b>Årsværdier (mg/L)</b>					
1989-1993	0,150	0,105	0,020	0,035	0,230	0,499
1994-1998	0,105	0,060	0,019	0,031	0,154	0,349
1999-2003	0,093	0,068	0,023	0,028	0,147	0,219
2004-2008*)	0,077	0,071	0,019	0,028	0,117	0,182
2009-2014*)	0,064	0,060	0,017	0,034	0,075	0,172
2015-2020*)	0,067	0,055	0,015	0,031	0,098	0,168
2021-2022	0,065	0,048	0,014	0,028	0,077	0,170
	<b>Sommerværdier (mg/L)</b>					
1989-1993	0,161	0,105	0,017	0,028	0,194	0,602
1994-1998	0,112	0,069	0,022	0,029	0,175	0,425
1999-2003	0,103	0,074	0,021	0,028	0,183	0,274
2004-2008*)	0,087	0,075	0,018	0,027	0,138	0,241
2009-2014*)	0,069	0,059	0,016	0,020	0,078	0,232
2015-2020*)	0,071	0,058	0,015	0,020	0,108	0,208
2021-2022	0,073	0,045	0,015	0,022	0,101	0,229

**Tabel 2.3.** Koncentrationen af opløst fosfor (orthofosfat) angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-6-årsperioder siden 1989 samt 2021-2022 i de 15 KU-søer, som har været overvåget siden 1989. Data er baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

<b>Orthofosfat</b>	<b>Gns.</b>	<b>Median</b>	<b>Min.</b>	<b>25%</b>	<b>75 %</b>	<b>Maks.</b>
<b>Periode</b>	<b>Årsværdier (mg/L)</b>					
1989-1993	0,059	0,016	0,006	0,008	0,075	0,349
1994-1998	0,038	0,013	0,003	0,008	0,028	0,251
1999-2003	0,033	0,019	0,003	0,009	0,053	0,118
2004-2008	0,024	0,012	0,002	0,004	0,032	0,115
2009-2014	0,022	0,016	0,003	0,005	0,021	0,101
2015-2020	0,019	0,015	0,002	0,003	0,024	0,074
2021-2022	0,018	0,009	0,002	0,002	0,025	0,075
	<b>Sommerværdier (mg/L)</b>					
1989-1993	0,055	0,011	0,005	0,006	0,053	0,409
1994-1998	0,036	0,010	0,002	0,006	0,025	0,297
1999-2003	0,028	0,009	0,003	0,003	0,047	0,149
2004-2008	0,021	0,008	0,002	0,003	0,018	0,155
2009-2014	0,019	0,006	0,002	0,003	0,012	0,138
2015-2020	0,015	0,006	0,002	0,003	0,024	0,077
2021-2022	0,013	0,005	0,001	0,003	0,012	0,073

Reduktionen i fosforniveauet siden 1989 er også tydelig, hvis man ser på de enkelte søers udvikling, især hvad angår de mest næringsrige søer (figur 2.3 og tabel 2.4). Således er både årsgennemsnittet og sommergennemsnittet af totalfosfor i perioden 1989-2021/2022 reduceret signifikant i 12 ud af de 18 søer, mens de er uændrede i de øvrige seks søer. Hvis der alene ses på den seneste 20-års periode (2003-2021/2022), er der sket en signifikant reduktion i 8 ud af 18 søer på årsbasis, mens sommergennemsnittet udviser et signifikant fald i syv ud af 18 søer. I en enkelt sø er der sket en stigning i årsgennemsnittet. I de



seneste 12 år (2011-2021/2022) er der signifikante stigninger i årsgennemsnittet i to søer og ligeledes et fald i to søer. Der er sket en forøgelse i sommergennemsnittet i tre søer og en reduktion i én sø. For en enkelt af søerne i både årsgennemsnittet og sommergennemsnittet (ikke den samme) er data utilstrækkelige til at lave en statistik test over ændringer de seneste 12 år.

Som i de øvrige fremstillinger er resultaterne et udtryk for, at de største ændringer skete tidligt i overvågningsperioden. Bemærk, at den statistiske test, ud over det normalt anvendte signifikansniveau på 5 % eller derunder, også er vurderet med et signifikansniveau på 10 %.

**Tabel 2.4.** Udviklingen i indholdet af totalfosfor i hele perioden fra 1989 til 2021/2022 samt i de seneste 20 år (2003-2021/2022) og de seneste 12 år (2011-2021/2022) i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Søer markeret med -/+, --/++, ---/+++ , ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. \*\* betyder, at der ikke er tilstrækkeligt datagrundlag (<8 år) til en statistisk vurdering. Resultaterne i perioden 2007 til første kvartal 2017 kan være påvirkede af fejlanalyserne beskrevet i afsnit 1.4.

Totalfosfor	Årsgennemsnit			Sommergennemsnit		
	1989-	2003-	2011-	1989-	2003-	2011-
	2021/22	2021/22	2021/22	2021/22	2021/22	2021/22
Nors Sø	----	---	0	----	----	0
Ulvedybet Nord	0	0	0	0	0	0
Hornum Sø	0	0	**	0	0	0
Tranemose	0	0	0	0	0	0
Hinge Sø	----	----	---	----	----	---
Ravn Sø	0	+	0	----	0	0
Bryrup Langsø	---	---	0	--	--	0
Søby Sø	--	-	0	0	0	0
Kvie Sø	0	0	0	0	0	++++
Engelsholm Sø	--	0	0	--	0	++
Store Søgård Sø	----	0	0	----	0	0
Arreskov Sø	---	--	0	---	--	0
Søholm Sø	----	----	0	----	--	0
Keldsnor	0	0	+++	0	0	+++
Arresø	----	---	0	----	---	**
Furesøen	----	0	+	----	0	0
Maglesø	---	0	--	----	0	0
Vesterborg Sø	----	----	0	----	--	0
I alt 0	6	9	13	6	11	13
I alt +/++/+++/++++	0	1	2	0	0	3
I alt -/--/---/----	12	8	2	12	7	1

## Kvælstof

Kvælstof i vandmiljøet stammer primært fra udvaskning fra det åbne land, hvoraf landbrugsarealer udgør størstedelen. Mindre betydende kilder er rensesanlæg, industrier og dambrug.

Kvælstof er ligesom fosfor et plantenæringsstof, der har betydning for algemængden og den generelle tilstand i søerne, selv om fosfor i de fleste søer oftest vil være den begrænsende faktor. Der er dog undersøgelser, der peger på, at kvælstof spiller en væsentlig rolle for undervandsplanterne, og at høje kvælstofkoncentrationer kan gøre det vanskeligere at opnå klarvandede forhold og dermed etablere undervandsvegetation i søerne (Gonzales Sagrario m.fl. 2005); se

eventuelt også rapporten fra Bjerring m.fl. (2013), der indeholder et afsnit om betydningen af kvælstof for søers tilstand. Indholdet af totalkvælstof udtrykker den samlede mængde kvælstof, hvoraf en stor del – især om sommeren – er bundet i partikler som alger. Indholdet af uorganiske, opløste kvælstoffer udgøres af nitrat og nitrit (analyseres sammen med nitrat, nitrit+nitrat), der som regel udgør den største andel af opløst uorganisk kvælstof, som sammen med ammonium er direkte tilgængelig for algernes produktion. Indholdet af nitrit+nitrat reduceres ofte hen over sommeren på grund af algernes optag og øget denitrifikation. Den naturlige kvæstoffjernelse (denitrifikation samt en bundfældning af organisk bundet kvælstof) har betydning for, hvor meget kvælstof der transporteres ud af søerne og videre via vandløbene til havet. Overvågningen af kvælstofkoncentrationerne bidrager med viden til at vurdere søernes samlede kapacitet til at fjerne kvælstof.

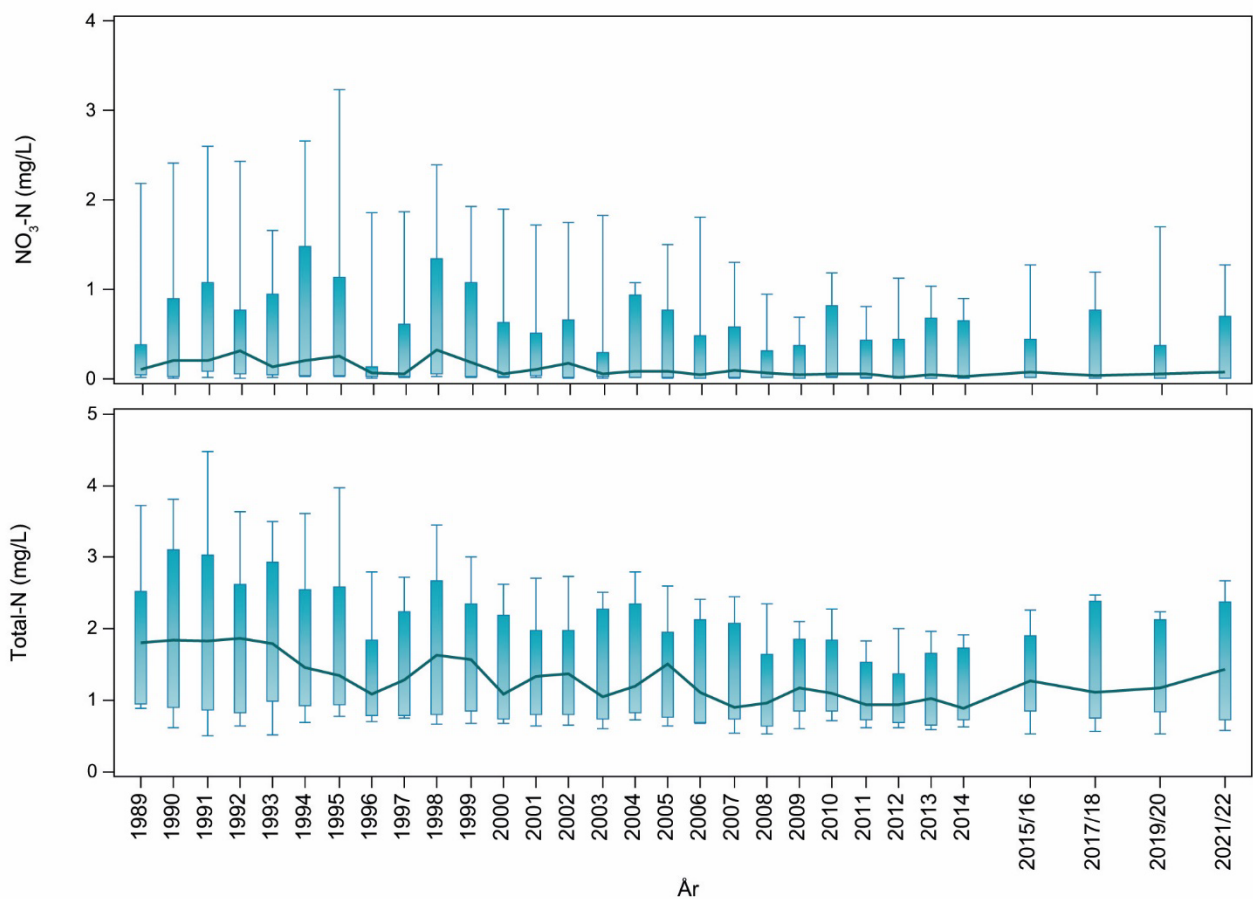
Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2021/2022 af totalkvælstof og nitrit+nitrat i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udviklingen, ses i figur 2.4. Resultaterne for de enkelte søers kvælstofindhold ses i figur 2.5 og tabel 2.7.

Siden 1989 er der sket en reduktion i indholdet af totalkvælstof i søerne, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, på såvel års- som på sommerniveau. Sommermedianen af totalkvælstof lå i perioden 1989-1993 på omkring 1,8 mg/L (figur 2.4), og frem til 1996 var der et konstant fald i mediankoncentrationen til 1,1 mg/L. Siden har medianværdien ligget mellem 1 og 1,5 mg/L. I de fire seneste toårsperioder (2015-2016, 2017-2018, 2019-2020 og 2021-2022) har medianværdien af sommertotalkvælstofkoncentrationen ligget lidt højere end i årene 2006-2014. Dette gælder også for værdierne af maksimum og for 75 %-kvartilerne.

Sommermedianen af nitrit+nitratkoncentrationen lå i perioden 1989-1999 mellem 0,1 og 0,25 mg/L, bortset fra årene 1996 og 1997, som pga. lav nedbør og dermed ringe afstrømning fra oplandet overordnet viste lavere værdier (0,06 og 0,05 mg/L). Efter 1999 sås et generelt fald, så mediankoncentrationerne siden har ligget omkring eller under 0,1 mg/L. Maksimumsværdierne har også været lavere. I modsætning til totalkvælstof øgedes medianværdien af nitrit+nitratkoncentrationen ikke i de fire seneste toårsperioder.

Reduktionen af både totalkvælstof og nitrit+nitrat er især markant for de mest kvælstofrige søer, hvilket kommer tydeligt til udtryk i mindskede værdier for både medianværdier og 75 %-fraktilerne. I perioden 1989-1993 til 2021/2022 er 75 %-fraktilen af årsværdierne af totalkvælstof således reduceret fra 4,3 til 2,4 mg/L, og sommerværdierne er faldet fra 2,9 til 2,4 mg/L i samme periode (tabel 2.5). Fra perioden 2009-2014 til 2021/2022 er 75 %-fraktilen for totalkvælstof øget både som årsmiddel og sommermiddel. Nitrit+nitrat-koncentrationen er i de mest kvælstofrige søer (75 %-fraktilen) på årsbasis over hele perioden (1989-1993 til 2021/2022) lidt mere end halveret fra 3,2 til 1,5 mg/L. For sommerperioden er der, overordnet set, også sket et fald i de mest næringsrige søer, men mindre markant, og i 2021/2022 var 75 %-fraktilen øget fra 0,5 til 0,7 mg/L i forhold til den foregående seksårsperiode fra 2015-2020.

Generelt er sommerkoncentrationerne af nitrit+nitrat væsentligt lavere end på årsbasis. Det skyldes, at primærproducenterne om sommeren optager en større andel af nitrit+nitrat, og/eller at det forbruges via denitrifikation, og de højere vinterkoncentrationer slår igennem på årsgennemsnittet.



**Figur 2.4.** Udviklingen i sommergennemsnit for søkoncentrationen af nitrat+nitrit (mg NO<sub>3</sub>-N/L) og totalkvælstof (mg Total-N/L) i de 15 KU-søer, der har været overvåget siden 1989. Hver box med whiskers viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne. Fra og med 2015 er hver sø undersøgt hvert andet år, og derfor er resultaterne fra hver af perioderne 2015-2016, 2017-2018, 2019-2020 og 2021-2022 slået sammen.

**Tabel 2.5.** Koncentrationen af totalkvælstof angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-6-årsperioder siden 1989 samt 2021/2022 i de 15 KU-søer, som har været overvåget siden 1989. Data er baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

<b>Totalkvælstof</b>	<b>Gns.</b>	<b>Median</b>	<b>Min</b>	<b>25%</b>	<b>75 %</b>	<b>Maks.</b>
<b>Årsværdier (mg/L)</b>						
1989-1993	2,72	2,49	0,45	0,93	4,25	5,94
1994-1998	2,27	1,70	0,47	1,07	3,84	4,35
1999-2003	1,98	1,84	0,44	0,98	3,11	3,84
2004-2008	1,95	1,80	0,42	0,96	2,65	4,74
2009-2014	1,83	1,86	0,40	0,98	2,17	4,36
2015-2020	1,84	1,76	0,40	0,97	2,44	5,05
2021-2022	1,89	1,63	0,38	0,82	2,38	5,26
<b>Sommerværdier (mg/L)</b>						
1989-1993	1,97	2,01	0,37	0,85	2,90	4,08
1994-1998	1,69	1,42	0,42	0,88	2,27	3,79
1999-2003	1,49	1,25	0,39	0,83	2,27	2,98
2004-2008	1,41	1,39	0,36	0,72	2,12	2,55
2009-2014	1,24	0,96	0,35	0,75	1,87	2,13
2015-2020	1,38	1,24	0,33	0,83	2,12	2,52
2021-2022	1,49	1,43	0,32	0,73	2,37	3,10

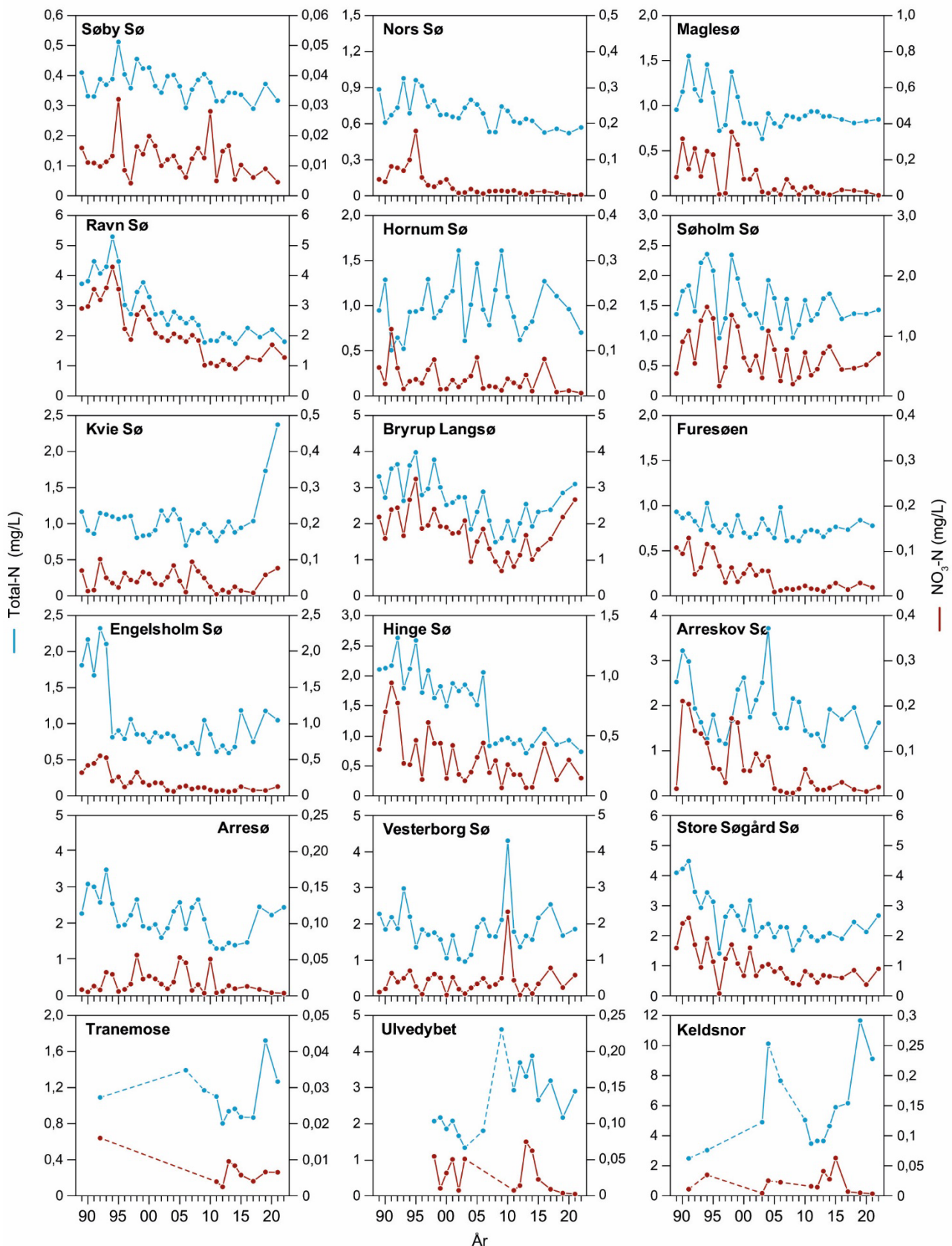
**Tabel 2.6.** Koncentrationen af nitrat+nitrit angivet som gennemsnit- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-6-årsperioder samt 2021/2022 i de 15 KU-søer, som har været overvåget siden 1989. Data er baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

Nitrat-nitrit	Gns.	Median	Min.	25%	75 %	Maks.
<b>Periode</b>	<b>Årsværdier (mg/L)</b>					
1989-1993	1,50	0,69	0,08	0,26	3,22	4,48
1994-1998	1,23	0,49	0,08	0,20	2,93	3,34
1999-2003	1,05	0,45	0,09	0,22	2,46	2,83
2004-2008	0,96	0,34	0,07	0,15	2,00	3,35
2009-2014	0,78	0,28	0,05	0,13	1,30	2,51
2015-2020	0,89	0,29	0,05	0,15	1,59	3,84
2021-2022	0,96	0,22	0,03	0,11	1,45	4,15
	<b>Sommerværdier (mg/L)</b>					
1989-1993	0,67	0,23	0,01	0,06	0,83	3,24
1994-1998	0,61	0,20	0,01	0,05	0,95	2,93
1999-2003	0,46	0,15	0,01	0,03	0,64	2,27
2004-2008	0,37	0,06	0,01	0,03	0,61	1,93
2009-2014	0,28	0,03	0,01	0,02	0,61	1,08
2015-2020	0,34	0,03	0,01	0,02	0,47	1,68
2021-2022	0,44	0,08	0,003	0,005	0,70	2,67

Ser man på enkelt søerne i perioden 1989-2021/2022, er der som helhed sket en reduktion i totalkvælstofkoncentrationen i flertallet af de 15 søer (figur 2.5, tabel 2.7), både hvad angår sommergennemsnit og årgennemsnit (henholdsvis 11 og 10 søer). Totalkvælstofkoncentrationen er kun øget i én sø både som års- og sommergennemsnit. Hvis der alene kigges på udviklingen i de seneste 20 år (2003-2021/2022), er der færre søer, hvor indholdet af totalkvælstof har ændret sig signifikant; i fem søer har der været et reduceret sommer- og årgennemsnit, mens årgennemsnittet i to søer er steget. I de seneste 12 år (2011-2021/2022) er der på årsbasis sket ændringer i fire søer; i én sø er totalkvælstofkoncentrationen steget, mens den er faldet i tre søer. For sommergennemsnittet er koncentrationen øget i fem søer og reduceret i to. Indholdet af kvælstof afspejler således en udvikling parallel til indholdet af fosfor, hvor de største ændringer skete i den første del af overvågningsperioden. Bemærk, at den statistiske test, ud over det normalt anvendte signifikansniveau på 5 % eller derunder, også er vurderet med et signifikansniveau på 10 %.

**Tabel 2.7.** Udviklingen i indholdet af totalkvælstof i hele perioden 1989 til 2021/2022 i de seneste 20 år (2003-2021/2022) og de seneste 12 år (2011-2021/2022) i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Søer markeret med -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. \*\* betyder, at der ikke er tilstrækkeligt datagrundlag (<8 år) til en statistisk vurdering.

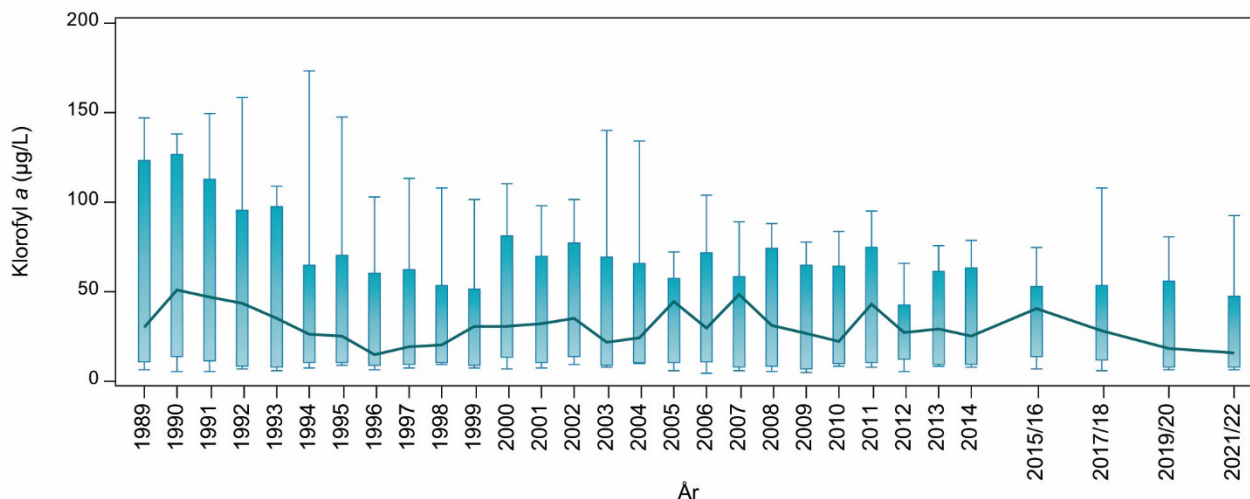
Totalkvælstof	Årsgennemsnit			Sommergennemsnit		
	1989-	2003-	2011-	1989-	2003-	2011-
	2021/22	2021/22	2021/22	2021/22	2021/22	2021/22
Nors Sø	----	--	--	----	---	--
Ulvedybdet Nord	0	0	0	0	0	0
Hornum Sø	0	0	**	0	0	0
Tranemose	0	0	0	0	0	0
Hinge Sø	----	----	---	----	--	0
Ravn Sø	----	-	0	----	--	0
Bryrup Langsø	----	0	0	---	0	++
Søby Sø	--	0	0	--	-	0
Kvie Sø	0	+	0	0	0	+++
Engelsholm Sø	---	++	0	---	0	0
Store Søgård Sø	----	--	0	----	0	0
Arreskov Sø	--	-	0	--	-	0
Søholm Sø	0	0	0	0	0	0
Keldsnor	++	0	+++	++	0	+++
Arresø	----	0	0	---	0	+
Furesøen	---	0	+	0	0	++
Maglesø	-	0	--	--	0	--
Vesterborg Sø	0	0	0	0	0	0
I alt 0	6	11	11	7	13	11
I alt +/++/+++/++++	1	2	2	1	0	5
I alt -/--/---/----	11	5	3	10	5	2



**Figur 2.5.** Udvikling i sommergennemsnitskoncentrationen af totalkvælstof (mg Total-N/L) og nitrit+nitrat ( mg NO<sub>3</sub>-N/L) i hver af de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Stiplede linjer viser perioder med afbrudt dataserie. Bemærk forskellige skalaer på akserne.

## Klorofyl *a*

Klorofyl *a* er det grønne pigment i fotosyntetiserende højere planter og alger, og det kan bruges som et udtryk for algemængden i vandet samt et mål for vandkvaliteten. Højt indhold af klorofyl *a* fører til uklart vand. Klorofylindholdet i de forskellige algearter varierer, ligesom det kan variere med årstiden i den enkelte art.



**Figur 2.6.** Udviklingen i sommergennemsnit for søkoncentrationen af klorofyl *a* ( $\mu\text{g/L}$ ) i de 15 KU-søer, der har været overvåget siden 1989. Hver box med whiskers viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne. Fra og med 2015 er hver sø undersøgt hvert andet år, og resultaterne fra hver af perioderne 2015-2016, 2017-2018, 2019-2020 og 2021-2022 er derfor slået sammen.

Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2021/2022 af klorofyl *a* i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, ses i figur 2.6. Resultaterne for de enkelte søer ses i figur 2.7 og tabel 2.9.

Sommermedianværdierne for de 15 søers indhold af klorofyl *a* har varieret en del fra år til år i undersøgelsesperioden, uden at der er nogen klar udviklingstendens for perioden som helhed. Der var et konstant fald fra 1990 til 1996, men siden da har den sommergennemsnitlige medianværdi varieret mellem 20 og 50  $\mu\text{g/L}$ .

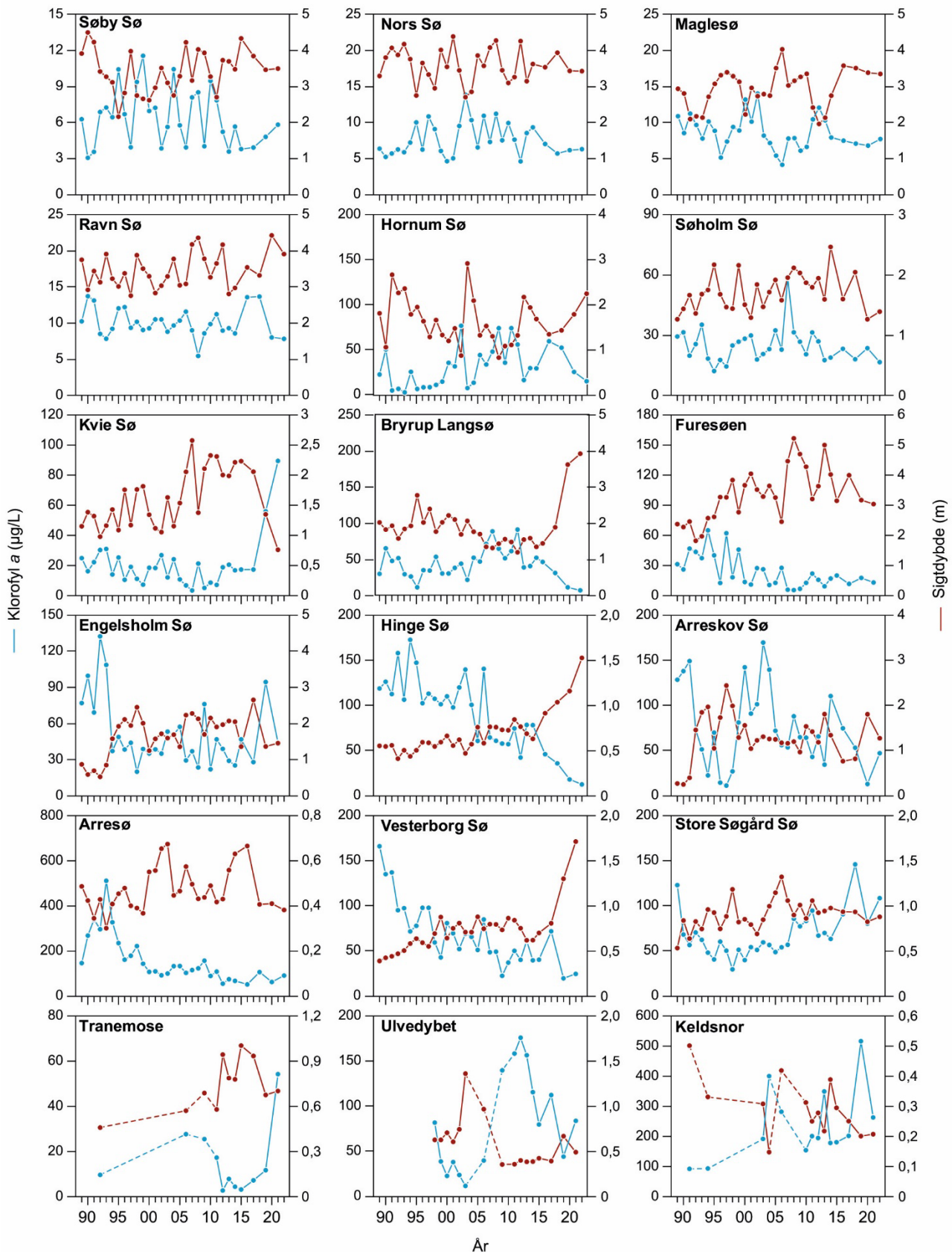
I lighed med ændringerne i næringsstofindholdet er de største reduktioner i klorofylindholdet generelt sket i søerne med de højeste klorofylkoncentrationer. Fra perioden 1989-1993 til 2021/2022 blev værdien af 75 %-fraktilen af klorofyl *a* på årsbasis mere end halveret, idet der skete en reduktion fra 86 til 32  $\mu\text{g/L}$  (tabel 2.8). I samme periode faldt maksimumværdien fra 377  $\mu\text{g/L}$  til 99  $\mu\text{g/L}$ .

**Tabel 2.8.** Søkoncentrationen af klorofyl *a* angivet som årsgennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-6-årsperioder og 2021/2022 i de 15 KU-søer, som har været overvåget siden 1989. Data er baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

<b>Klorofyl <i>a</i></b>	<b>Gns.</b>	<b>Median</b>	<b>Min.</b>	<b>25%</b>	<b>75 %</b>	<b>Maks.</b>
<b>Årsværdier (µg/L)</b>						
1989-1993	61,2	31,1	6,7	10,7	86,0	377,0
1994-1998	43,3	22,5	7,8	10,2	31,0	292,7
1999-2003	33,3	21,6	7,7	10,6	46,1	112,1
2004-2008	31,9	26,1	7,3	9,8	43,9	101,4
2009-2014	26,6	25,3	6,6	8,9	37,8	80,3
2015-2020	27,6	21,8	6,2	8,7	36,0	82,9
2021-2022	27,9	13,2	5,4	6,1	32,1	99,1
<b>Sommerværdier (µg/L)</b>						
1989-1993	68,7	36,9	5,4	10,7	108,3	313,2
1994-1998	46,8	29,3	7,4	10,6	46,0	225,9
1999-2003	44,4	33,0	7,0	10,9	63,2	117,3
2004-2008	43,3	39,8	6,5	9,3	64,8	122,6
2009-2014	37,3	39,8	6,0	9,4	64,0	93,2
2015-2020	35,7	30,1	4,2	11,7	47,2	105,7
2021-2022	33,3	15,5	5,8	7,7	47,3	108,5

Klorofylkoncentrationen er i perioden 1989-2021/2022 som helhed reduceret signifikant i seks af de 18 søer både som års- og sommergennemsnit (figur 2.7, tabel 2.9). Klorofylkoncentrationen er øget i tre søer både som årsgennemsnit og sommergennemsnit. I mange af de 18 søer har der gennem perioden været tale om betydelige ændringer i indholdet af klorofyl *a* (se f.eks. tabel 2.9). Som for næringsstofferne fosfor og kvælstof ses ændringerne i klorofylkoncentrationen primært i den første del af den totale undersøgelsesperiode. Hvis der alene ses på den seneste 12-års periode (2011-2021/2022), er der kun sket en signifikant reduktion af sommergennemsnittet i tre søer og en reduktion i to søer, hvis der ses på årsgennemsnittet. I samme periode er der sket en forøgelse i én sø, hvis der ses på sommergennemsnittet, men ikke nogen, hvis der ses på årsgennemsnittet. Bemærk, at den statistiske test, ud over det normalt anvendte signifikansniveau på 5 % eller derunder, også er vurderet med et signifikansniveau på 10 %.





**Figur 2.7.** Udvikling i sommergennemsnitskoncentrationen af klorofyl a ( $\mu\text{g/L}$ ) og sigtdybde (m) i hver af de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Stiplede linjer viser perioder med afbrudt dataserie. Bemærk forskellige skalaer på akserne.

**Table 2.9.** Udviklingen i indholdet af klorofyl a og sigtddybe i hele perioden 1989-2021/2022, i de seneste 20 år (2003-2021/2022) og de seneste 12 år (2011-2021/2022) i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Søer markeret med -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. \*\* betyder, at der ikke er tilstrækkeligt datagrundlag (<8 år) til en statistisk vurdering.

Årsgennemsnit						
	Klorofyl a			Sigtddybe		
	1989- 2021/22	2003- 2021/22	2011- 2021/22	1989- 2021/22	2003- 2021/22	2011- 2021/22
Nors Sø	0	--	0	0	0	0
Ulvedybet Nord	0	0	0	--	0	0
Hornum Sø	++	0	**	0	0	**
Tranemose	0	0	0	0	0	0
Hinge Sø	----	---	--	++++	++++	++
Ravn Sø	0	0	0	+++	0	0
Bryrup Langsø	0	--	---	0	+	+++
Søby Sø	-	0	0	++	0	0
Kvie Sø	0	+++	0	++++	0	0
Engelsholm Sø	--	0	0	+	0	0
Store Søgård Sø	+++	+++	0	++	0	0
Arreskov Sø	0	--	0	0	0	0
Søholm Sø	0	---	0	0	0	0
Keldsnor	+	0	0	0	0	0
Arresø	----	--	0	++++	0	**
Furesøen	---	0	0	+++	0	0
Maglesø	0	++	0	0	0	**
Vesterborg Sø	----	0	0	+++	0	0
I alt 0	9	9	15	8	16	13
I alt +/+/+/+/+	3	3	0	9	2	2
I alt -/-/-/-	6	6	2	1	0	0
Sommergennemsnit						
	Klorofyl a			Sigtddybe		
	1989- 2021/22	2003- 2021/22	2011- 2021/22	1989- 2021/22	2003- 2021/22	2011- 2021/22
Nors Sø	0	--	0	0	0	0
Ulvedybet Nord	0	0	--	0	0	++
Hornum Sø	+++	0	0	0	0	0
Tranemose	0	0	0	0	0	0
Hinge Sø	----	---	--	++++	+++	++
Ravn Sø	0	0	0	0	0	0
Bryrup Langsø	0	-	--	-	0	++
Søby Sø	0	0	0	0	0	0
Kvie Sø	0	+	++	+++	0	--
Engelsholm Sø	--	0	0	++	0	0
Store Søgård Sø	+++	+++	0	++	-	0
Arreskov Sø	0	--	0	0	0	0
Søholm Sø	0	-	0	0	0	0
Keldsnor	+	0	0	--	0	0
Arresø	----	--	0	0	-	0
Furesøen	---	0	0	+++	0	0
Maglesø	-	0	0	+	0	0
Vesterborg Sø	----	-	0	++++	0	0
I alt 0	9	9	14	9	15	14
I alt +/+/+/+/+	3	2	1	7	1	3
I alt -/-/-/-	6	7	3	2	2	1

## Sigtdybde

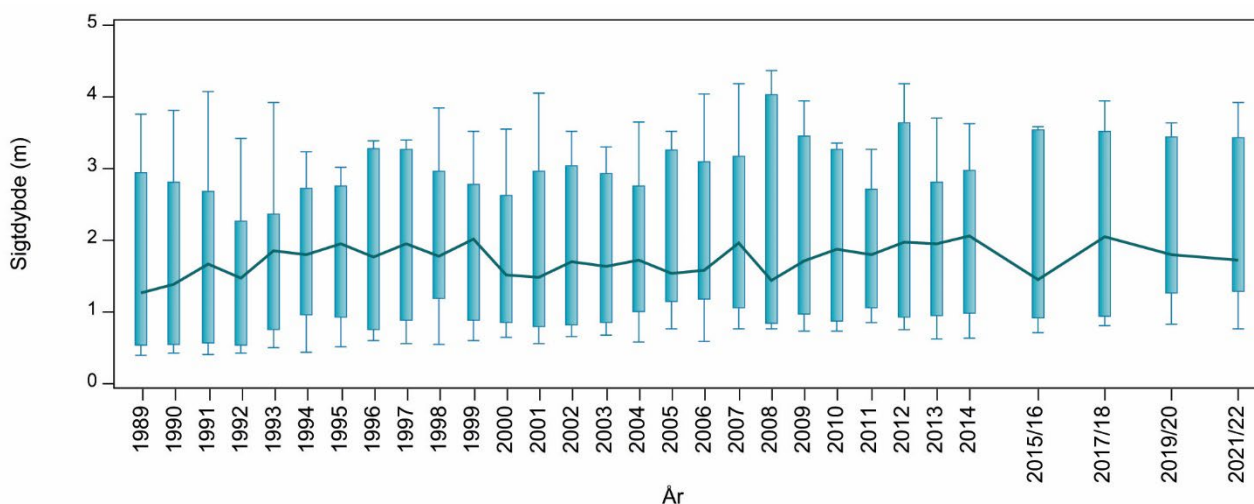
Sigtdybden er et udtryk for vandets klarhed eller gennemsigtighed, dvs. sigtdybden er afgørende for lysets evne til at trænge ned i søvandet og dermed f.eks. af betydning for, hvor dybt egentlige undervandsplanter vil være i stand til at vokse. Sigtdybden er derfor også en væsentlig parameter i vurderingen af undervandsplanternes potentielle udbredelsesområde.

I de fleste søer er sigtdybden tæt koblet til mængden af alger og dermed til indholdet af klorofyl *a*. Vandets farve (f.eks. brunvandede søer) eller resuspenderet materiale fra søbunden i lavvandede søer kan dog også påvirke sigtdybden negativt. Derfor vil de brunvandede og de lavvandede søtyper alt andet lige have en lavere sigtdybde end de ikke-brunvandede og de dybere søer.

Sommersigtdybden i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, har overordnet vist en stigende tendens siden 1989 (figur 2.8). De største ændringer skete i løbet af 1990'erne, hvor medianværdien blev øget fra omkring 1,3 m til 1,9 m (sommerværdier). Siden da har medianværdien varieret en del fra år til år, uden at der har været nogen klar udviklingstendens. I den seneste 10-års periode har medianværdien svinget mellem 1,4 og 1,9 m.

Udviklingen i sigtdybden i de enkelte søer har generelt været uændret eller udvist en stigende tendens (figur 2.7, tabel 2.9). For sommergennemsnittet har der været en signifikant positiv udvikling i syv ud af de 15 søer, mens der kun har været en signifikant reduceret sigtdybde for perioden 1989-2021/2022 i to søer. For årgennemsnittet er der i den samme periode ni søer, hvori sigtdybden er øget signifikant, og én, hvori den er reduceret. I den seneste 12-års periode (2011-2021/2022) er sigtdybden øget i to søer som årgennemsnit og i tre søer som sommergennemsnit. Kun i én sø er der som sommergennemsnit sket en reduktion. Bemærk, at den statistiske test, ud over det normalt anvendte signifikansniveau på 5 % eller derunder, også er vurderet med et signifikansniveau på 10 %.

Set som årgennemsnit er sigtdybden i de 15 søer, der er undersøgt siden 1989, som medianværdi reduceret fra 1,98 m i perioden 1989-1993 til 1,75 m i 2021/2022 (tabel 2.10). Sommergennemsnittet er i samme periode øget fra 1,48 til 1,71 m. Sommerværdierne ligger generelt lavere end årsværdierne, fordi mængden af alger generelt er højere om sommeren. Den største ændring i sommergennemsnittet er sket i 75 %-kvartilen, hvor værdien er øget fra 2,43 til 3,42 m, mens 25 %-kvartilen er øget fra 0,71 til 1,28 m.



**Figur 2.8.** Udviklingen i sommersigt dybden i de 15 KU-søer, der har været overvåget siden 1989. Hver box med whiskers viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne. Fra og med 2015 er hver sø undersøgt hvert andet år, hvorfor resultaterne fra hver af perioderne 2015-2016, 2017-2018, 2019-2020 og 2021-2022 er slået sammen.

**Tabel 2.10.** Sigt dybden angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for 5-6-årsperioder samt 2021/2022 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Data er baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

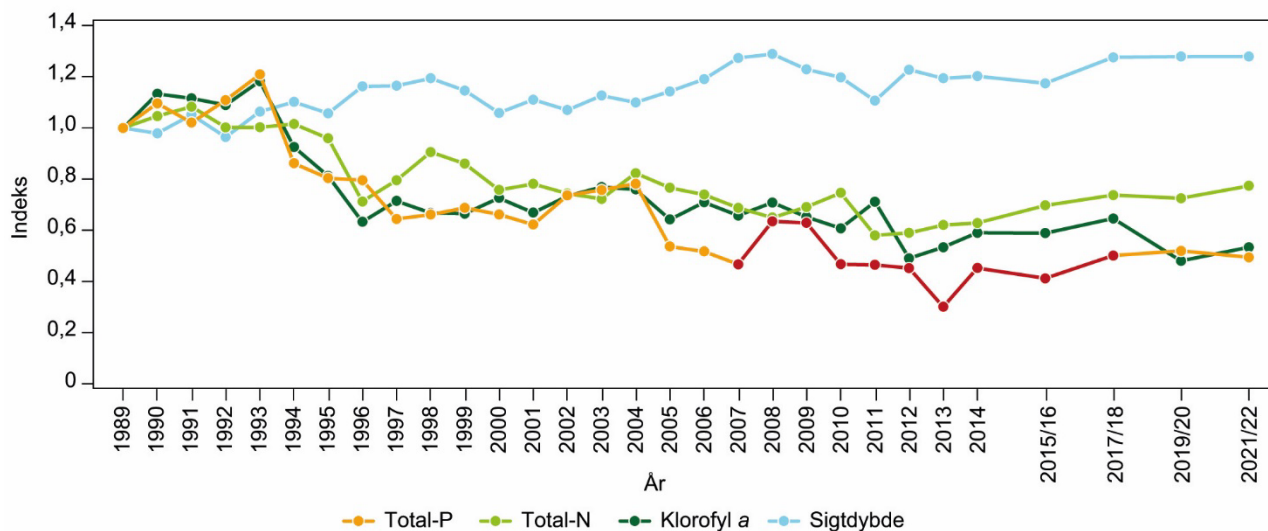
Sigt dybde	Gns.	Median	Min.	25 %	75 %	Maks.
<b>Årsværdier (m)</b>						
1989-1993	1,90	1,98	0,37	0,85	3,36	3,63
1994-1998	2,14	2,13	0,41	0,98	3,16	3,87
1999-2003	2,13	2,00	0,60	1,13	3,15	4,04
2004-2008	2,30	1,87	0,54	1,13	3,64	4,85
2009-2014	2,31	2,05	0,62	1,07	3,65	4,87
2015-2020	2,30	2,06	0,61	1,26	3,57	4,13
2021-2022	2,32	1,75	0,56	1,49	3,54	3,95
<b>Sommerværdier (m)</b>						
1989-1993	1,73	1,48	0,40	0,71	2,43	3,86
1994-1998	1,94	1,84	0,43	0,94	3,11	3,29
1999-2003	1,88	1,63	0,56	0,80	2,97	3,62
2004-2008	2,05	1,74	0,48	1,08	3,49	3,80
2009-2014	2,04	1,95	0,49	0,96	3,44	4,14
2015-2020	2,12	1,80	0,49	1,04	3,49	3,88
2021-2022	2,18	1,71	0,38	1,28	3,42	3,92

### Den relative udvikling i vandkemi og sigt dybde

Den relative udvikling i KU-søernes gennemsnitlige vandkemiske forhold og sigt dybden set i forhold til det første måleår i 1989 og i forhold til hinanden er vist i figur 2.9. Figuren illustrerer, hvordan "næringsstofparametrene" totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl *a* overordnet og som gennemsnit følger samme mønster gennem hele overvågningsperioden. Dette understreger koblingen mellem næringsstofindhold og søernes indhold af klorofyl *a*.

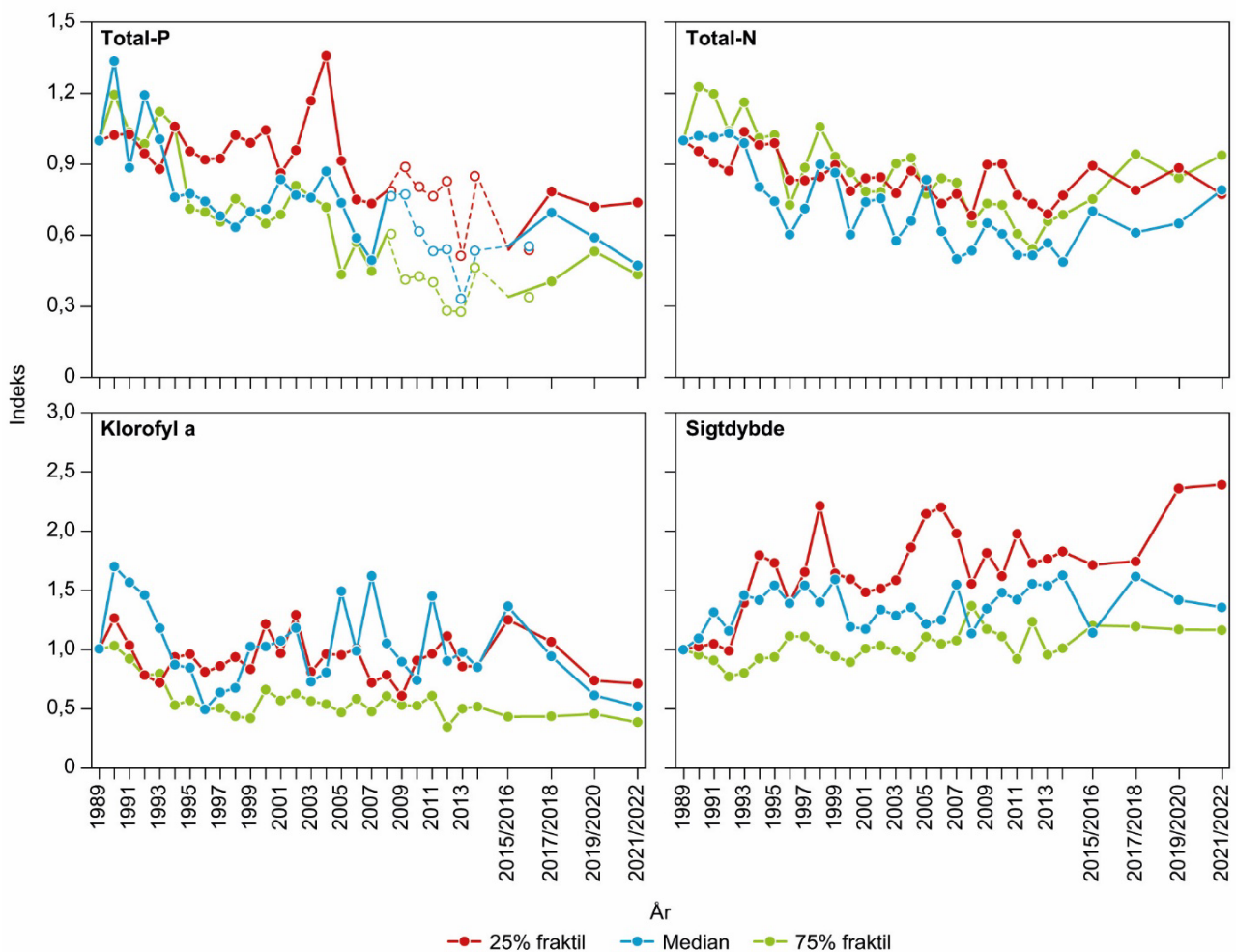
Sigt dybden i de sidste tre toårsperioder har som indekssværdi været uændret og er set i forhold til 1989 øget med næsten 30 %. Indholdet af totalfosfor og klorofyl *a* er reduceret til omkring eller lidt over halvdelen af værdierne i 1989. Totalkvælstofkoncentrationen er kun reduceret med godt 20 % i forhold til 1989 og noget mindre end i 2011-2012, hvor reduktionen var omkring 40 %. Indekssværdien for sigt dybden er øget jævnt over hele måleperioden, mens

den største reduktion i indhold af næringsstoffer og klorofyl *a* fandt sted i midten af 1990'erne, men også herefter har de gennemsnitlige værdier gennemgående vist en positiv, dvs. faldende, tendens frem til omkring 2010.



**Figur 2.9.** Udviklingen i søkoncentrationerne (gennemsnit for søerne baseret på sommergennemsnit i den enkelte sø) af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* og sigtdybde i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling, og som har været fulgt siden 1989. Udviklingen er vist som et indeks, hvor 1989 for alle fire parametre er sat til 1. Den røde del af grafen for totalfosfor indikerer perioden med fejlbehæftede analyseresultater, se afsnit 1.4.

De tre kvartilers relative udvikling (første, anden og tredje kvartil, svarende til 25 %-, 50 %- (median) og 75 %-fraktilen) i resultater for vandkemi og sigtdybde i den samme periode er vist i figur 2.10. Ved at vurdere udviklingen i kvartiler frem for de gennemsnitlige målinger er det lettere at se, hvordan søer med forskelligt næringsstofniveau har ændret sig mest og hvornår. Næringsstofindholdet ses således at være mindsket nogenlunde jævnt over hele perioden for alle tre kvartiler, men også her ses en tendens til øget indhold af totalkvælstof i de seneste 10 år. For klorofylindholdet har der især været ændringer i tredje kvartil (75 %-fraktilen), der er ca. halveret, men kun små ændringer i medianværdi og første kvartil (25 %-fraktil) i forhold til udgangspunktet i 1989. Dette peger på, at klorofylindholdet især er mindsket i søerne med højt indhold af klorofyl *a*, hvorimod søerne med lavere indhold af klorofyl *a* i 1989 ikke har ændret sig meget set over perioden som helhed. Ændringen i første kvartils indhold af klorofyl *a* skete især i den første halvdel af 1990'erne.



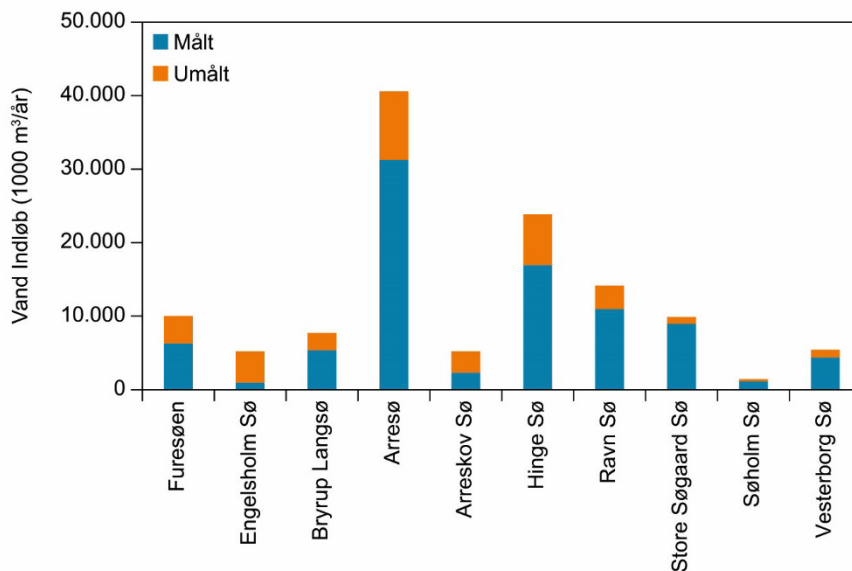
**Figur 2.10.** Udviklingen vist som 25 %-fraktile, median og 75 %-fraktile i søkoncentrationen (baseret på sommergennemsnit i den enkelte sø) af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl a og sigt dybde i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, og som har været fulgt siden 1989. Udviklingen er vist som et indeks, hvor 1989 for alle fire parametre er sat til 1. Den stiplede del af grafen for totalfosfor indikerer perioden med fejlbehæftede analyseresultater, se afsnit 1.4.

### 2.3 Massebalancer i 10 KU-søer

Af de 18 søer, som indgår i kontrolovervågningen, er der opstillet og præsenteret næringsstofbalancer for 10 søer i perioden 1990-2021. Disse 10 søer er udvalgt blandt KU-søerne, fordi de har de mest fuldstændige og mest sikre data, især hvad angår til- og fraførsel af vand (se Bjerring m.fl. 2014). Selve opgørelsesmetoden følger beskrivelsen i Sørensen og Nielsen (2023). Metoden er opsummeret i bilag 2 og vil desuden blive beskrevet i et dansksproget notat, der forventes at udkomme primo 2024 (Sørensen (2024)).

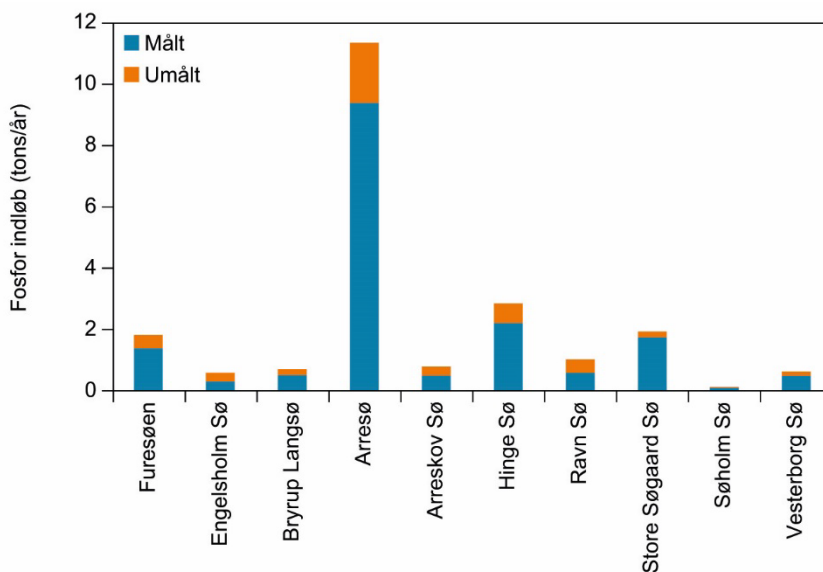
Massebalancen er baseret på målt vand og et estimeret umålt vandvolumen. Det umålte vandvolumen beregnes for hver måned og er fordelt på baseflow og overfladenært flow. Det årlige gennemsnitlige prædikerede middelvolumen umålt vand over perioden 1990-2021 er vist i figur 2.11, sammen med det tilsvarende målte volumen. Søerne med den største andel umålt vand vil naturligvis være de søer, hvor forudsætningerne bag opgørelsen er mest kritiske, hvilket vil sige Engelsholm Sø og Arreskov Sø. Engelsholm Sø er karakteristisk ved, at der er en stor tilstrømning af grundvand direkte ind gennem søbunden, hvilket betyder, at der altid vil være en stor del umålt vand for denne sø. For Arreskov Sø stammer det umålte vand derimod i høj grad fra umålte tilløb.

**Figur 2.11.** Målt og umålt årlig tilført vandvolumen i indløb som middel over perioden 1990-2021.



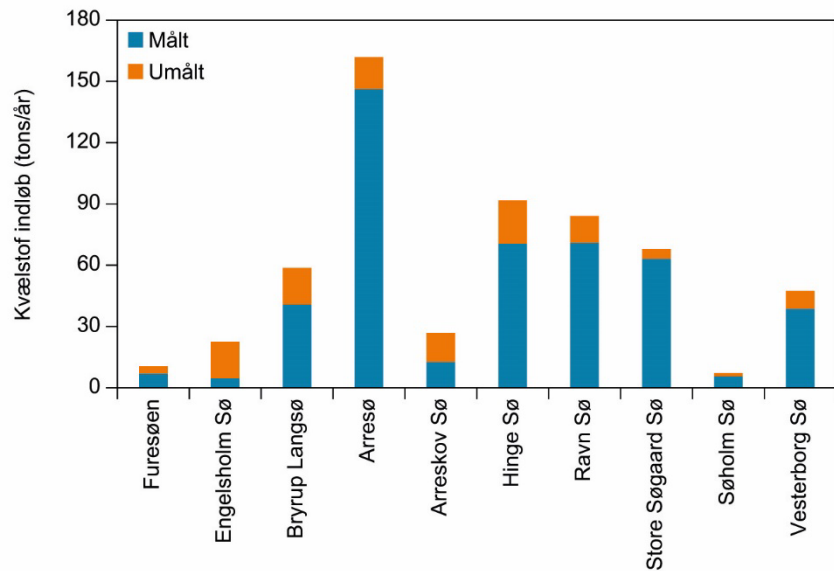
På figur 2.12 ses målt og umålt masse af tilført fosfor. Det ses, at søerne Engelsholm Sø og Arreskov Sø ikke fremstår med den samme store andel umålt fosfor, som er gældende for vandvolumen i figur 2.11. Denne forskel skyldes, at modellen for disse søer tildeler en lavere fosforkoncentration til umålt vand sammenlignet med målt vand. Årsagen hertil skal f.eks. findes i, at modellen estimerer en lavere koncentration i grundvand end i overfladevand.

**Figur 2.12.** Målt og umålt tilført fosfor i indløb som årlig middelmasse over perioden 1990-2021.



I figur 2.13 ses målt og umålt masse af tilført kvælstof. Her ses en tæt sammenhæng mellem umålt vand (figur 2.11) og umålt kvælstof.

**Figur 2.13** Målt og umålt tilført kvælstof i indløb som årlig middelmasse over perioden 1990-2021.



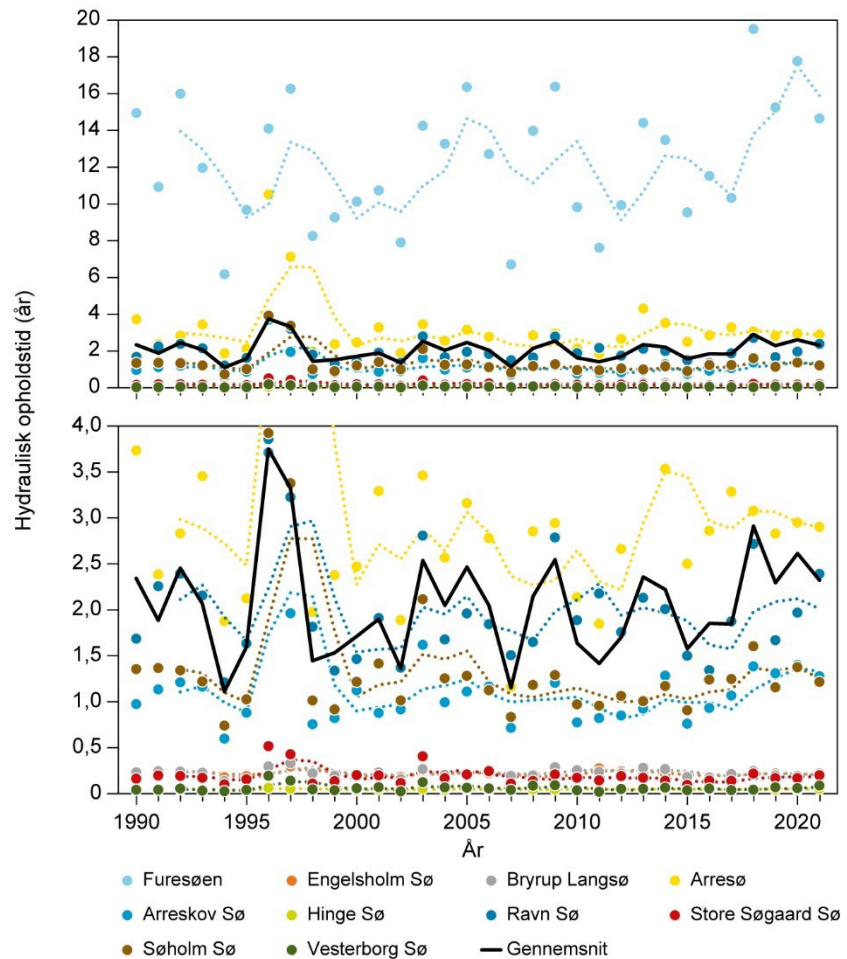
### Vandbalancer

Generelt varierer vandtilførslen betydeligt fra år til år. Det er markant, at tørre år som f.eks. 1996 og 1997 giver anledning til en lavere afstrømning og betydeligt længere hydraulisk opholdstid (også blot kaldt opholdstid) i søerne (figur 2.14). Senest gav den tørre sommer i 2018 også lidt længere opholdstid for nogle af søerne. Ved brug af modellen konkluderes det, at ingen af de 10 søer har en væsentlig udsivning fra søbunden.

Der er stor variation i både den estimerede opholdstid og vandtilførsel, og der ses ingen generel tidslig udvikling (figur 2.14). I figur 2.14 ses en stor variation i hydraulisk opholdstid med et maksimum på 19,5 år for Furesøen og et minimum på 0,05 år for Hinge Sø.

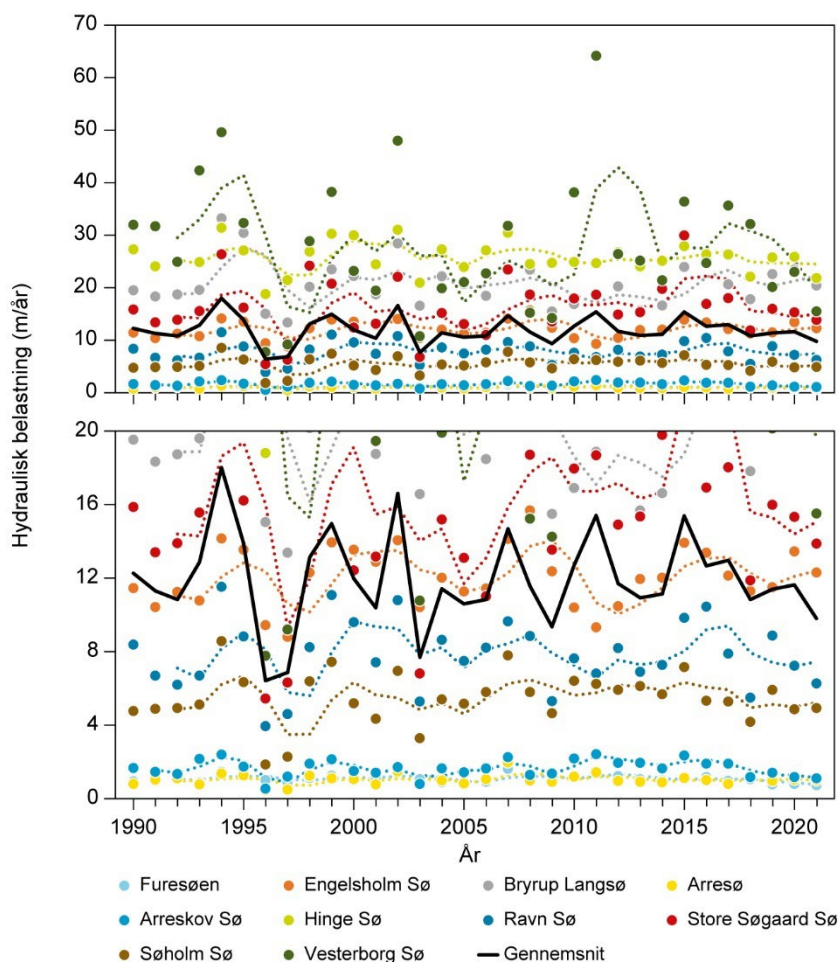


**Figur 2.14.** Vandets opholdstid (år) for de 10 KU-søer med vand- og næringsstofbalancer for perioden 1990-2021 for alle søer (øverst) samt et udsnit af søerne med opholdstider generelt under fire år (nederst). Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud. Den sorte kurve viser gennemsnittet for de 10 søer.



Søerne med lang opholdstid i figur 2.14 viser tendens til lille hydraulisk belastning (figur 2.15). Set over hele perioden er den hydrauliske belastning således mindst for Arresø med 0,45 m og størst for Vesterborg Sø med 64 m. Forskel i resultaterne mellem søerne skyldes både forskelle i vandtilførslen, men også i søens areal, da den hydrauliske belastning er beregnet som den totale tilførte vandmængde pr. år i m<sup>3</sup> divideret med søens overfladeareal i m<sup>2</sup>.

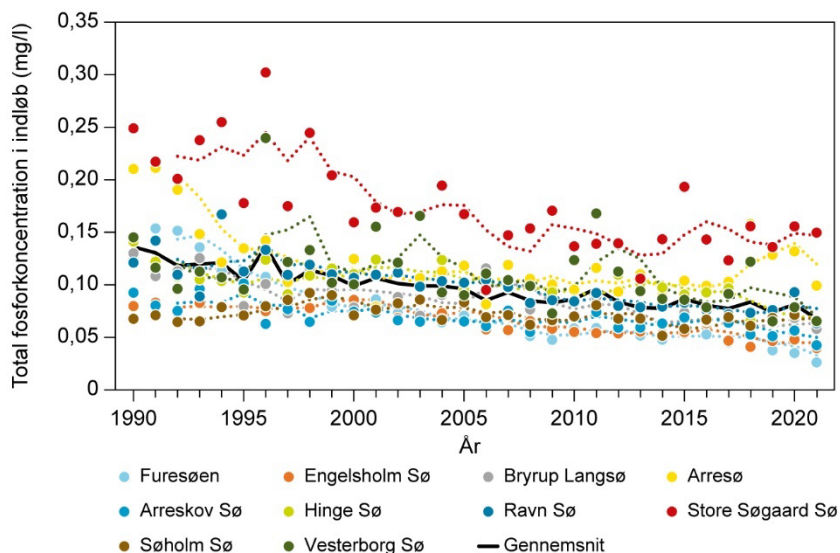
**Figur 2.15.** Hydraulisk belastning (m/år) for de 10 KU-søer enkeltvis vist for alle søer (øverst) samt et udsnit med de seks søer med mindre belastninger (nederst). Den hydrauliske belastning er beregnet som den totale tilførte vandmængde pr. år i m<sup>3</sup> divideret med søens overfladeareal i m<sup>2</sup>. Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud. Den sorte kurve svarer til gennemsnittet for de 10 søer.



### Fosforbalancer

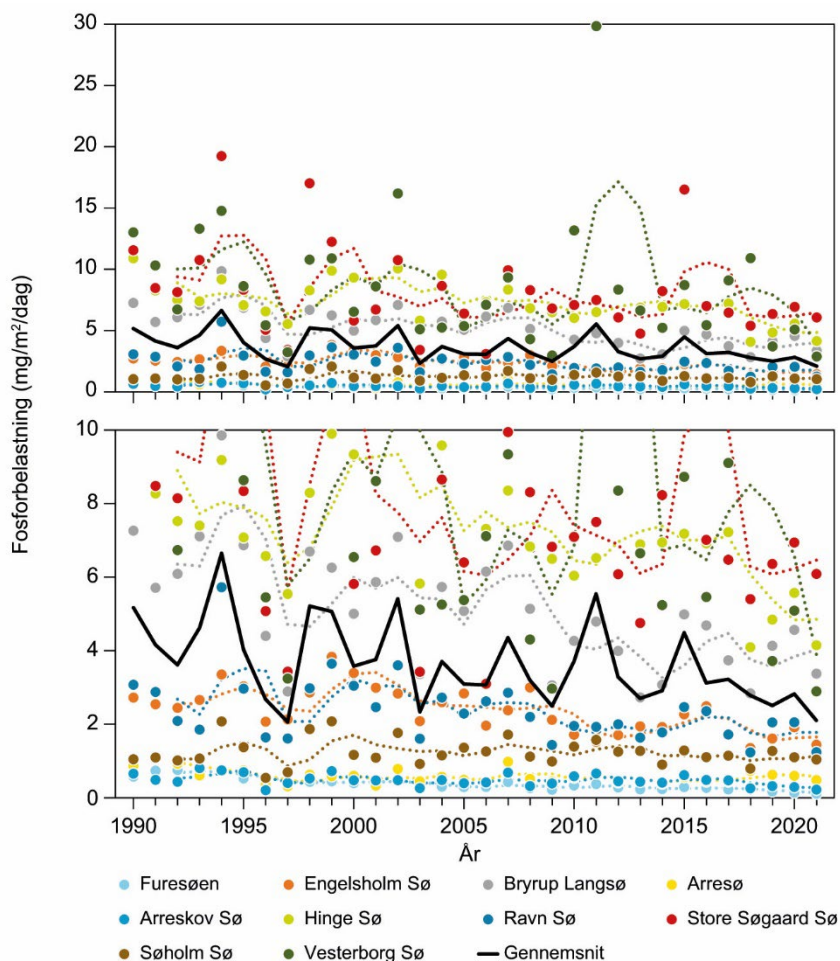
Vandtilførslen påvirker også næringsstofftilførslen. Uanset dette har tilførslen af fosfor generelt været faldende gennem perioden (figur 2.16). Den gennemsnitlige vandføringsvægtede fosforkoncentration i det vand, der strømmer til søerne, er halveret gennem perioden 1990-2021 fra ca. 0,14 mg/L til 0,07 mg/L (figur 2.16). Dette fald tilskrives den øgede grad af spildevandsrensning (figur 2.20). En del søer, der har en høj fosforkoncentration i indløbet, f.eks. Store Søgaard Sø, har mindre søer opstrøms indløbet. Især disse søer kan være belastet med en intern fosforpulje, der er udledt – også i årene før 1990.

**Figur 2.16.** Fosforkoncentrationen i indløb. Kurver er gennemsnit for de 10 søer. Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud. Den sorte kurve svarer til gennemsnittet for de 10 søer.



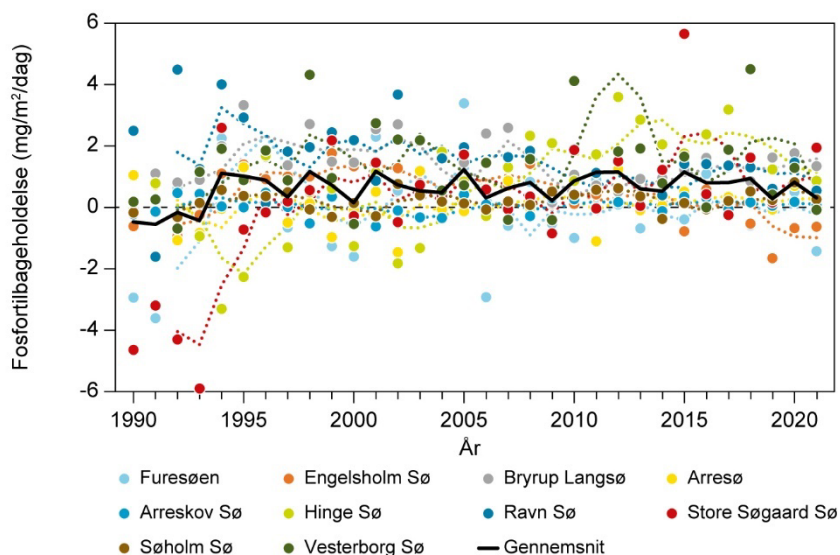
Indløbskoncentrationen af fosfor giver en belastning af søen, som er fordelt på søens areal for hver sø i figur 2.17. Den store variation kan skyldes forskellig tilførsel, men også i høj grad søernes forskellige areal og volumen. Da vandtilførslen ikke udviser nogen tydelig tidstrend over perioden 1990-2021, har fosforbelastningen tendens til at udvise samme relative fald som indløbskoncentrationen og altså blive mere end halveret fra 5,0 mg/m<sup>2</sup>/dag i 1990 til 2,1 mg/m<sup>2</sup>/dag i 2021. Fosforbelastningen udviser store udsving især for Store Søgaard Sø, hvor store udsving i hydraulisk belastning er sammenfaldende med udsving i fosforkoncentration i indløbet.

**Figur 2.17.** Søernes arealspecifikke belastning af fosfor for alle søer (øverst) samt et udsnit af de mindre belastninger (nederst). Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud. Den sorte kurve svarer til gennemsnittet for de 10 søer.



Fosfortilbageholdelsen pr. areal (figur 2.18, modelberegningen omtales i detaljer nedenfor og i bilag 2) viser, at især Furesøen og Store Søgaard Sø har en negativ fosfortilbageholdelse dvs. en stor intern frigivelse, i starten af perioden. Den ophobede fosforpulje i søerne er en konsekvens af en historisk stor ekstern fosforbelastning. Den gennemsnitlige tilbageholdelse for de 10 søer er relativt stabil efter den første periode med negativ værdi og ligger her i intervallet 0,5-1 mg/(m<sup>2</sup>dag).

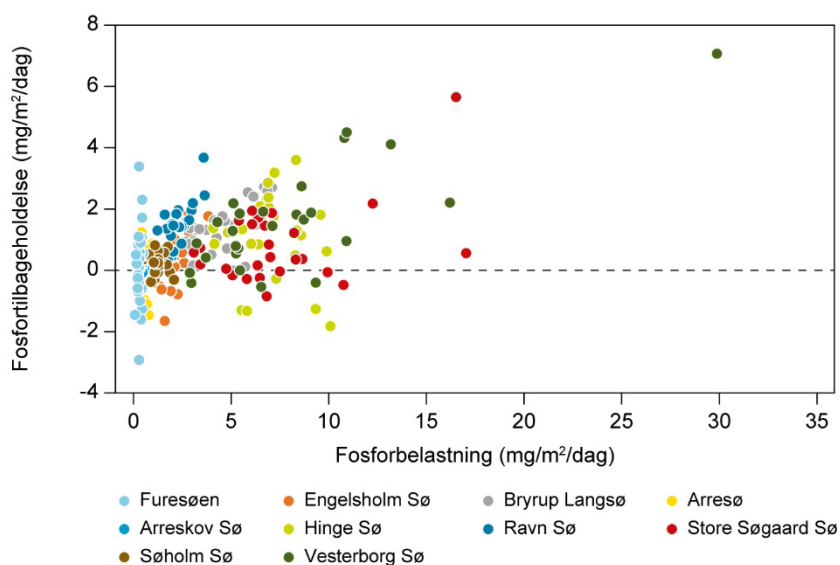
**Figur 2.18.** Søernes tilbageholdelse af fosfor skaleret efter deres areal (arealspecifik). Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud. Den sorte kurve svarer til gennemsnittet for de 10 søer.



Søers tilbageholdelse af fosfor og kvælstof er centrale parametre i forvaltning af søerne. Derfor beskrives modelberegningen af dette i detaljer nedenfor og i bilag 2, hvor der vises eksempler, hvor iboende faktorer i søerne belyses, og hvor der sker en statistisk eliminering af ydre faktorer.

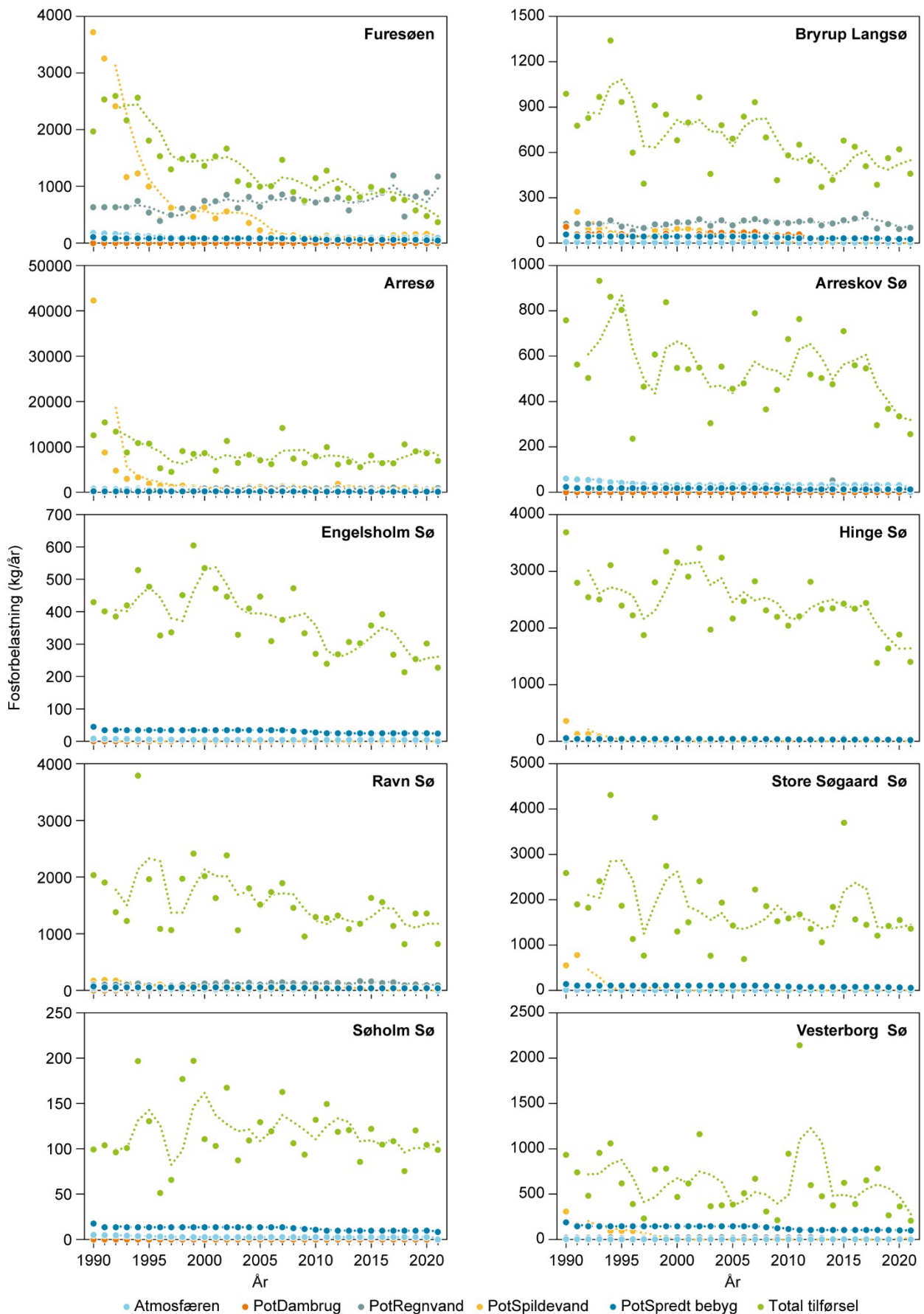
Sammenhængen mellem arealspecifik tilbageholdelse af fosfor og arealspecifik belastning vises i figur 2.19. I denne analyse er de første seks år af tidsserien (1990-1995) taget ud, da nogle søer, jf. ovenstående diskussion, har været påvirket af en stor historisk belastning.

**Figur 2.19.** Areal specifik tilbageholdelse af fosfor vises som funktion af areal specifik belastning af fosfor i perioden 1996-2021. Hvert år er repræsenteret ved et punkt



I figur 2.19 ses der klare forskelle mellem søerne, både i forhold til arealspecifik fosfortilbageholdelse og i nogle søer i forhold til arealspecifik belastning, som i øvrigt begge udviser en stor variation fra år til år. Det er svært at angive årsager til den store variation, både mellem søer og mellem år, alene ved at betragte figur 2.19. Eksempelvis udviser Store Søgaard Sø en tendens til at have større arealspecifik tilbageholdelse end Furesøen, men skyldes denne forskel blot, at den arealspecifikke belastning af Store Søgaard Sø er større end for Furesø, og at de to søer derfor har samme tilbageholdelse, hvor det blot er belastningen, der skaber forskellen? Eller er de to søer reelt forskellige i deres tilbageholdelse? I et forsøg på at besvare sådanne mere specifikke spørgsmål er de viste data i figur 2.19 undersøgt nærmere med en statistisk model (se bilag 2). Analysen fandt for hver sø, at en tilbageholdelse, der regnes for konstant for alle år i den enkelte sø, men forskellig mellem søerne, kunne beskrive ca. 44 % af variationen i tilbageholdelsen i figur 2.19. Dette betyder, at andre forklarende faktorer samlet set har større betydning end en sø-afhængig konstant tilbageholdelse. En forklaring er, at tilbageholdelse ikke kan forudsættes at være konstant mellem årene pga. klimatiske eller økologiske faktorer. Høj temperatur formodes f.eks. at give øget intern fosforfrigivelse, mens lavere temperatur vil øge sandsynligheden for en tilbageholdelse. Som nævnt ovenfor, afhænger tilbageholdelse af vandets opholdstid i søerne, og den beregnede søspecifikke tilbageholdelse som funktion af middellopholdstid (log værdi), vist i bilag 2 (figur B1), viser en klar signifikant ( $Pr < 0,01$ ) sammenhæng mellem voksende tilbageholdelse og voksende opholdstid. Det vil sige, at den forskellige tilbageholdelse fra sø til sø kan forklares med forskelle i de fysiske vilkår pga. forskellig hydraulisk opholdstid.

Det potentielle fosforbidrag fra punktkilder i søernes oplande, søernes atmosfærebidrag samt beregnede totale tilførsel er vist i figur 2.20. Den beregnede, totale tilførsel anvendes til beregning af den arealspecifikke belastning i figur 2.17. Hvis der ses bort fra den historiske belastning af Arresø og Furesø i starten af perioden, så er de potentielle punktkilder beliggende opstrøms søerne små og har derfor lille betydning for søernes belastning.

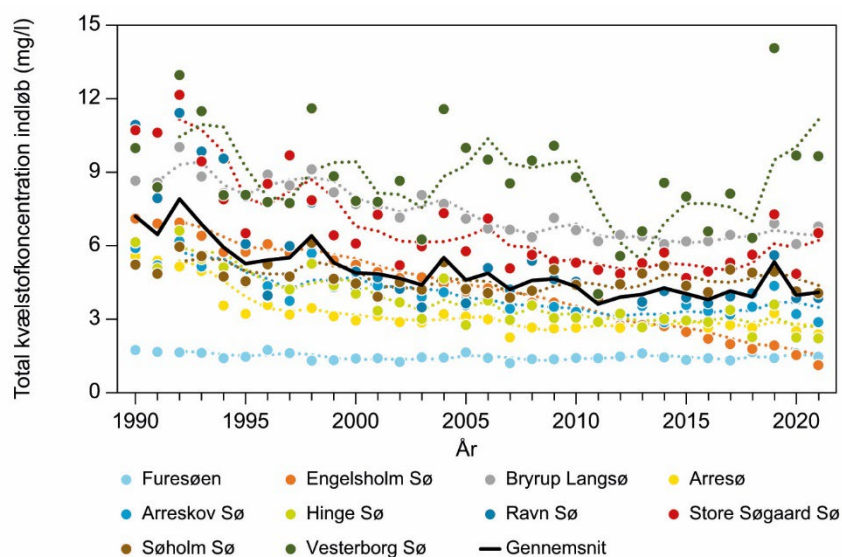


**Figur 2.20.** Den potentielle tilførsel af fosfor fra punktkilderne: dambrug, regnvandsbetingede udløb, spildevand og spredt bebyggelse. Desuden vises søens estimerede totalbelastning med angivelse af atmosfærebidraget til dette. Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud.

## Kvælstofbalancer

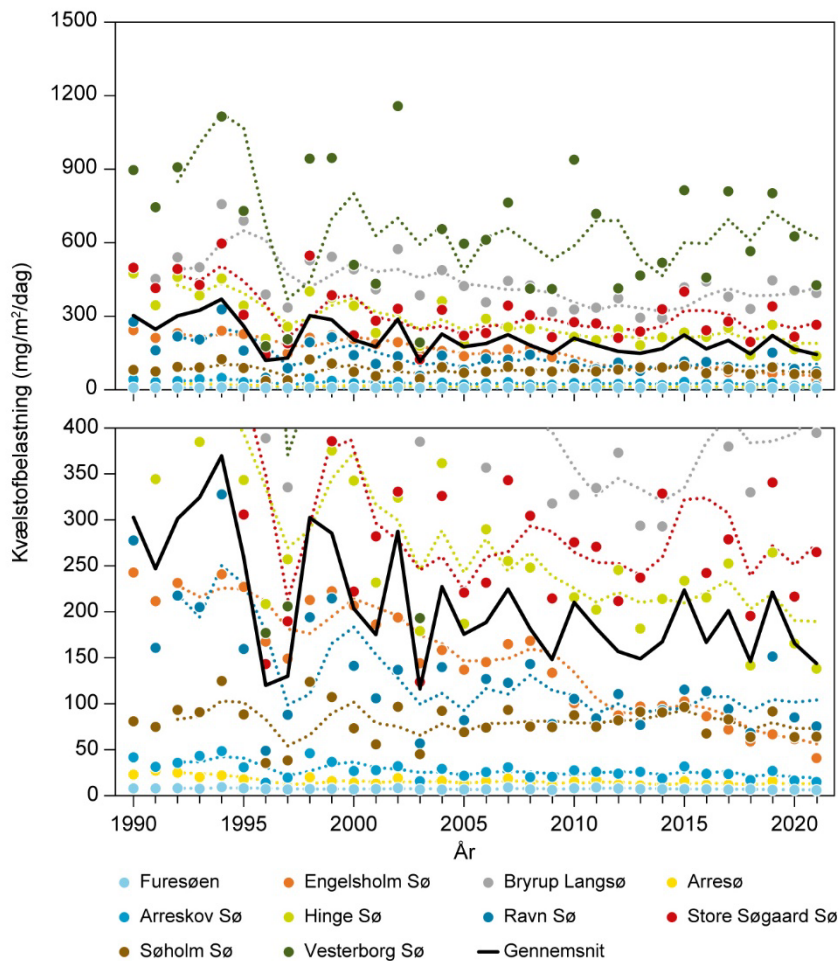
Middelkoncentrationen af kvælstof i det tilstrømmende vand til de 10 KUSøer er faldet fra ca. 7 til 4 mg/L over hele perioden, og faldet synes mest markant først i perioden, se figur 2.21. I de seneste år synes der at være en stigning i koncentrationen for nogle søer, især Vesterborg Sø.

**Figur 2.21.** Kvælstofkoncentrationen i søernes indløb. Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud. Den sorte kurve svarer til gennemsnittet for de 10 søer.

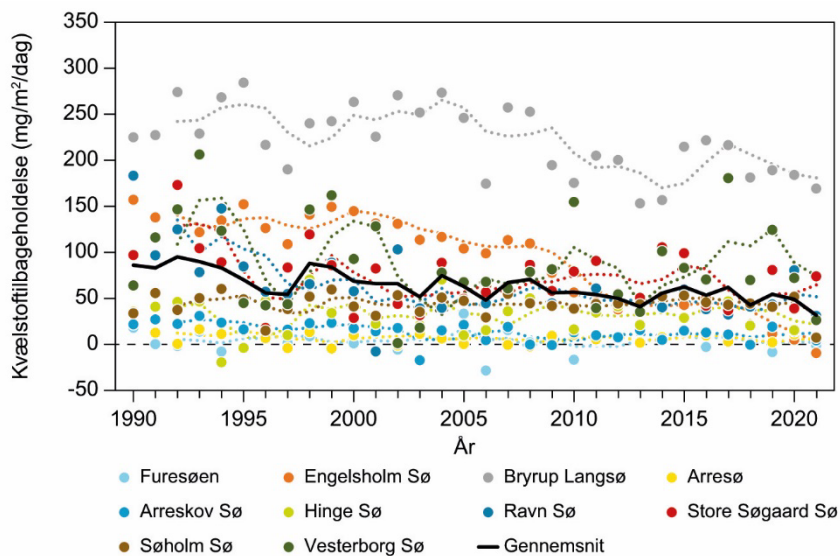


Kvælstofbelastningen vises i figur 2.22. Der ses en meget stor variation, hvor Furesø har den mindste registrerede værdi på 1,9 mg/m<sup>2</sup>/dag, mens den største registrerede værdi er for Vesterborg Sø med 1359 mg/m<sup>2</sup>/dag. Tilførslen af kvælstof til søerne afspejler, i endnu højere grad end fosfor, forskelle i vandafstrømningen fra år til år. De tørre år 1996, 1997 og 2003 udviser således markant lavere værdier i den specifikke tilførsel af kvælstof, mens der generelt har været en faldende tendens siden 1990.

**Figur 2.22.** Søernes arealspecifikke belastning af kvælstof. Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud. Den sorte kurve svarer til gennemsnit for de 10 søer.



**Figur 2.23.** Søernes arealspecifikke tilbageholdelse af kvælstof. Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud. Den sorte kurve svarer til gennemsnittet for de 10 søer.

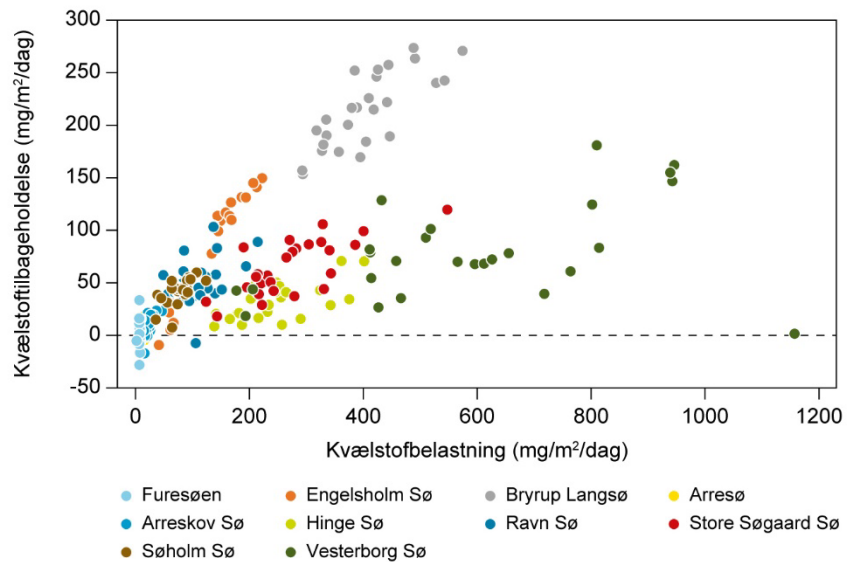


Kvælstoftilbageholdelsen varierer fra år til år. Den arealspecifikke kvælstoftilbageholdelse afspejler den variation, der er i kvælstoftilførslen, hvor der tilbageholdes mindre kvælstof i de år, hvor der også tilføres mindre mængder (figur 2.22 og 2.23), hvilket bl.a. er nedbørsafhængigt.

I figur 2.24 vises den arealspecifikke kvælstoftilbageholdelse som funktion af belastningen for hver sø. Som for fosfor ses en vis sammenhæng med nogen år-til-år-variation, men også mellem søerne.



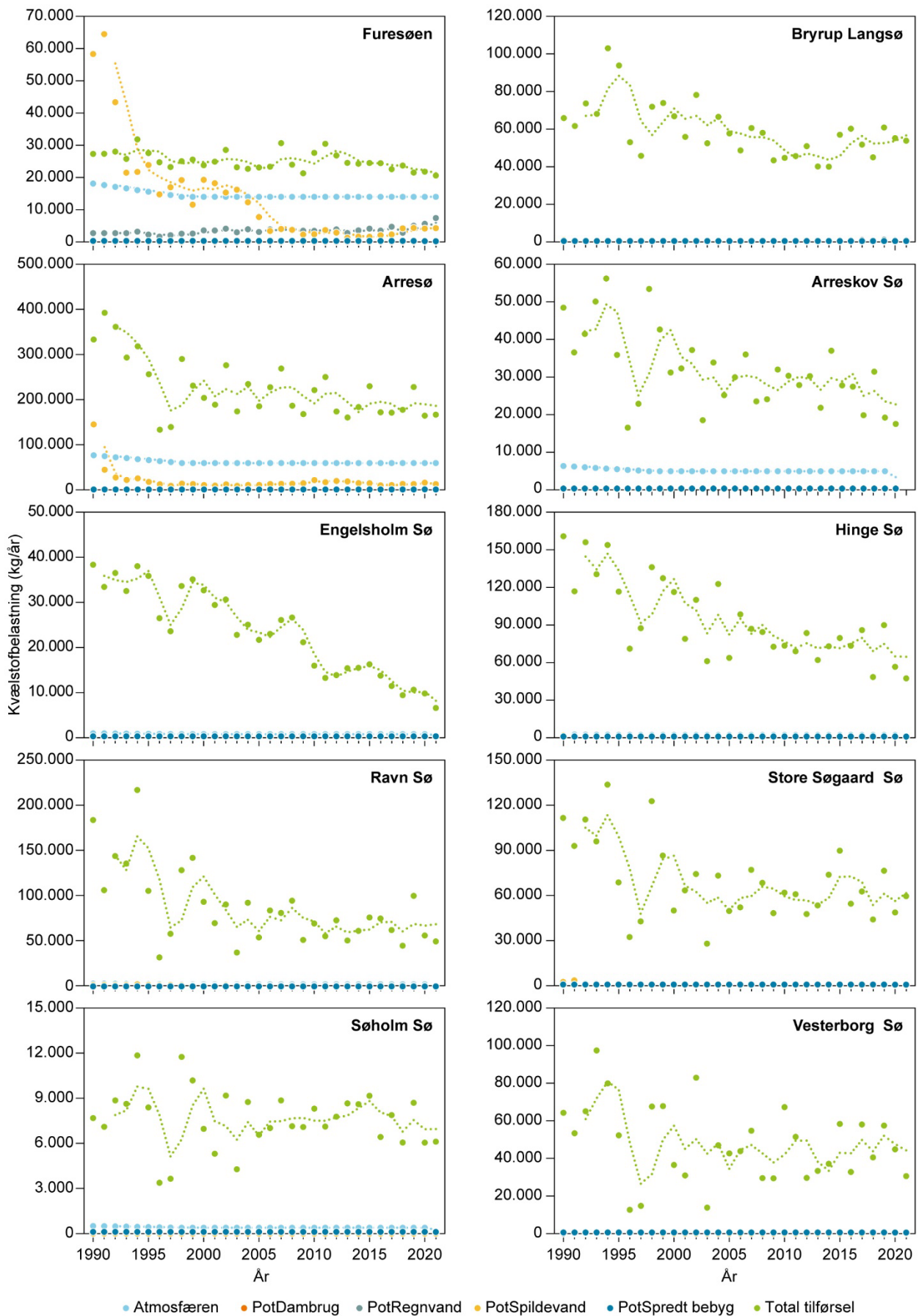
**Figur 2.24.** Arealspecifik tilbageholdelse af kvælstof vises som funktion af arealspecifik belastning af kvælstof.



Den statistiske model, der blev brugt til at analysere fosfortilbageholdelse (med input fra figur 2.19), er også brugt til analyse af kvælstoftilbageholdelse (med input fra figur 2.24).

Der er generelt mindre usikkerhed på estimerne af kvælstoftilbageholdelsen sammenlignet med fosfortilbageholdelsen, og  $R^2$ -værdien på 0,93 (se bilag 2) viser, at modellen, der forudsætter en fast procentvis fjernelse mellem indløb og udløb, er ret effektiv til at forklare variationen, som ses i figur 2.24. At der kan tillægges en fast procentvis fjernelse til hver sø, skyldes forskelle i den hydrauliske opholdstid på samme måde, som det er vist for fosfor. Dog kan de hårdt belastede søer som Engelsholm Sø og Bryrup Langsø afvige fra de andre søer ved at have en kort hydraulisk opholdstid, samtidig med at de har en høj kvælstoftilbageholdelse. Engelsholm Sø er specielt, ved at der er et stort inflow af vand gennem søbunden, hvilket giver en ekstra usikkerhed i beregning af belastningen, da stofkoncentrationen i vandtilførslen gennem søbunden naturligt vil være usikker. For denne sø vil en overestimering af grundvandskoncentrationen i tilført vand betyde en tilsvarende overestimering af tilbageholdelsen.

Det potentielle kvælstofbidrag fra punktkilder i søernes oplande er vist i figur 2.25 sammen med søens atmosfærebidrag samt den beregnede totale belastning, hvor den beregnede totale tilførsel anvendes til beregning af den arealspecifikke belastning i figur 2.22. Hvis der ses bort fra punktkildebelastningen af Furesø i starten af overvågningsperioden, så er belastningen fra punktkilderne generelt så lille, at den kun har mindre betydning for søernes belastning. Det ses endvidere, at atmosfærebidraget er betydeligt til de store søer – Furesøen og Arresø.



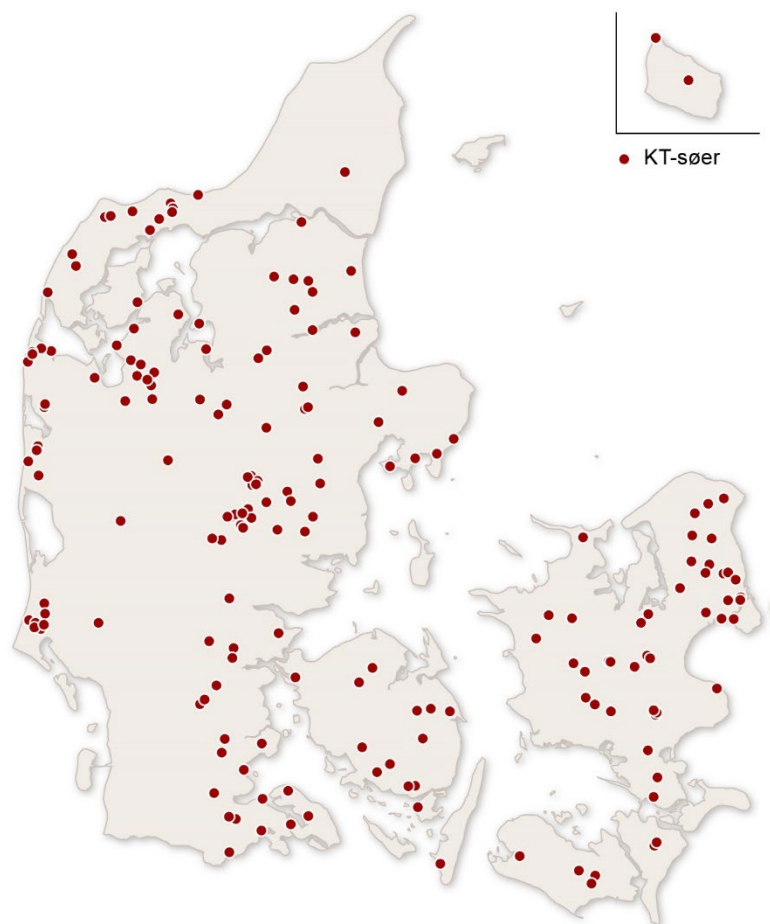
**Figur 2.25.** Den potentielle tilførsel af kvælstof fra punktkilderne: dambrug, regnvandsbetingede udløb, spildevand og spredt bebyggelse. Desuden vises søens estimerede totalbelastning med angivelse af atmosfærebidraget til dette. Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud.

### 3 Kontrolovervågning af søernes tilstand

#### 3.1 Generel karakteristik

Overvågning af de danske søers generelle økologiske og kemiske tilstand omfatter i alt 180 søer (KT-søer) >5 ha, der overvåges over en seksårig periode. Indeværende periode, der beskrives i dette afsnit, omfatter årene 2017-2022. Her gives en overordnet status for alle 180 KT-søer med resultater for udvalgte kemiske og biologiske parametre fra den seneste undersøgelse. Figur 3.1 viser placeringen af de 180 søer. Præsentationen af data omfatter undersøgelser af vandkemi, vandplanter og fisk. Ud over beskrivelsen af resultater opnået i 2017-2022 gives der et overblik over udviklingen i vandkemiske og fysiske nøgleparametre i den del af KT-søerne, for hvilke der findes et tilstrækkeligt datagrundlag. Endvidere er der foretaget en overordnet sammenligning mellem perioderne 2011-2016 og 2017-2022 af kemiske og biologiske nøgleparametre. Det bemærkes, at totalfosforanalyser foretaget i årene fra 2007 til første kvartal 2017 kan være fejlbehæftede, og koncentrationerne kan dermed være underestimerede (se afsnit 1.4.).

**Figur 3.1.** Geografisk placering af de 180 KT-søer.



## 3.2 Generel tilstand

I tabel 3.1 er der givet en samlet oversigt over udvalgte morfometriske, kemiske/fysiske og biologiske parametre for de 180 KT-søer. Søernes areal spænder fra en nedre grænse på 5 ha op til 1730 ha. Størstedelen er lavvandede søer (medianen for middeldybde er 1,6 m og gennemsnittet 2,4 m), men også dybe søer med en maksimumdybde på op til 30,9 m forekommer. De fleste søer er ferske, men blandt KT-søerne findes også brakvandssøer med ledningsevne op til næsten 4.000 mS/m, svarende til en salinitet på knap 20 ‰. Flertallet af søerne har et forholdsvis højt klorofylindhold (median af sommergennemsnit er 36 µg/L) og en relativt lav sigtdybde (median af sommergennemsnit er 1,1 m).

Som gennemsnit har undervandsplanterne en dækningsgrad på 19 % og et plantefyldt volumen på 5 %. Halvdelen af søerne har en dækningsgrad på 9,7 % eller derunder, men det dækker også over data fra søer uden undervandsplanter (dækningsgrad = 0) til søer, hvor søbunden er stort set totalt dækket af planter (dækningsgrad = 87 %) (tabel 3.1). Den gennemsnitlige dybdegrænse for undervandsplanterne er 2,1 m. Det skal bemærkes, at denne dybdegrænse kan være påvirket af søens dybde, dvs. dybdegrænsen er i nogle søer begrænset af søens totaldybde.

**Tabel 3.1.** Oversigt over morfometriske samt vandkemiske og biologiske nøgleparametre (sommerværdier) for samtlige 180 KT-søer i perioden 2017-2022.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Søareal (ha)	96,1	21,8	5	1730	180
Middeldybde (m)	2,4	1,6	0,3	13,7	180
Maksimumdybde (m)	5,3	3,0	0,7	30,9	180
Totalfosfor (mg/L)	0,176	0,089	0,007	1,842	180
Totalkvælstof (mg/L)	1,73	1,42	0,34	5,58	180
Klorofyl <i>a</i> (µg/L)	60	36	1	389	180
Sigtdybde (m)	1,4	1,1	0,2	5,7	180
Alkalinitet (mmol/L)	2,12	2,23	0,003	4,79	180
Farvetal (mg Pt/L)	43	25	1,7	606	180
Konduktivitet (mS/m)	173	39	5	3908	176 <sup>1)</sup>
Undervandsplanter, dækningsgrad (%)	19,1	9,7	0	86,9	180
Undervandsplanter, plantefyldt vol. (%)	5,0	0,9	0	72,4	180
Undervandsplanter, dybdegrænse (m)	2,1	1,6	0	11,1	180
Fisk, CPUE-antal (antal/net)	129	108	0	459	178 <sup>2)</sup>
Fisk, CPUE-vægt (kg/net)	3,5	3,2	0	16,1	178 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> For enkelte søer var datagrundlaget ikke tilstrækkeligt til at beregne statistiske værdier for alle parametre.

<sup>2)</sup> I fire søer er de seneste undersøgelser foretaget i 2015 eller 2016. Disse er medtaget i beregningerne, i to søer er de seneste undersøgelser foretaget før. Disse er ikke medtaget i beregningerne.

## 3.3 Vandkemi

### Vandkemi, status

I tabel 3.2 er en oversigt over næringsstofindhold (totalfosfor og totalkvælstof), klorofyl *a* og sigtdybde i KT-søerne inddelt efter de søtyper, der anvendes i Danmark i forbindelse med vandrammedirektivets implementering (se også kapitel 1). En del af søtyperne er kun repræsenteret ved ganske få søer (f.eks. 1-2 søer af søtyperne 2, 6 og 15, se tabel 1.1 for søtyper), og det er derfor ikke muligt at give en generel vurdering af disse søtyper.

**Tabel 3.2.** Oversigt over sigtddybde og vandkemiske data fra de 180 KT-søer (sommerværdier) fordelt på ni søtyper (se tabel 1.1 for beskrivelser af de forskellige søtyper), som er undersøgt i perioden 2017-2022. Hvis der er data for flere år, indgår søen kun med det seneste års målinger.

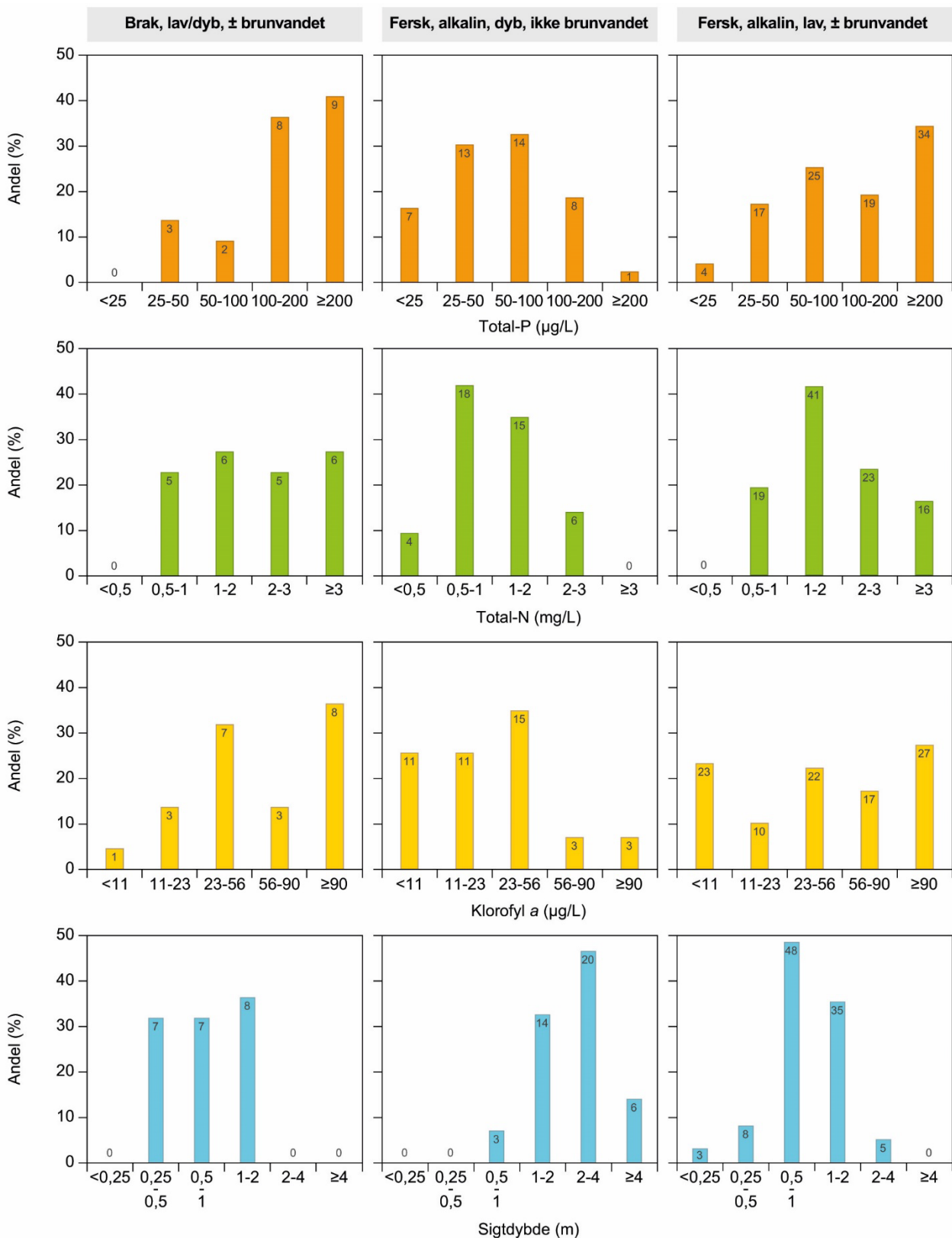
Søtype	Totalfosfor (mg P/L)					Totalkvælstof (mg N/L)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	0,028	0,026	0,011	0,041	6	0,67	0,60	0,56	0,84	6
2	0,024	0,024	0,015	0,032	2	0,52	0,52	0,37	0,68	2
5	0,110	0,103	0,020	0,289	7	1,45	1,57	0,71	2,36	7
6	0,015	0,015	0,015	0,015	1	0,61	0,61	0,61	0,61	1
9	0,191	0,110	0,022	0,956	89	1,92	1,71	0,54	5,33	89
10	0,071	0,053	0,007	0,333	43	1,18	0,96	0,34	2,88	43
11	0,314	0,185	0,044	1,567	20	2,26	2,26	0,61	5,03	20
13	0,353	0,098	0,023	1,842	10	2,23	1,69	0,91	5,58	10
15	0,354	0,354	0,045	0,663	2	2,86	2,86	0,83	4,90	2

Søtype	Klorofyl <i>a</i> (µg/L)					Sigtddybde (m)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	11	11	1	19	6	2,1	1,8	0,8	4,2	6
2	10	10	6	14	2	4,0	4,0	2,3	5,7	2
5	73	67	5	181	7	0,7	0,6	0,3	1,4	7
6	9	9	9	9	1	2,1	2,1	2,1	2,1	1
9	71	46	2	389	89	1,1	0,9	0,2	3,0	89
10	30	20	3	125	43	2,5	2,1	0,8	5,4	43
11	81	58	2	308	20	0,8	0,8	0,3	1,8	20
13	72	16	3	333	10	0,7	0,6	0,2	1,7	10
15	126	126	12	241	2	0,8	0,8	0,4	1,3	2

Blandt de fire mest almindelige søtyper (søtype 9, 10, 11 og 13) er søtype 11 (kalkrig, ikke-brunvandet, lavvandet og saltholdig) den mest næringsrige med en medianfosforkoncentration på 0,185 mg/L og en mediankvælstofkoncentration på 2,26 mg/L. Det er også i søtype 11, at den højeste medianværdi af klorofyl *a* ses (58 µg/L). I søtype 13 (brunvandede søer) måles de laveste sigtddybder (medianværdi er på 0,6 m). Det skal understreges, at en sigtddybde i lavvandede søer (f.eks. type 9) skal ses i sammenhæng med søens dybde, da en angiven sigtddybde kan være begrænset af søens maksimumdybde og dermed ikke altid er sammenlignelig med sigtddybden i dybere søer. Den mest næringsfattige blandt de fire hyppigst forekommende søtyper er søtype 10 (kalkrig, ikke-brunvandet, fersk og dyb), hvor medianfosforkoncentrationen er på 0,053 mg/L, og mediankvælstofkoncentrationen er 0,96 mg/L.

Figur 3.2 viser KT-søernes fordeling på fem kategorier af næringsstofkoncentrationer og klorofylindhold og seks kategorier af sigtddybde (i alle tilfælde sommergennemsnit). For at koncentrere datamængden er de mest almindelige søtyper delt ind i tre søtypegrupper: brakke, kalkrige og lavvandede søer (søtype 11 og 15), ferske, kalkrige, dybe, ikke-brunvandede søer (søtype 10) og ferske, kalkrige, lavvandede søer (søtype 9 og 13). De kalkfattige (lavalkaline) søer (type 1, 2, 5 og 6) er dermed udeladt i denne figur. Også her fremgår det, at de brakke søer generelt er de mest næringsrige, hvor næsten alle søer har et højt indhold af totalfosfor (19 ud af 22 har et fosforindhold over 0,05 mg/L) og klorofyl *a* (18 ud af 22 søer har et klorofylindhold over 23 µg/L). Derimod er gruppen af de dybe, kalkrige søer generelt de mindst næringsrige med et lavere indhold af klorofyl *a* og en større sigtddybde (vær dog opmærksom på, at sigtddybden kan være begrænset af søens dybde i de øvrige to grupper). Blandt de lavvandede, kalkrige, ferske søer er der relativt mange i de højeste fosfor- og klorofylkategorier, men for kvælstofkoncentrationer og sigtddybde er der flest søer i midten af spektret.



**Figur 3.2.** Den procentuelle fordeling af søer opdelt i tre søtypegrupper: brakke (søtype 11 og 15), ferske, alkaliske, dybe (søtype 10) og ferske, alkaliske, lavvandede (søtype 9 og 13) – se også tekst. Inden for hver søtypegruppe er søerne fordelt på fem kategorier (tidsvægtede sommergennemsnit) af totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl a og seks kategorier for sigtdybde. Tallet i de enkelte søjler angiver det absolutte antal af søer i hver kategori.

## Vandkemi, udviklingstendenser

I mange af KT-søerne er der, siden overvågningsprogrammet påbegyndtes, nu opnået så lange tidsserier, at det er muligt at vurdere og teste udviklingstendenser for de enkelte søer. I henhold til den statistiske test (Mann-Kendall, se bilag 1), der anvendes, skal der normalt foreligge data fra mindst otte år, for at denne vurdering kan foretages. For perioden 1989-2022 opfylder 98-101 KT-søer dette kriterium for totalfosfor og totalkvælstof og 101-103 søer for sigtddybde og klorofyl *a*. Vurderes udviklingen alene over de seneste 20 år (2003-2022), opfylder kun 15 søer kriteriet for fosfor og kvælstof og 19-25 søer kriterierne for sigtddybde og klorofyl. Resultaterne af disse analyser kan ses i tabel 3.3 og 3.4. Hovedparten af søerne med lange tidsserier udgøres af søtype 9 og søtype 10.

I 45-53 søer af de 98-101 KT-søer med lange tidsserier ses statistisk signifikante ændringer på 0,1-10 % signifikansniveau for perioden 1989-2022 i indholdet af næringsstoffer (totalfosfor og totalkvælstof). I langt de fleste tilfælde er der tale om et reduceret indhold, og kun i fire søer er der tale om stigninger (tabel 3.3). Tilsvarende er klorofylindholdet reduceret i 44 søer, men kun øget i fire søer, mens sigtddybden er øget i 36 søer, og kun mindsket i syv søer (tabel 3.4). Set over hele overvågningsperioden er der således generelt tale om signifikante ændringer i op imod halvdelen af søerne, og i langt hovedparten er disse positive, dvs. mindsket koncentration af næringsstoffer og klorofyl *a* samt øget sigtddybde.

Hvis der kun ses på udviklingen i de seneste 20 år, er der langt færre søer med signifikante ændringer. Dette skyldes først og fremmest, at der er langt færre søer med tilstrækkeligt datagrundlag (dvs. nok år til at teste udviklingen vha. den valgte metode). Mange KT-søer undersøges kun hvert sjette år, så det bliver vanskeligere at se udviklingstendenser over kortere perioder. Når der indsamles data hvert sjette år, vil det således kræve 48 år, og hvis der indsamles data hvert tredje år, vil det kræve 24 år at teste for udviklingstendenser med denne metode. Blandt de 15 søer, hvorfra der er mindst otte års næringsstofdata, er der signifikante ændringer i syv søers indhold af totalfosfor – i alle tilfælde reduceret indhold – og i fem søers indhold af totalkvælstof, hvoraf indholdet er reduceret i de fire. For indholdet af klorofyl *a* er der tale om signifikant mindskede koncentrationer i syv ud af de 19 søer, hvorfra der er nok data til at teste. Indholdet er ikke øget i nogen af søerne. Sigtddybden kan testes i 25 søer, og her er den øget i fire søer og mindsket i to søer.

De procentvise andele af søer, hvor totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* og sigtddybde er henholdsvis reduceret, uændret eller forøget for de to perioder 1989-2022 og 2003-2022, ses i figur 3.3.

**Tabel 3.3.** Udviklingen (sommergennemsnit) i indholdet af totalfosfor og totalkvælstof i perioden 1989-2022 samt for perioden 2003-2022 i de KT-søer, som er undersøgt i mindst otte år og testet ved Mann-Kendall. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. Testen her er altså ud over det normalt anvendte signifikansniveau på 5 % eller derunder også vurderet med et signifikansniveau på 10 %. Hvis der ikke har været nogen signifikant ændring, er det angivet med et 0. Type angiver søtype anvendt i vandområdeplanerne (jf. tabel 1.1). Antal år angiver, hvor mange år der er data fra. For enkelte søer mangler den ene parameter i et enkelt år, dette er vist ved variationen i antallet. Hvis antallet af år ikke er angivet, er antallet <8.

Vand- områdenr.	Vandområde- Navn	Type	Antal år 1989-2022	Total- fosfor	Total- kvælstof	Antal år 2003-2022	Total- fosfor	Total- kvælstof
80100029	Tømmerby Fjord	9	8	0	0			
80900003	Arup Vejle	11	9	0	0			
81200003	Legind Sø	9	10	0	--			
81400006	Madum Sø	1	12	0	0			
81400017	Gravlev Sø	9	8	0	0			
81500013	Udbyover Sø	9	14	0	0			
81600002	Ferring Sø	11	18	--	0			
81600006	Kilen	11	16	---	--			
81600008	Sdr. Lem Vig	9	8	0	0			
81600037	Skør Sø	1	9	0	+			
81800014	Klejtrup Sø	9	14	0	0			
81800016	Hærup Sø	9	9	0	0			
81800018	Fussing Sø	10	9	--	0			
82000026	Stubbergård Sø	9	8	0				
82100013	Hallesø	9	11	0	0			
82100014	Stigsholm Sø	9	10	0	0			
82100016	Lyngsø	9	9	---	---			
82100264	Karl Sø	9	10	0	--			
82100272	Salten Langsø	10	8	--	---			
82100276	Torup Sø	10	21	--	----	10	--	--
82100277	Vestbirk Sø	10	8	--				
82100280	Brassø	10	8	---	-			
82100282	Hald Sø	10	24	----	0	10	--	0
82100293	Ørnsø	10	18	----	----			
82100326	Hylke Sø	10	9	0	---			
82100807	Ormstrup Sø	9	8	0	0			
82101053	Vedsø, Nonbo bassin	10	10	---	--			
82101054	Vedsø, Rindsholm bassin	10	8	---	-			
82200016	Byn	13	8	0	0			
82300013	Tillerup Sø	9	9	0	--			
82500020	Hampen Sø	10	17	---	0			
82500039	Rørbæk Sø	10	19	----	----			
82500043	Nørresø, Ringkøbing	9	9	0	--			
82500045	Stadil Fjord	11	8	0	0			
82500076	Ensø	9	10	0	0			
82500297	Kulsø ved Troldhede	9	9	0	---	8	0	--
82600013	Lading Sø	9	13	0	0			
82700007	Tebstrup Sø	10	10	--	0			
83000001	Fåresøen	5	9	+++	++			
83000005	Holm Sø	1	23	0	0	9	-	0
83000088	Ål Præstesø	1	11	-	-			
83200005	Fårup Sø	10	20	-	----			
83300004	Randsfjord	9	9	-	0			
83400006	Dons Nørresø	9	15	---	---			
83400010	Skærsø	9	18	--	--			



Vand- områdenr.	Vandområde- Navn	Type	Antal år 1989-2022	Total- fosfor	Total- kvælstof	Antal år 2003-2022	Total- fosfor	Total- kvælstof
83400011	Stallerup Sø	9	8	0	0			
83600005	Søgård Sø, Jylland	9	23	----	----	9	0	0
83700016	Rygbjerg Sø	10	9	0	0			
83700017	Stevning Dam	9	11	----	--			
83800005	Jels Nedersø	10	8-9	0	-			
83800006	Jels Oversø	9	13	--	---			
84100002	Gråsten Slotsø	9	9	0	0			
84100003	Kettingnor	11	12-13	-	-			
84100006	Nordborg Sø	10						
84100008	Varnæs Skovsø	11						
84100056	Kruså Møllesø	9	8-9	0	-			
84200001	Hostrup Sø	9	11	--	0			
84200081	Ralsøen	10						
84300027	Gamborg Indrefjord	11	9	--	0			
84400002	Fjellerup Sø	9	11	+	0			
84400005	Hjulby Sø	9	10	-	--			
84400009	Vomme Sø	10	10	0	0			
84500006	Dallund Sø	9	15	-	0	8	0	0
84500007	Langesø	10	20	----	----	8	0	--
84500008	Nørresø, Fyn	9	18	++	0			
84600005	Søbo Sø, Fyn	10	14	0	0			
84700008	Hvidkilde Sø	9	17	0	0	8	0	++
84700011	Ollerup Sø	9	11	0	--			
84700014	Tryggelev Nor	9	11	0	0			
84700017	Store Øresø	13	8	0	0			
84800001	St. Gribsø	2						
84800002	Esrum Sø	10						
84800003	Gurre Sø	9	10	0	++			
85000001	Bagsværd Sø	9	22	----	---	8	-	0
85000025	Bastrup Sø	10	18	0	0			
85000026	Lyngby Sø	9	10	0	0			
85000029	Farum Sø	10	8	0	0			
85000050	Store Donsedam	9	8	0	0			
85100039	Højby Sø	9	8	0	0			
85200002	Bue Sø	10	8	---	--			
85200005	Østrup-Gundsømagle Sø	9	23	----	----	9	--	--
85200013	Sønder Sø	10	19	----	-			
85300018	Damhussøen	9	18	--	0			
85300025	Peblingsø	9	16	----	--			
85300027	Skt. Jørgens Sø, sydbassin	10	11	0	-	8	0	0
85300036	Gentofte Sø	9	10	---	0			
85300041	Vallensbæk Sø	9	8	0	--			
85500001	Skarresø	9	9-11	+	0			
85500002	Tissø	10	25	-	--	11	--	0
85500003	Tuelsø	10	9	---	0			
85600008	Bromme Lillesø	9	8	0	0			
85700013	Bavelse Sø	10	9	-	0			
85700020	Tystrup Sø	10	22	----	----	8	0	0
85700053	Ulse Sø	10	8-9	0	0			
85700056	Ejlemade Sø	9	8	0				
85700058	Gørlev Sø	9	8	0	0			
85700060	Haraldsted Lillesø	9	8-9	--	0			
85800001	Borup Sø	9	20	----	----			

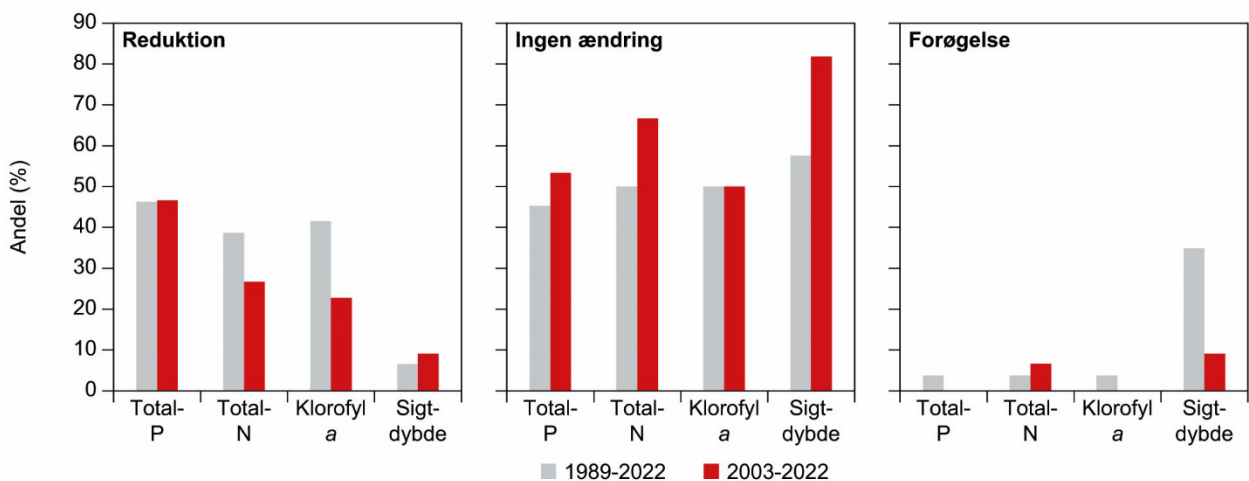
Vand- områdenr.	Vandområde- Navn	Type	Antal år 1989-2022	Total- fosfor	Total- kvælstof	Antal år 2003-2022	Total- fosfor	Total- kvælstof
85800004	Kimmerslev Sø	10	13	---	----	8	0	0
86000010	Hulemose Sø	9	9	-	0			
86100001	Virket Sø	10	11	---	-			
86100002	Mølle Sø	10	10	0	+			
86200002	Nakskov Indrefjord	11	10	---	0			
86400001	Hejrede Sø	9	19	----	0			
86400003	Røgbølle Sø	9	21	----	0			
86400004	Maribo Sønderø	9	24	--	--	10	--	0
I alt 0				48	53		8	10
I alt +/+/+/+/++++				4	4		0	1
I alt -/-/-/-----				49	41		7	4

**Tabel 3.4.** Udviklingen (sommergennemsnit) i indholdet af klorofyl *a* og sigtdybde i perioden 1989-2022 samt for perioden 2003-2022 i de KT-søer, som er undersøgt i mindst otte år. -/+, -/++, -/+ +, -/+ + + svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. Testen her er altså ud over det normalt anvendte signifikansniveau på 5 % eller derunder også vurderet med et signifikansniveau på 10 %. Hvis der ikke har været nogen signifikant ændring, er det angivet med et 0. Type angiver søtype anvendt i vandområdeplanerne (jf. tabel 1.1). Antal år angiver, hvor mange år der er data fra. For enkelte søer mangler den ene parameter et-tre år, dette er vist ved variationen i antallet. Hvis antallet af år ikke er angivet, er antallet <8.

Vandområdenr.	Vandområdenavn	Type	Antal år 1989-2022	Klorofyl <i>a</i>	Sigtdybde	Antal år 2003-2022	Klorofyl <i>a</i>	Sigtdybde
80100029	Tømmerby Fjord	9	8	0	0			
80900003	Arup Vejle	11	9	0	0			
81200003	Legind Sø	9	10	0	0			
81400006	Madum Sø	1	12	0	--			
81400017	Gravlev Sø	9	8	0	0			
81500013	Udbyover Sø	9	12-14	-	0			
81600002	Ferring Sø	11	18	--	0			
81600006	Kilen	11	16	---	++++			
81600008	Sdr. Lem Vig	9	8	0	0			
81600037	Skør Sø	1	9	0	0			
81800014	Klejtrup Sø	9	14-15	0	-			
81800016	Hærup Sø	9	9-10	-	++			
81800018	Fussing Sø	10	9	---	0			
82000026	Stubbergård Sø	9	8	0	0			
82100013	Hallesø	9	11	+	--			
82100014	Stigsholm Sø	9	14	0	0	9	0	0
82100016	Lyngsø	9	9	0	0			
82100264	Karl Sø	9	10	0	0			
82100272	Salten Langsø	10	8	0	0			
82100276	Torup Sø	10	20-21	-	0	10	--	+
82100277	Vestbirk Sø	10	8		0			
82100280	Brassø	10	8	--	++			
82100282	Hald Sø	10	24	----	+++	10	--	0
82100293	Ørnsø	10	18	--	0			
82100326	Hylke Sø	10	9	--	0			
82100807	Ormstrup Sø	9	8	++	0			
82101053	Vedsø, Nonbo bassin	10	10-11	--	+++			
82101054	Vedsø, Rindsholm bassin	10	8-9	---	+++			
82200016	Byn	13	8	0	0			
82300013	Tillerup Sø	9	9	0	0			
82500020	Hampen Sø	10	17	--	0			
82500039	Rørbæk Sø	10	19	----	+			

Vandområdenr.	Vandområdenavn	Type	Antal år	Klorofyl	Sigt dybde	Antal år	Klorofyl	Sigt dybde
			1989-2022	a		2003-2022	a	
82500043	Nørresø, Ringkøbing	9	9	0	0			
82500045	Stadil Fjord	11	8	0	0			
82500076	Ensø	9	10	0	0			
82500297	Kulsø ved Troldhede	9	9	0	0	8	0	0
82600013	Lading Sø	9	13	0	+			
82700007	Tebstrup Sø	10	11-12	0	0			
83000001	Fåresøen	5	8-9	0	---			
83000005	Holm Sø	1	22-23	--	0	9	0	-
83000088	Ål Præstesø	1	11	---	++			
83200005	Fårup Sø	10	20	----	++++			
83300004	Randsfjord	9	9-10	---	0			
83400006	Dons Nørresø	9	15	----	+++			
83400010	Skærsø	9	17-18	--	0			
83400011	Stallerup Sø	9	8	0	0			
83600005	Søgård Sø, Jylland	9	23	----	++++	9	0	0
83700016	Rygbjerg Sø	10	10	0	0			
83700017	Stevning Dam	9	10-19	--	++++	11		0
83800005	Jels Nedersø	10	9-16	++	---	9		0
83800006	Jels Oversø	9	13	--	++			
84100002	Gråsten Slotsø	9	9-24	0	---	12		0
84100003	Kettingnor	11	13-14	-	++			
84100006	Nordborg Sø	10	8-18	0	0	9		0
84100008	Varnæs Skovsø	11	8-12	0	0			
84100056	Kruså Møllesø	9	9-15	--	+++	8		0
84200001	Hostrup Sø	9	11-18	0	0	8		0
84200081	Ralsøen	10	9		0			
84300027	Gamborg Indrefjord	11	9	0	0			
84400002	Fjellerup Sø	9	14	0	--			
84400005	Hjulby Sø	9	12	---	++			
84400009	Vomme Sø	10	11	0	+			
84500006	Dallund Sø	9	17	-	++	8	0	0
84500007	Langesø	10	20	0	++++	8	---	++
84500008	Nørresø, Fyn	9	21	0	++++			
84600005	Søbo Sø, Fyn	10	19	+	++			
84700008	Hvidkilde Sø	9	21	0	+++	8	0	0
84700011	Ollerup Sø	9	14	---	0			
84700014	Tryggelev Nor	9	11	0	0			
84700017	Store Øresø	13	9	0	0			
84800001	St. Gribso	2	8		++			
84800002	Esrum Sø	10	12		+			
84800003	Gurre Sø	9	10-11	0	0			
85000001	Bagsværd Sø	9	22	---	+	8	0	0
85000025	Bastrup Sø	10	18	-	++			
85000026	Lyngby Sø	9	10	0	0			
85000029	Farum Sø	10	8-9	0	0			
85000050	Store Donsedam	9	8	0	0			
85100039	Højby Sø	9	8	0				
85200002	Bue Sø	10	8	--	0			
85200005	Østrup-Gundsømagle Sø	9	23	----	++++	9	0	0
85200013	Sønder Sø	10	19	----	++			
85300018	Damhussøen	9	18-19	0	0			
85300025	Peblingsø	9	13-16	---	++++			
85300027	Skt. Jørgens Sø, sydbassin	10	11-14	0	0	8	0	--

Vandområdenr.	Vandområdenavn	Type	1989-2022			2003-2022		
			Antal år	Klorofyl a	Sigt-dybde	Antal år	Klorofyl a	Sigt-dybde
85300036	Gentofte Sø	9	10	--	0			
85300041	Vallensbæk Sø	9	8	-	0			
85500001	Skarresø	9	9-11	0	0			
85500002	Tissø	10	25	--	++++	11	-	0
85500003	Tuelsø	10	9	0	0			
85600008	Bromme Lillesø	9	8	0	0			
85700013	Bavelse Sø	10	9	--	0			
85700020	Tystrup Sø	10	22	0	+	8	0	0
85700053	Ulse Sø	10	8-9	0	0			
85700056	Ejlemade Sø	9	9		0			
85700058	Gørlev Sø	9	8	0	0			
85700060	Haraldsted Lillesø	9	8-9	0	0			
85800001	Borup Sø	9	20	----	++++			
85800004	Kimmerslev Sø	10	13-14	--	++++	8	0	0
86000010	Hulemose Sø	9	9	0	+			
86100001	Virket Sø	10	11	--	0			
86100002	Mølle Sø	10	10	0	0			
86200002	Nakskov Indrefjord	11	10	0	0			
86400001	Hejrede Sø	9	19	----	++++			
86400003	Røgbølle Sø	9	21	---	0			
86400004	Maribo Sønderlø	9	24	----	++++	10	---	0
I alt 0				53	61		12	19
I alt +/+/+/+/++++				4	36		0	4
I alt -/-/-/-----				44	7		7	2



**Figur 3.3.** Den procentvise andel af KT-søer med mindst otte års data, hvor indholdet af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl a og sigt-dybde statistisk set er reduceret, uændret eller øget (10 % signifikansniveau). Der er vist data, som omfatter henholdsvis perioden 1989-2022 og perioden 2003-2022 (se også tabel 3.3 og tabel 3.4).

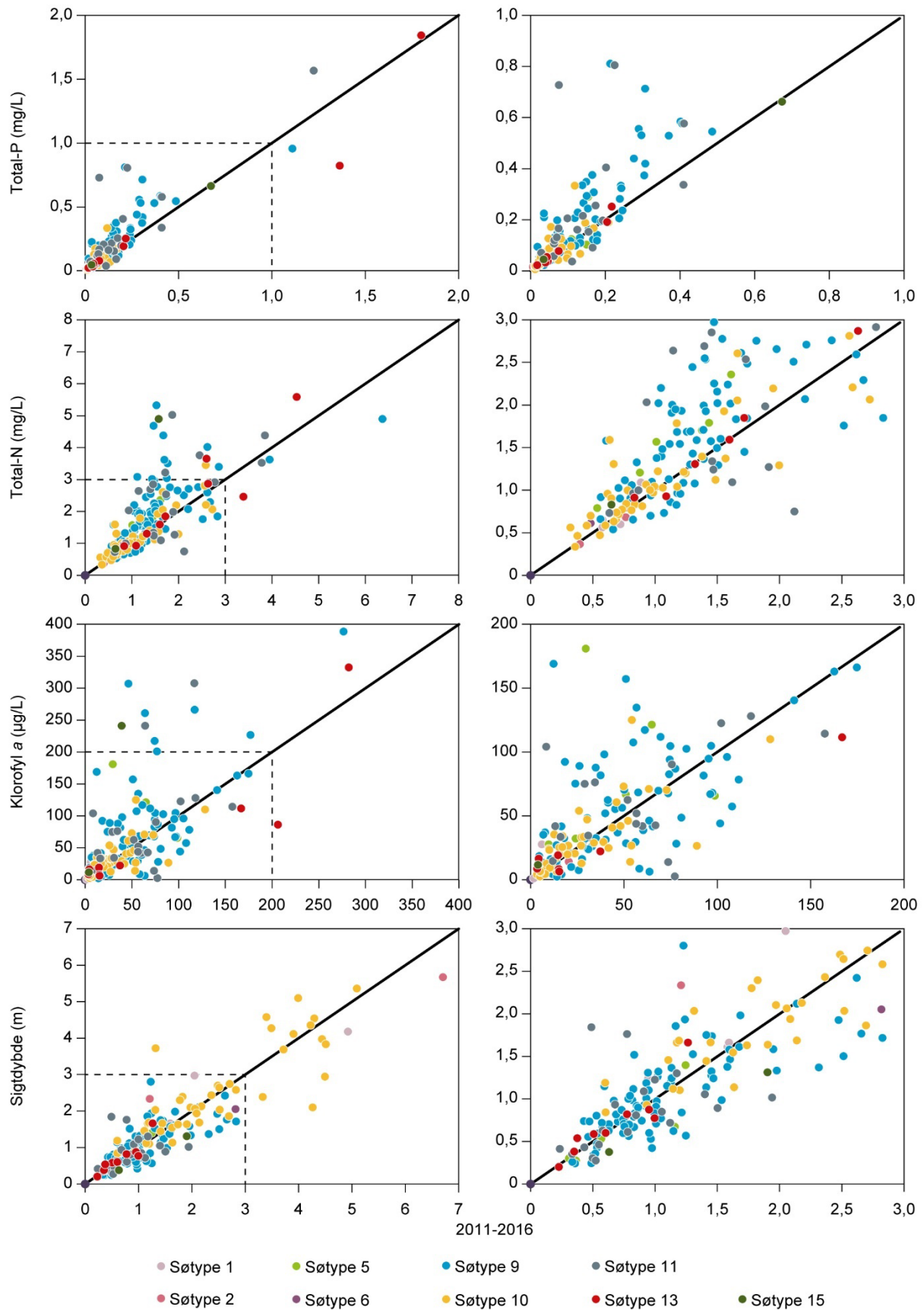
Resultaterne beskrevet ovenfor indikerer, som det også er vist for KU-søerne, se kapitel 2, at de største ændringer i søernes tilstand er sket i løbet af 1990'erne. For at vurdere, hvordan den overordnede udvikling har været inden for den seneste 12-årsperiode, er de samlede resultater i KT-søerne for den seneste seksårige periode (2017-2022) sammenlignet med den forrige seksårsperiode (2011-2016). Langt størstedelen af KT-søerne er undersøgt for vandkemiske parametre og sigt-dybde i begge perioder. Der er testet for signifikante ændringer for alle søtyper tilsammen og for de enkelte søtyper for de fire parametre (totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl a og sigt-dybde), og

resultaterne ses i figur 3.4 og tabel 3.5. Til test af forskellene er der, hvis data er normalfordelt, anvendt parret t-test, og hvis de ikke er normalfordelt, er Wilcoxon signed rank test anvendt. Se bilag 1 for nærmere beskrivelse.

Sammenligningen på tværs af alle søtyper viser, at indholdet af totalfosfor (se nærmere omtale nedenfor), totalkvælstof og klorofyl *a* er øget signifikant fra perioden 2011-2016 til 2017-2022. Udviklingen er mest tydelig for totalkvælstof og totalfosfor, hvor de fleste søer havde højere værdier i perioden 2017-2022 end i perioden 2011-2016. Flere af søerne med totalkvælstofkoncentrationer mellem 1 og 2 mg/L i 2011-2016 havde eksempelvis i perioden 2017-2022 næsten dobbelt så høje koncentrationer. For sigtdybden er der ikke tale om signifikante ændringer. For de individuelle søtyper ses de mest markante ændringer i søtype 9, hvor både fosforkoncentrationen og kvælstofkoncentrationen er øget signifikant.

De generelle forbedringer, der generelt sås i de søer, der blev undersøgt i begyndelsen af overvågningsperioden, er altså ikke fortsat frem til den seneste seksårsperiode (2017-2022). De seneste resultater viser tværtimod tendenser til øget indhold af næringsstoffer og klorofyl *a*.

Årsagen til de generelt stigende næringsstofkoncentrationer og klorofylindhold er ikke undersøgt nærmere. Mulige årsager kunne være ændringer i udladningen og transporten af næringsstoffer i søens opland, herunder også effekten af klimatiske ændringer. Årsagen til, at der primært ses signifikante ændringer i søtype 9, kan være, at der er flest søer i denne søtype, så signifikante ændringer lettere ses. Det kan ikke udelukkes, at fejlanalyserne og eventuel underestimering af totalfosforkoncentrationen i perioden 2011-2016 også kan spille ind.

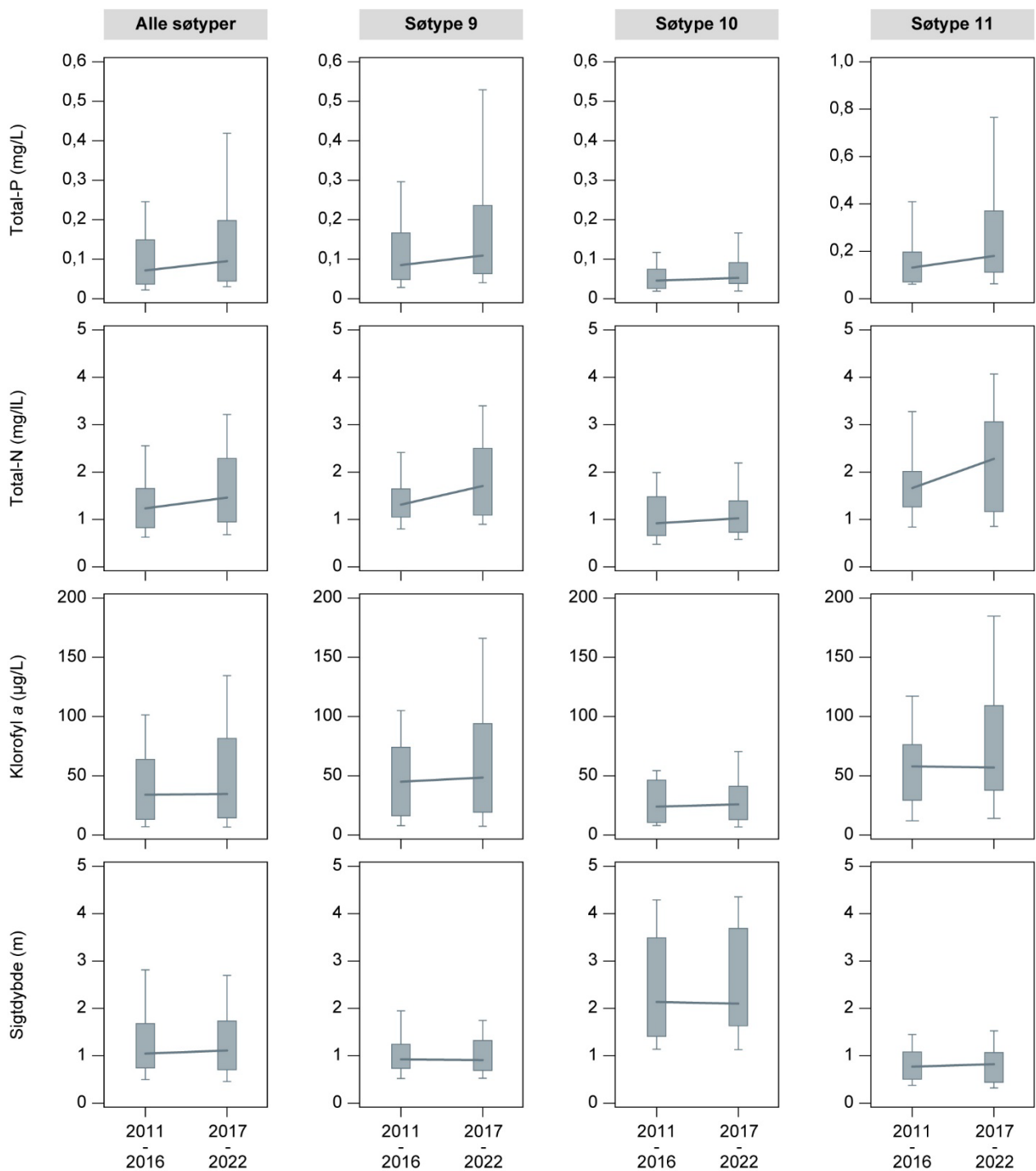


**Figur 3.4.** Sammenligning af sommergennemsnit mellem de to perioder 2011-2016 og 2017-2022 for totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl a samt sigt dybde fordelt på søtyper (beskrivelserne af de enkelte søtyper fremgår af tabel 1.1). Hvert punkt repræsenterer én sø. Hvis den enkelte sø er undersøgt mere end én gang i den samme periode, er der anvendt et gennemsnit. Højre panel viser en forstørrelse af de laveste værdier. Linjen angiver 1:1-værdier, dvs. punkter på denne linje viser status quo. Hvis et punkt ligger over 1:1-linjen, er der sket en forøgelse fra perioden 2011-2016 til perioden 2017-2022 i den givne sø og omvendt, hvis et punkt ligger under 1:1-linjen.

**Tabel 3.5.** Resultat af statistiske tests (p-værdier) af sammenligning af sommergennemsnit af kemiske nøglevariable (totalfosfor og totalkvælstof) samt en biologisk (klorofyl *a*) og en fysisk (sigtdybde) nøglevariabel for de søer, der blev undersøgt i de to seneste seksårsperioder: 2011-2016 og 2017-2022. Kun signifikante forskelle ( $p < 0,05$ ) er vist. (+) angiver, at værdien er øget. "-" angiver, at der ikke er nogen signifikant ændring. Antal søer angiver det totale antal søer for hver søtype, som kan variere lidt mellem parametrene. Der er kun vist tests for søtyper, hvor der indgår data fra mindst 10 søer. \*)Bemærk, at der i perioden 2011-2016 er resultater, der sandsynligvis er underestimerede – se afsnit 1.4.

VRD-søtype	Antal søer	Total-P <sup>*)</sup>	Total-N	Klorofyl <i>a</i>	Sigtdybde
9	89	<0,001 (+)	<0,001 (+)	-	-
10	43	-	0,025 (+)	-	-
11	20	0,04 (+)	-	-	-
Alle søer	178	<0,001 (+)	<0,001 (+)	0,013 (+)	-

Sammenligningen af de kemiske parametre og sigtdybden mellem de to seneste seksårsperioder, kan også illustreres ved boxplots, som vist i figur 3.5. Som for de øvrige præsentationer og analyser i denne del af rapporten er resultaterne baseret på sommergennemsnit i de enkelte søer. Der er kun vist data fra de søtyper, hvor der er mindst 10 søer, samt for søerne samlet set. Bemærk, at resultaterne for de to perioder ved den anvendte statistiske test er sammenlignet parvist for hver sø og ikke mellem de to grupper af søer som helhed. Dette betyder, at det kan være svært at se signifikante forskelle mellem de to perioder på boxplots, og at signifikante forskelle ikke nødvendigvis kan ses i boxplots. Det gør sig f.eks. gældende for resultaterne for klorofyl *a* i typerne samlet. Desuden kan værdier, hvor der ses de største forskelle, være udelukket fra boxplottene, da disse kun viser op til 90% fraktilen.

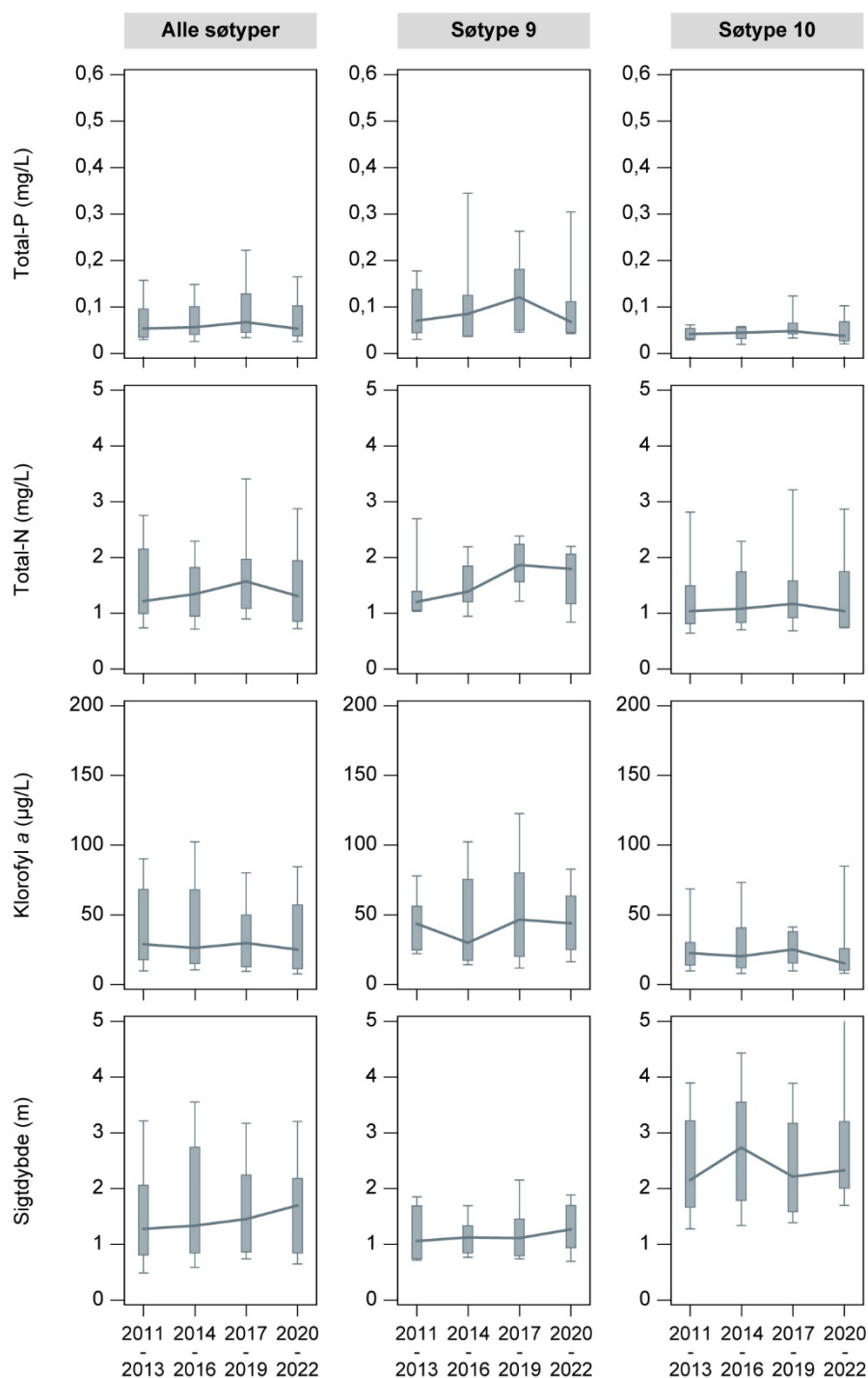


**Figur 3.5.** Boxplots, der fra oven illustrerer forskellen i henholdsvis totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl a og sigt dybde mellem de to seksårige perioder 2011-2016 og 2017-2022 for KT-søerne. Der er vist plots for alle søer tilsammen og for de tre søtyper med flest data. Kun typer, hvortil der kan henføres mere end 10 søer er medtaget. Hver box med whiskers viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier. Statistiske test er vist i tabel 3.5.



En yderligere tidsmæssig inddeling er foretaget ved at anvende og sammenligne træårsperioder fra 2011 til 2022 (figur 3.6). Dette er kun muligt for de søer, der er overvåget to gange i hver seksårsperiode. Disse søer omfatter som udgangspunkt søer tæt på målopfyldelse og anvendes med henblik på at øge sikkerheden på tilstandsvurderingen. De repræsenterer derfor en speciel gruppe af søer, som ikke nødvendigvis kan sammenlignes med de søer, der er sammenlignet over de to seksårsperioder. Generelt viser denne gruppe af søer med træårsperioder kun få ændringer i de undersøgte parametre, og der er ingen statistisk signifikante ændringer mellem den første og den seneste måling for nogen af stofferne eller for sigtdybden.

**Figur 3.6** Boxplots, der fra oven illustrerer forskellen i henholdsvis totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl a og sigtdybde mellem de fire træårsperioder 2011-2013, 2014-2016, 2017-2019, 2020-2022 for KT-søerne. Der er vist plots for alle søer tilsammen og for de tre søtyper, hvor der er data fra mere end 10 søer. Hver box med whiskers viser 10, 25, 75 og 90% fraktiler. Linjen forbinder medianværdier.



### 3.4 Vegetation

#### Vegetation, status

Kontrolovervågningen af undervandsplanter i perioden 2017-2022 omfattede i alt 180 søer. En oversigt over de tre undersøgte nøgleparametre (det plantede areal i procent af søarealet (relativt plantedækket areal – RPA), det plantefyldte volumen i procent af søens vandvolumen (relativt plantefyldt volumen – RPV) og planternes maksimale dybdegrænse) i hver af de ni søtyper er givet i tabel 3.6. Nogle af søtyperne – især de kalkfattige søer (søtype 1-6) – er kun repræsenteret ved ganske få søer, og her er det ikke muligt at anvende data til at udtale sig generelt om disse søtyper. Kun fra søtype 9, 10, 11 og 13 er der data fra mindst 10 søer.

Data, der beskriver dybdegrænsen, er først og fremmest relevant for de dybe søtyper, fordi planterne i de lavvandede søtyper oftere end i de dybe søer vil kunne vokse helt ud til søens maksimale dybde. Dermed vil dybdegrænsen kunne begrænses af søens dybde. Dette er tilfældet for ca. 20 % af de 180 søer; her er forskellen mellem dybdegrænsen og søens maksimale dybde højst 10 %. På samme måde kan man ikke forvente, at RPA eller RPV kan blive særlig høj i dybe søer sammenlignet med lavvandede søer, fordi planterne ofte ikke vokser i de dybe dele af søen, hvor lysnedtrængningen er naturligt begrænset.

**Tabel 3.6.** Oversigt over nøgleparametre vedr. undervandsplanter fra søerne i kontrolovervågningen af søernes tilstand fordelt på ni søtyper (se tabel 1.1 for en nærmere beskrivelse), som er undersøgt i perioden 2017-2022.

Søtype	Relativt plantedækket areal – RPA (%)					Relativt plantefyldt volumen – RPV (%)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	n	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	42,6	45,1	20,2	65,9	6	5,1	5,8	0,6	8,7	6
2	28,6	28,6	1,5	55,6	2	1,8	1,8	0,02	3,5	2
5	11,3	6,5	0	38,0	7	2,5	0,8	0	10,0	7
6	0,3	0,3	0,3	0,3	1	0,001	0,001	0,001	0,0008	1
9	23,3	14,5	0	86,9	89	7,2	1,3	0	72,4	89
10	9,2	5,0	0	75,2	43	1,0	0,3	0	7,6	43
11	15,9	10,9	0	59,8	20	4,2	1,2	0	26,5	20
13	21,2	14,5	0	53,6	10	6,8	0,8	0	30,0	10
15	25,0	25,0	20,2	29,8	2	5,8	5,8	2,8	8,9	2

Søtype	Dybdegrænse (m)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	2,4	2	0,4	5,4	6
2	4,0	4	2,5	5,5	2
5	1,0	1	0	1,8	7
6	2,1	2,1	2,1	2,1	1
9	1,5	1,5	0	4,2	89
10	4,1	3,8	0	11,1	43
11	1,2	1,1	0	2,7	20
13	0,9	0,8	0	2,2	10
15	1,8	1,8	1	2,6	2

Generelt varierer de tre målte parametre meget inden for de enkelte søtyper. Både RPA og RPV dækker eksempelvis en gradient i mange af typerne fra 0 % (ingen undervandsplanter) og til langt over 50 %. I den mest almindelige lavvandede søtype (søtype 9) er medianværdien for RPA på 14,5 % og RPV på 1,3 %. Det betyder, at i hovedparten af de lavvandede søer er kun en lille del af vandvolumenet fyldt med planter. I den mest almindelige dybe søtype (søtype 10) varierer dybdegrænsen mellem 0 m (ingen planter) og 11,1 m.

### **3.5 Fisk**

#### **Fisk, status**

Nøglevariable for fiskebestanden i 180 KT-søer, som er undersøgt i perioden 2017-2022, er vist i tabel 3.7. Det største antal og den største biomasse blev generelt fundet i den lavvandede, ferske kalkrige søtype (søtype 9), hvor der som medianværdi blev fanget 153 fisk pr. garn og 4,2 kg pr. garn. Det er noget højere end for den tilsvarende dybe søtype (søtype 10), hvilket formentlig er et udtryk for det lavere næringsstofniveau i de dybe søer. Af samme årsag (lavere næringsstofniveau) blev der generelt fanget færre fisk, og biomassen var mindre i de kalkfattige søtyper (søtype 1-6), selvom der dog her må tages forbehold for det langt lavere antal søer, der indgår i datasættet. Som medianværdi blev der i disse søer fanget mellem 9 og 26 fisk pr. garn og 0,3-1,5 kg fisk pr. garn.

Individbiomassen var som medianværdi højest i tre kalkfattige søtyper (søtype 1, 2 og 5, dog lav i søtype 6, men her er der kun data fra én sø), hvor vægten var på 55-81 g/individ. For de fire mest almindelige og kalkrige søtyper (søtype 9, 10, 11 og 13) varierede medianværdien af den gennemsnitlige individbiomasse mellem 13 og 46 g/individ og var lavest i den brakke søtype 11. Det vil sige, at der generelt var en lavere individbiomasse i søer med højere næringsstofniveau.

**Tabel 3.7.** Oversigt over nøgledata for fisk i de 180 KT-søer fordelt på ni søtyper (se tabel 1.1), som er undersøgt i perioden 2017-2022 (fire søer er dog undersøgt i 2015 og 2016; to søer, der er undersøgt tidligere, er ikke medtaget i beregningerne). Rovfiskenes andel er beregnet som den procentvise andel af gedde+aborre+sandart  $\geq 10$  cm af totalbiomassen. Karpfiskenes andel er beregnet som den procentvise andel af skalle+rudskalle+brasen+hybrider af totalbiomassen. Data er volumenkorrigerede i forhold til de enkelte dybdezoners i henhold til den tekniske anvisning (Johansson & Lauridsen, 2011). For individbiomassen er to søer ikke inkluderet, da disse var uden fisk. CPUE: Catch Per Unit Effort.

Søtype	CPUE (antal/net)					CPUE (kg/net)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	34	26	0	111	6	1,5	1,5	0,0	3,5	6
2	22	22	20	25	2	1,4	1,4	1,3	1,5	2
5	19	9	0	57	7	1,1	0,9	0,0	3,2	7
6	26	26	26	26	1	0,3	0,3	0,3	0,3	1
9	172	153	1	459	86	4,5	4,2	0,0	11,8	86
10	116	93	5	373	43	2,7	2,7	0,5	4,8	43
11	90	45	0	270	20	2,9	1,6	0,0	16,1	20
13	91	62	23	233	10	3,5	3,2	0,0	8,2	10
15	47	47	7	88	2	1,5	1,5	1,3	1,7	2

Søtype	Rovfisk (vægt, %)					Karpfisk (vægt, %)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	37	30	0	98	6	20	0	0	75	6
2	75	75	57	92	2	25	25	8	42	2
5	53	73	0	100	7	16	0	0	82	7
6	16	16	16	16	1	64	64	64	64	1
9	38	33	0	100	87	47	51	0	89	87
10	38	40	4	93	43	49	50	0	93	43
11	19	1	0	81	20	30	9	0	83	20
13	27	15	0	85	10	43	42	0	91	10
15	50	50	0	99	2	48	48	0	96	2

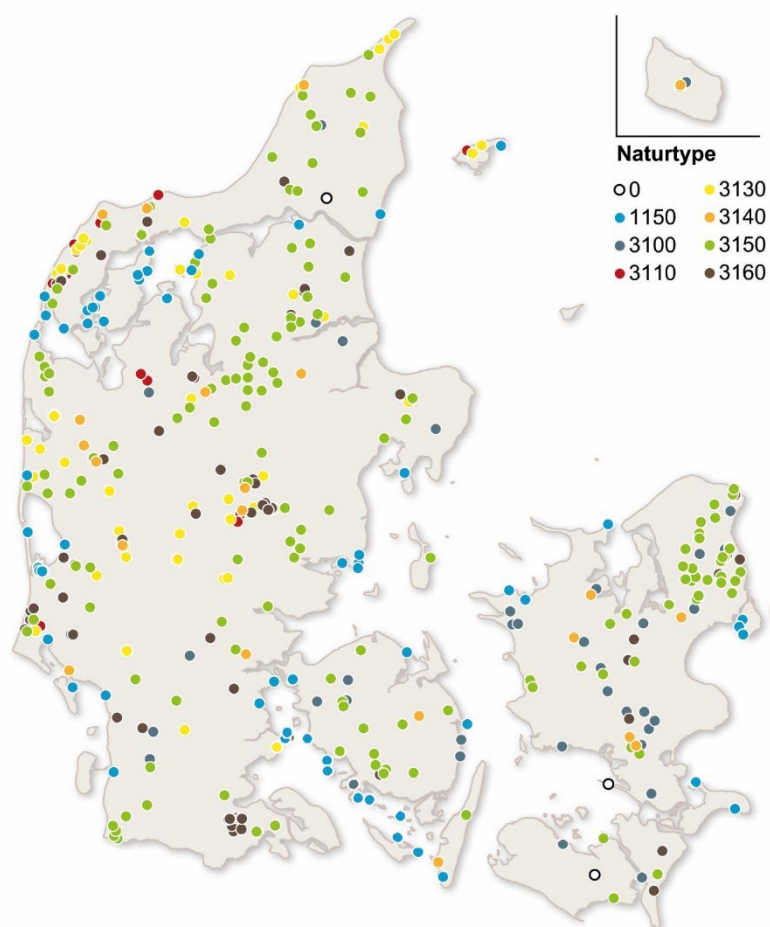
  

Søtype	Gennemsnitlig individbiomasse (g/individ)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	55	55	22	86	4
2	63	63	59	67	2
5	70	81	41	104	5
6	12	12	12	12	1
9	34	28	9	95	87
10	31	24	10	98	43
11	83	13	1	1029	19
13	52	46	1	142	10
15	109	109	20	198	2

## 4 Kontrolovervågningen af habitatnaturtyper i vandhuller og småsøer <5 ha

Kontrolovervågningen, som er en del af kortlægningen af habitatnaturtyper i søer <5 ha omfattede i perioden 2007-2022 i alt 432 vandhuller (<1 ha, 221 stk.) og småsøer (1-5 ha, 211 stk.), herefter kaldet søer i dette kapitel. De fleste af dem blev undersøgt to gange (nogle flere gange) i perioden. Langt de fleste af de undersøgte søer (ca. 6000) i kortlægningen generelt findes inden for Natura 2000-områderne, men søerne i kontrolovervågningen er fordelt over hele landet, og en del af disse findes altså uden for Natura 2000-områder. Figur 4.1 viser placeringen af de 432 søer. En oversigt over habitatnaturtyper i søer findes i tabel 4.1.

**Figur 4.1.** Placering af vandhuller og småsøer <5 ha, der er indeholdt i kontrolovervågningen af habitatnaturtyper i perioden 2007-2022. De enkelte habitatnaturtyper er markeret med hver sin farve. Beskrivelser af naturtype-koderne findes i tabel 4.1.



**Tabel 4.1.** Oversigt over de danske habitatnaturtyper i søer.

Naturtypenr.	Beskrivelse
1150	Kystlaguner og strandsøer.
3100	Søer og vandhuller, der ikke kan henføres til en af habitatnaturtyperne,
3110	Kalk- og næringsfattige søer og vandhuller (lobeliesøer).
3130	Ret næringsfattige søer og vandhuller med små amfibiske planter ved bredden.
3140	Kalkrige søer og vandhuller med kransnålalger.
3150	Næringsrige søer og vandhuller med flydeplanter eller store vandaks.
3160	Brunvandede søer.
0	Naturtype kan ikke bestemmes.

Kontrolovervågningen af søer er udført efter samme program, som omfatter resten af søerne i kortlægningen. Dog suppleres kortlægningsdata i kontrol- overvågningen med analyse af nogle enkelte vandkemiske nøgleparametre.

Ved udvælgelsen af søer til kontrolovervågningen blev det tilstræbt, at der blandt søerne skulle være en så ligelig fordeling af de enkelte søtyper som muligt, for at disse hver især er så godt repræsenteret som muligt. Sammen- sætningen afspejler altså ikke vandhuller og småsøer i Danmark generelt (se også kapitel 1). Ligeledes blev det forsøgt at opnå en nogenlunde ligelig for- deling mellem søer med et areal mindre end 1 ha og søer med et areal på 1-5 ha. Udvalgelsen blev primært foretaget blandt søer, som tidligere var under- søgt i den nationale overvågning i perioden 2004-2007 (Ekstensiv-2 eller Eks- tensiv-3 søer, se kapitel 1), eller som var indeholdt i den første kortlægning af vandhuller og småsøer, der blev foretaget i 2007. Endvidere blev der taget hensyn til den geografiske fordeling.

Blandt de kendte og tidligere undersøgte søer viste det sig, at det ikke var muligt at opnå den ønskede fordeling mellem naturtyperne. Der blev derfor suppleret med søer, som var undersøgt i andre sammenhænge, eller der blev foretaget tilfældig udvælgelse af søer, som ikke var undersøgt før, men hvor der var en begrundet formodning om, at den ønskede naturtype blev fundet. Søerne i kontrolovervågningen afspejler således ikke sammensætningen af vandhuller og småsøer <5 ha i Danmark generelt. Målet var derimod at opnå et generelt billede af hver af de seks naturtyper nævnt i tabel 4.1, og at hver type ville udgøre ca. 1/6 eller 17 % af den totale mængde af søer i kontrol- overvågningen. Det skal dog bemærkes, at det på forhånd var erkendt, at lo- beliesøerne (type 3110) formentlig ikke kunne findes i et antal, så de udgjorde 17 % af søerne.

Fordelingen af de 432 søer i kontrolovervågningen på naturtyper ses i figur 4.2. og beskrives i teksten nedenfor.

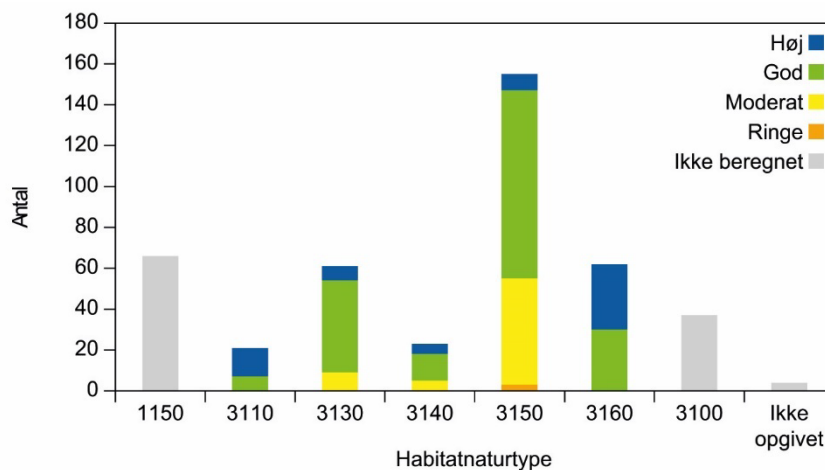
#### 4.1 Fordeling af søerne på de enkelte habitatnaturtyper

Naturtypen af de enkelte søer bestemmes i henhold til habitatnøglen (findes på MST's hjemmeside) og fordelingen ses af figur 4.2. På baggrund af de indsamlede artslistor og registrering af strukturelle indikatorer ved kortlægning- en (se kapitel 2) kan naturtilstanden for hver af søerne beregnes (se Freds- havn 2009). Resultatet af denne beregning er en indekssværdi mellem 0 og 1. Jo tættere værdien ligger på 1, des mere uforstyrret anses søen for at være.

Indeksværdierne kan oversættes til naturtilstand, hvor 0-0,2=dårlig, 0,2-0,4=ringe, 0,4-0,6=moderat, 0,6-0,8=god, 0,8-1=høj. Beregningen af naturtilstanden knytter sig til naturtypen for den enkelte sø, og fordelingen af søer på de enkelte tilstandsklasser (i interval af 0,2) ses også i figur 4.2. Der er ikke udviklet et tilstandsvurderingssystem for type 1150, og søer af denne type indgår derfor ikke i disse beregninger.

Hvis en sø er undersøgt flere gange, er resultaterne af den seneste undersøgelse vist.

**Figur 4.2.** Fordeling af naturtyperne på 432 søer i kontrolovervågningen af habitatnaturtyper (se tabel 4.1). Fordelingen af naturtilstandsklassen for hver type er angivet med farver. Der er ikke udviklet tilstandsvurderingssystem for type 1150.



Lidt over en tredjedel (155) af de undersøgte søer blev bestemt til type 3150 (næringsrige søer), og denne type udgør dermed størstedelen af søerne. De næsthyppigste typer var type 1150 (kystlaguner og strandsøer), type 3130 (søer med små amfibiske planter) og type 3160 (brunvandede søer), hvoraf der blev fundet omkring 60 af hver. Af type 3110 (lobeliesøer) og type 3140 (kransnålalgesøer) blev der fundet ca. 20 af hver, mens 37 søer ikke kunne henføres til en naturtype. For enkelte søer var kortlægningen umulig, og naturtypen kunne derfor ikke fastlægges. Dette kan f.eks. skyldes, at undersøgelsen måtte opgives, fordi søen på undersøgelsestidspunktet var udtørret, eller at tilgang til søen var umulig.

Ved anvendelse af naturtilstandssystemet (Fredshavn, 2009) beregnes naturtilstanden for de fleste af de søer, hvor det er muligt (se ovenfor), til at være i god eller høj tilstand. Tilstanden er beregnet for 322 søer, hvor totalt set 253 søer er i god eller høj tilstand. 66 søer er i moderat tilstand og tre søer i ringe tilstand. Ses der på de enkelte typer, er alle lobeliesøer (type 3110) og alle brunvandede søer (type 3160) i enten god eller høj tilstand. 15-20 % af søerne med små amfibiske planter og af kransnålalgerne (henholdsvis type 3130 og 3140) er i moderat tilstand, resten i god eller høj tilstand. Type 3150 har den højeste andel af søer, som ikke er i god/høj tilstand, nemlig ca. en tredjedel i moderat tilstand og tre søer i ringe tilstand.

## 4.2 Vandkemiske undersøgelser

Tabel 4.2 giver en oversigt over de statistiske variable baseret på en enkelt prøve taget i forbindelse med kortlægningen. Resultater af de vandkemiske analyser ligger i VanDa, hvor søerne er registreret med et observationsstednr. Dette observationsstednr skal også registreres i naturdatabasen for den pågældende sø. Kun søer, hvor der er angivet et observationsstednr. i naturdatabasen er medtaget og kun, hvis datoen i naturdatabasen og i VanDa matcher

hinanden. Hvis en sø er undersøgt flere gange i perioden 2007-2022, er der kun vist resultater fra den seneste undersøgelse. Resultaterne er ligeledes præsenteret som boxplots for de enkelte habitatnaturtyper i figur 4.3.

Resultaterne af vandkemianalyserne dækker kun over en enkelt måling i hver sø i løbet af sommeren, og prøverne er taget på forskellige tidspunkter (juni-september). Der gives dermed ikke nogen informationer om sæsonvariationen og kun et meget overordnet billede af de kemiske forhold i de enkelte søtyper. Resultaterne af kemianalyserne skal derfor tolkes meget forsigtigt, idet søers næringsstofindhold altid vil variere betydeligt i løbet af sæsonen.

Vandkemianalyserne viser store forskelle inden for de enkelte naturtyper og også imellem naturtyperne. Naturtype 3110, 3130 og 3140 er generelt de mest næringsfattige og har også det laveste indhold af klorofyl *a*. I de fleste af disse er indholdet af totalfosfor under 0,04 mg/L og klorofyl *a* under 10 µg/L, mens indholdet af totalfosfor og klorofyl *a* i de øvrige og mere næringsrige sønaturtyper ofte er over henholdsvis 0,1 mg/L og 20 µg/L.

For især de næringsrige naturtyper er der en tendens til, at søerne mindre end 1 ha har et højere indhold af næringsstoffer end søerne mellem 1 og 5 ha. Eksempelvis er medianværdien for totalfosfor i naturtype 3150 på 0,08 mg/L i søer mellem 1 og 5 ha, men 0,24 mg/L i søerne mindre end 1 ha. De tilsvarende værdier for totalkvælstof er henholdsvis 1,1 mg/L og 2,1 mg/L. For både de næringsfattige og næringsrige naturtyper er der også en tendens til, at de mest ekstreme værdier af både indhold af næringsstoffer og klorofyl *a* ses i søerne mindre end 1 ha. Dette er i overensstemmelse med Søndergaard m.fl. (2005).

Som forventet er alkaliniteten lavest i naturtype 3110 (kalk- og næringsfattige søer), hvor den i de fleste søer er under 0,05 mmol/L. Det er bemærkelsesværdigt, at alkaliniteten i naturtype 3140, der beskrives som kalkrige søer, ikke er specielt høj, og at alkaliniteten i søerne mindre end 1 ha som medianværdi blot er på 0,55 mmol/L. Denne sønaturtype er dog kun repræsenteret af ni søer mindre end 1 ha og ni søer mellem 1 og 5 ha.

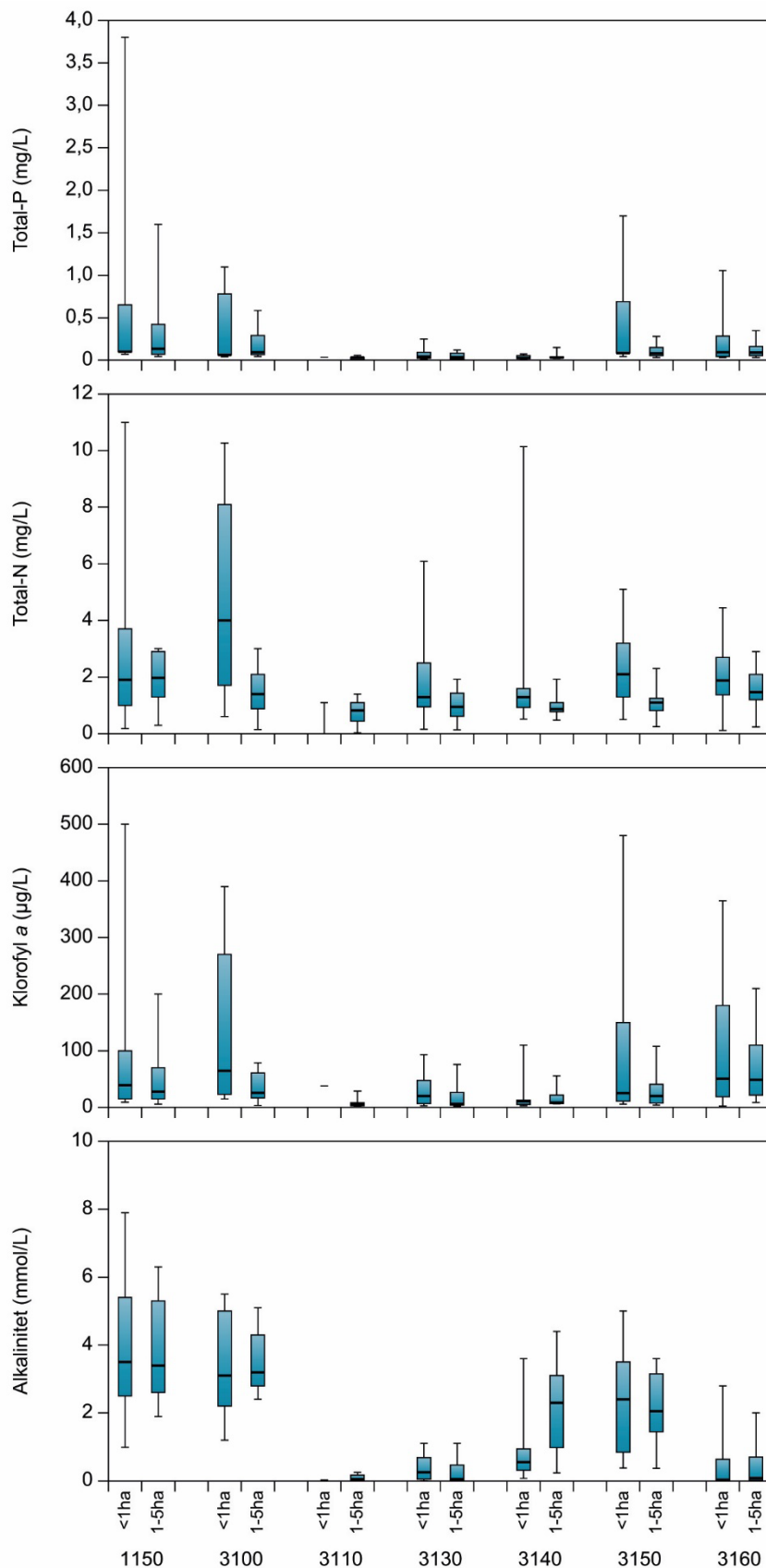
Som nævnt bliver kortlægningsdata i kontrolovervågningen suppleret med en analyse i vandoverfladen af vandkemiske nøgleparametre (se kapitel 1). For de fleste vandhuller og småsøer bliver der i kontrolovervågningen iht. Habitatdirektivet kun taget en enkelt vandkemiprøve i forbindelse med kortlægningen, der foretages fra 15. juni til 15. september. Siden 2016 er en udvalgt del af småsøerne på 1-5 ha i kontrolovervågningen af habitatnaturtyper inkluderet i den operationelle overvågning i henhold til vandrammedirektivet. Disse bliver, ligesom søerne >5 ha, undersøgt hver måned i sommerperioden fra maj til september. For disse er det derfor muligt at beregne et sommergennemsnit, jf. kriterierne angivet i bilag 1. Disse gennemsnitsresultater udtrykker, modsat resultater fra en enkelt prøve, også sæsonvariationen for de enkelte parametre. Eftersom disse søer er specifikt udvalgte på baggrund af vandrammedirektivet, er sommergennemsnittet for disse søer ikke behandlet nærmere i dette afsnit, men der er givet en status i tabel 4.4.



**Tabel 4.2** Statistiske data for variable målt i sønaturtyperne. Data er baseret på en enkelt prøve taget i forbindelse med kortlægningen. Kun søer, hvor der er angivet et observationsstednr. i naturdatabasen, og hvor datoen i naturdatabasen og i VanDa matcher hinanden, er medtaget. Hvis en sø er undersøgt flere gange i perioden 2007-2022, er resultater fra den seneste undersøgelse vist. Se tabel 4.1 for beskrivelse af sønaturtyperne.

	Type Str. (ha)	1150		3100		3110		3130		3140		3150		3160	
		<1	1-5	<1	1-5	<1	1-5	<1	1-5	<1	1-5	<1	1-5	<1	1-5
Totalfosfor (mg/L)	Antal	27	26	13	10	1	15	27	32	9	9	82	40	20	33
	Med.	0,3	0,14	0,41	0,1	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,24	0,08	0,09	0,09
	Gns.	0,89	0,4	0,78	0,20	0,04	0,03	0,11	0,07	0,04	0,05	0,55	0,14	0,35	0,15
	Min.	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04	0,003	0,007	0,005	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
	Maks.	5,6	2,3	5,3	0,59	0,04	0,08	0,96	0,42	0,08	0,15	4,2	1,1	2,7	0,76
Totalkvælstof (mg/L)	Antal	27	26	13	10	1	15	27	32	9	9	81	40	20	33
	Med.	1,9	1,98	4	1,4	1,1	0,83	1,3	0,95	1,3	0,87	2,1	1,1	1,88	1,47
	Gns.	3,8	2,7	5,1	1,6	1,1	0,8	2,5	1,3	2,3	1,0	3,3	1,3	2,3	1,9
	Min.	0,77	0,42	1,1	0,72	1,1	0,40	0,15	0,29	0,42	0,3	0,54	0,32	0,74	0,79
	Maks.	19	13	15	3,3	1,1	1,5	12,5	5	10,1	1,9	25	6,7	6,8	6,8
Klorofyl a (µg/L)	Antal	27	26	13	10	1	14	27	32	9	9	82	40	20	33
	Med.	39	27,5	65	26	38	5,3	20	6,6	11	8,6	25,5	20	50,5	49
	Gns.	197,5	59,6	143,2	36,6	38,0	10,8	50,4	31,0	20,2	18,5	168,0	45,0	136,2	85,4
	Min.	8,5	4,4	7	3,8	38	1,1	1,6	0,96	3,1	6,7	1,2	2,1	1,7	1,8
	Maks.	2900	260	440	80	38	45	560	380	110	56	2200	470	850	420
Alkalinitet (mmol/L)	Antal	27	26	13	10	1	15	27	32	9	9	84	40	20	33
	Med.	3,5	3,4	3,1	3,2	0,023	0,049	0,25	0,052	0,55	2,3	2,4	2,05	0,031	0,083
	Gns.	4,08	4,11	3,45	3,48	0,02	0,09	0,54	0,36	1,08	2,13	2,46	2,20	0,60	0,66
	Min.	0,0025	1	0,4	2,4	0,023	0,009	0,0025	0	0,068	0,23	0,0025	0,096	0,0025	0
	Maks.	11	12	6,5	5,3	0,023	0,29	3,3	3,3	3,6	4,4	7,9	4,5	3,5	5,1

**Figur 4.3.** Boxplots, der viser data for variable målt i sønaturtyperne. Data er baseret på en enkelt prøve taget i forbindelse med naturtypekortlægningen. Hver box viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Kun søer, hvor der er angivet et korrekt observationsstednr. i naturdatabasen, og hvor datoen i naturdatabasen og i VanDa matcher hinanden, er medtaget. Hvis en sø er undersøgt flere gange i perioden 2007-2022, er kun resultater fra den seneste undersøgelse inkluderet. Se tabel 4.1 for beskrivelse af sønaturtyperne.



**Tabel 4.4** Analyser af vandkemiske nøgleparametre i vandoverfladen opnået i forbindelse med kontrolovervågningen (se kapitel 2) af søer på 1-5 ha. Data er baseret på sommergennemnit beregnet på baggrund af månedlige undersøgelser fra maj til september. Se tabel 4.1 for beskrivelse af sønaturtyperne.

	<b>Naturtype</b>	<b>0</b>	<b>1150</b>	<b>3100</b>	<b>3110</b>	<b>3130</b>	<b>3140</b>	<b>3150</b>	<b>3160</b>
	<b>Størrelse (ha)</b>	<b>1-5</b>	<b>1-5</b>	<b>1-5</b>	<b>1-5</b>	<b>1-5</b>	<b>1-5</b>	<b>1-5</b>	<b>1-5</b>
Totalfosfor (mg/L)	Antal	1	17	3	11	19	3	9	20
	Median	0,09	0,27	0,13	0,03	0,04	0,03	0,05	0,09
	Gennemsnit	0,09	0,39	0,14	0,04	0,06	0,03	0,09	0,14
	Minimum	0,09	0,03	0,06	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03
	Maksimum	0,09	1,70	0,23	0,07	0,32	0,04	0,32	0,84
Totalkvælstof (mg/L)	Antal	1	17	3	11	19	3	9	20
	Median	1,13	2,28	1,52	0,84	1,00	0,71	0,88	1,63
	Gennemsnit	1,13	2,70	1,61	0,88	1,22	0,71	1,02	1,88
	Minimum	1,13	0,54	0,70	0,48	0,41	0,29	0,42	0,68
	Maksimum	1,13	8,13	2,60	1,48	5,75	1,14	1,66	7,95
Klorofyl a (µg/L)	Antal	1	17	3	11	19	3	9	20
	Median	122,5	50,6	31,2	11,4	9,6	6,4	15,0	62,8
	Gennemsnit	122,5	60,1	72,7	16,0	70,3	6,8	25,9	83,4
	Minimum	122,5	3,4	15,5	1,7	1,1	4,8	7,2	13,9
	Maksimum	122,5	154,5	171,3	63,5	793,7	9,2	75,8	271,6
Sigtdybde (m)	Antal	1	17	3	11	19	3	9	20
	Median	0,5	0,4	1,1	0,8	0,8	2,2	1,1	0,5
	Gennemsnit	0,5	0,4	0,9	1,4	0,9	2,2	1,5	0,6
	Minimum	0,5	0,2	0,4	0,4	0,3	1,4	0,7	0,1
	Maksimum	0,5	1,2	1,1	4,3	3,1	3,1	3,9	1,6
Alkalinitet (mmol/L)	Antal	1	17	3	11	19	3	9	20
	Median	0,01	3,64	4,29	0,05	0,04	0,91	1,87	0,04
	Gennemsnit	0,01	4,09	3,99	0,10	0,31	1,72	2,17	0,33
	Minimum	0,01	2,18	2,34	0,02	0,003	0,65	0,47	0,003
	Maksimum	0,01	7,28	5,33	0,30	2,99	3,60	3,97	4,34

### 4.3 Sammenligning med tidligere undersøgelser

Som ovenfor beskrevet er en stor del af søerne i kontrolovervågningen undersøgt to og i nogle tilfælde flere gange i perioden 2007-2022. For disse søer er det dermed muligt at sammenligne resultaterne fra to undersøgelser, der er foretaget med nogle års mellemrum. I langt de fleste tilfælde er naturtypen bestemt ved hver undersøgelse, men ofte er naturtypen bestemt forskelligt med års mellemrum i samme sø. Som nævnt er beregningen af naturtilstanden knyttet til naturtypen, og derfor er der kun foretaget sammenligning af naturtilstanden, hvis søen er bestemt til samme naturtype ved de to undersøgelser.

En GIS-analyse foretaget af Miljøstyrelsen på baggrund af data i Naturdata-basen gav en oversigt over, hvilke år de enkelte søer i kontrolovervågningen var undersøgt, og hvilken naturtype de tilhørte. Denne analyse viste, at for 246 af de 432 søer i kontrolovervågningen var naturtypen den samme ved alle kortlægninger. Af disse blev 180 søer bestemt til en naturtype, som er inkluderet i beregningen af naturtilstand (se Fredshavn 2009), dvs. naturtype 3110, 3130, 3140, 3150 eller 3160. 55 søer var af typen 1150 og 11 af typen 3100 og indgår altså ikke i sammenligningen.

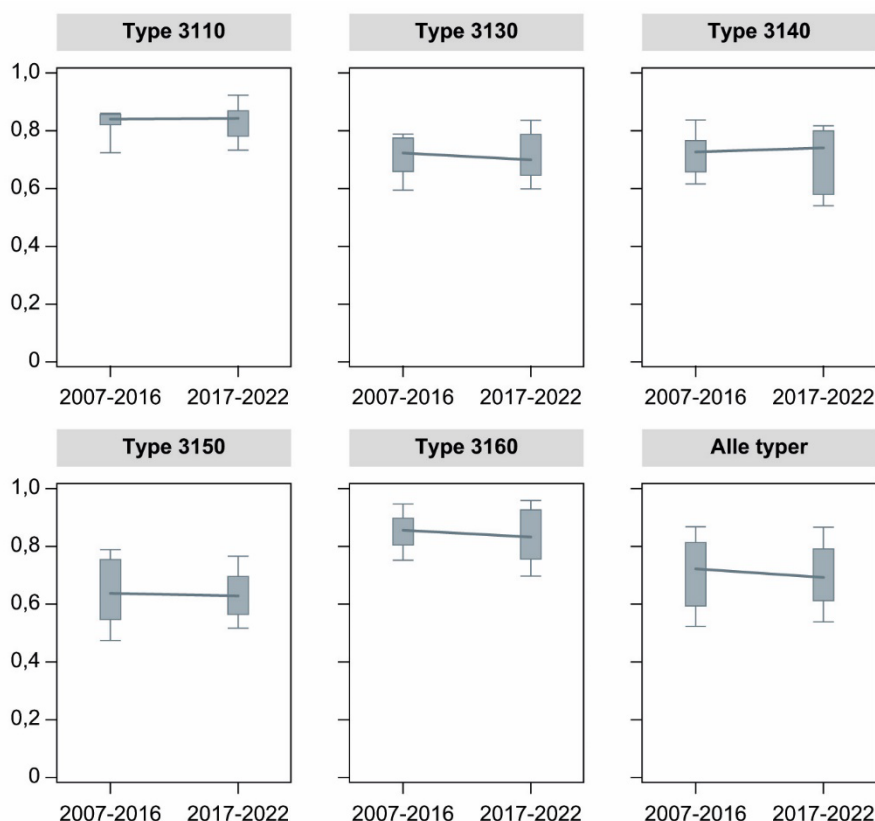
Det er ikke undersøgt nærmere, hvorfor så mange af søerne ikke er bestemt til samme naturtype i alle undersøgelser. Siden 2007 er der opnået en større erfaring med dette arbejde, så metodiske forskelle sjældnere giver anledning

til skift i naturtype. Derudover er de tekniske anvisninger og retningslinjer gentagne gange blevet præciseret, og der er opnået en fælles forståelse for disse. Skift i naturtype kan i mange tilfælde have en naturlig forklaring, da plantesamfundet kan ændre sig, hvilket kan give anledning til en ændring i naturtypen.

I langt de fleste tilfælde er der foretaget en kortlægning i en given sø i perioden 2007-2016 og igen i perioden 2017-2022. Dog er der i 12 tilfælde foretaget to undersøgelser i perioden 2007-2016 og ingen i perioden 2017-2022. Hvis den seneste af disse kortlægninger er foretaget i 2016, er denne "flyttet" til perioden 2017-2022. Hvis der er foretaget flere undersøgelser i samme periode, er der her taget et gennemsnit af resultaterne af naturtilstandsberegningen.

Resultatet af sammenligninger i naturtilstanden i de forskellige naturtyper i de to undersøgelsesperioder fremgår af figur 4.4. Generelt beregnes naturtilstanden som værende forholdsvis høj i begge de undersøgte perioder for alle naturtyperne. Som for lignende sammenligninger i denne rapport er forskelle mellem de to perioder testet ved en parret t-test (hvis data er normalfordelte) eller en Wilcoxon signed rank test (hvis data ikke er normalfordelte). Disse tests viser ingen signifikante ændringer i nogen af naturtyperne imellem de to perioder.

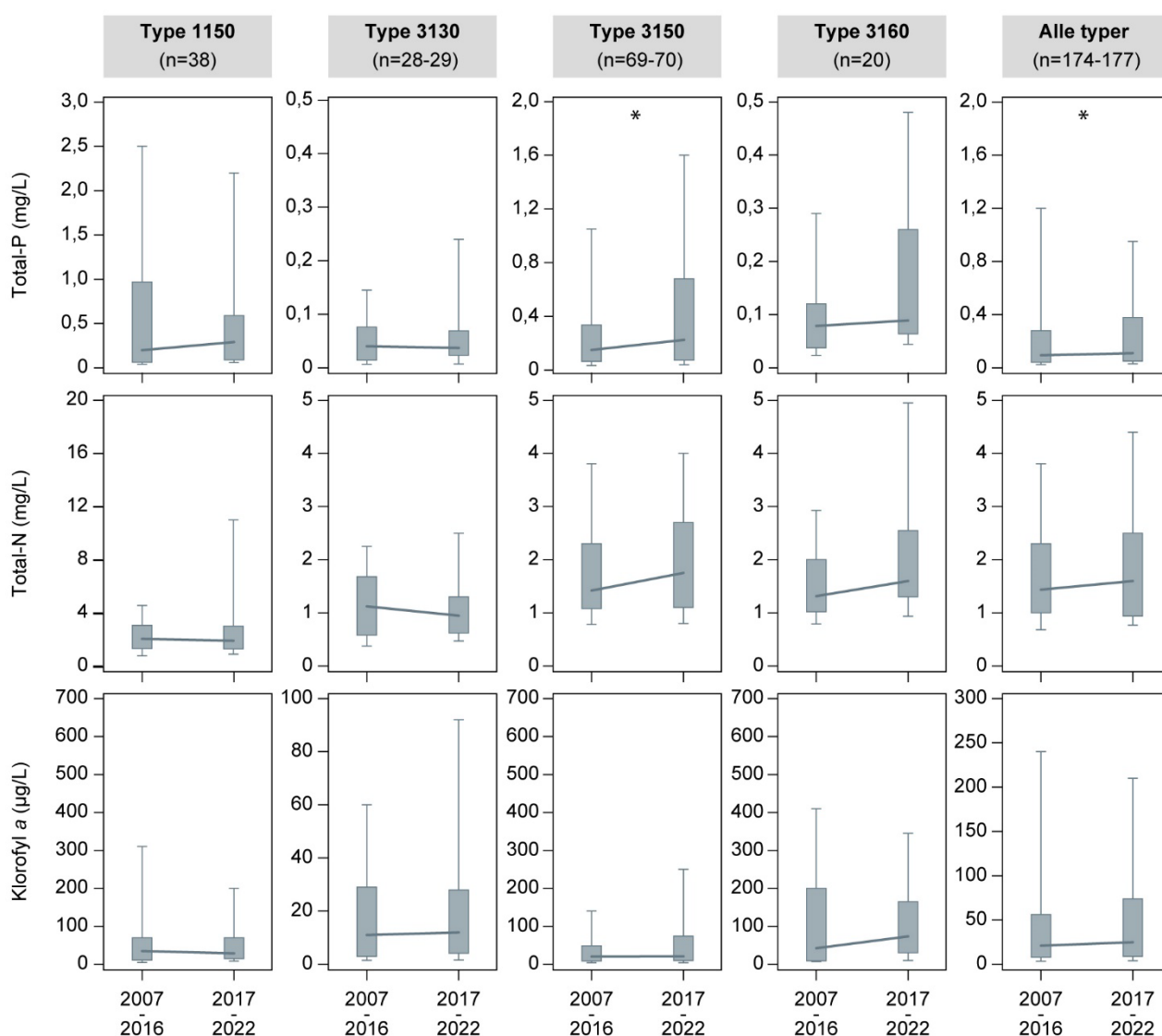
**Figur 4.4.** Forskel i naturtilstand mellem perioderne 2007-2016 og 2017-2022. Enkelte søer, der er undersøgt flere gange i perioden 2007-2016, og hvor den seneste undersøgelse ligger i 2016, og som ikke er undersøgt i perioden 2017-2022, er "flyttet" til denne periode. Hvis der er foretaget flere kortlægninger i en periode, er der taget et gennemsnit af resultaterne for de enkelte undersøgelser. Søjlerne med whiskers viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne.



En anden måde at få et indtryk af udviklingen i søerne er at anvende de kemiske parametre, der omfatter totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl *a*. Ved denne sammenligning er der anvendt en anden tilgang end ved sammenligning af naturtilstanden ovenfor. For det første er det muligt at inkludere typerne 1150 og 3100. Desuden er der ved mange af de tidligste undersøgelser ikke taget prøver til analyse af vandkemi. Derfor er der anvendt følgende praksis: Hvis en sø ikke har skiftet type, og hvis der findes mindst én undersøgelse, både i perioden 2007-2016 og i perioden 2017-2022 (dog er nogle søer

”flyttet” fra første til anden periode, som beskrevet ovenfor), er søen inkluderet i undersøgelsen. Hvis der er flere undersøgelser i en given periode, er der også her taget et gennemsnit. Ved denne tilgang indgår der i alt 177 søer i analysen. For type 3100, 3110 og 3140 var der mindre end 10 søer, der kunne sammenlignes, så disse er udeladt af analysen.

Resultaterne af analysen er vist i figur 4.5. Figuren viser som tidligere en betydelig forskel imellem de forskellige naturtyper og en stor variation inden for de enkelte naturtyper. Samtidig ses mere eller mindre uændrede koncentrationer af næringsstoffer og klorofyl *a* imellem de to perioder for de enkelte naturtyper. Hvis der anvendes samme statistiske test, som beskrevet ovenover, så er de eneste signifikante ændringer imellem de to perioder totalfosfor i type 3150 og totalfosfor, hvis alle typer slås sammen, hvor der i begge tilfælde er sket en forøgelse i koncentrationen. Se evt. afsnit 3.3 ang. tolkning af testresultaterne og den grafiske fremstilling ved boxplots.



**Figur 4.5.** Indholdet af totalfosfor (øverste, mg/L), totalkvælstof (midterste, mg/L) og klorofyl *a* (nederste, µg/L) i de søer og naturtyper, som er undersøgt både i perioden 2007-2016 og perioden 2017-2022. Bemærk forskellig skala. Søjlerne med whiskers viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne. \*) betyder signifikant højere værdi i perioden 2017-2022 end i 2007-2016. Se beskrivelse af den statistiske test i teksten og i bilag 1.

## 5 Klima og afstrømning

Variationer i de klimatiske forhold og afstrømning kan både direkte og indirekte influere på søernes miljøtilstand.

I nedbørsrige år med stor afstrømning vil der generelt være en større tilførsel af næringsstoffer fra dyrkede og udyrkede arealer til søerne. Vandets opholdstid vil til gengæld være kortere, og derfor vil der være en tendens til, at stoftilbageholdelsen i søerne i procent af tilførslen vil være relativt mindre end i nedbørsfattige år.

Temperaturen påvirker direkte en bred række af processer (f.eks. søernes temperaturlagdeling, fiskenes gydetidspunkt, organismernes vækst, tidspunkt for undervandsplanternes vækst og henfald samt udvekslingen af næringsstoffer mellem sediment og vand og dermed den interne fosforfrigivelse) i søerne. Derfor kan forskelle i temperaturniveauet og sæsonforløbet være en medvirkende årsag til forskelle i den generelle miljøtilstand mellem de enkelte år.

Også de øvrige klimatiske faktorer (f.eks. vindforhold eller solskinstimer) påvirker i højere eller mindre grad søernes tilstand og udvikling. Kendskab til variationer i de klimatiske forhold er således nødvendig, når resultaterne fra søovervågningen skal tolkes. Der kan også være tale om mere generelle og vedvarende klimaforandringer i eksempelvis temperatur og nedbørsmønstre, som kan påvirke søernes tilstand.

Klimadata vist i dette afsnit er tilvejebragt via DMI's GRID-data (<http://nova.dmi.dk>). Data på temperatur- global indstråling og vind er baseret på data fra 20x20 km kvadrater, de såkaldte "grid-værdier", mens nedbøren er baseret på 10x10 km grids. For alle parametre er grids'ene "klippet" ved kystlinjen og derefter beregnet for arealet inden for kystlinjen. Det bemærkes, at de anvendte nedbørsværdier er de observerede værdier, som ikke er korrigeret til jordoverfladen. For datagrundlag og beregningsmetoder af ferskvandsafstrømningen henvises til Thodsen m.fl. (2023).

I dette kapitel gives der en kort oversigt over de klimatiske forhold i 2022 sammenlignet med perioden 1990-2021.

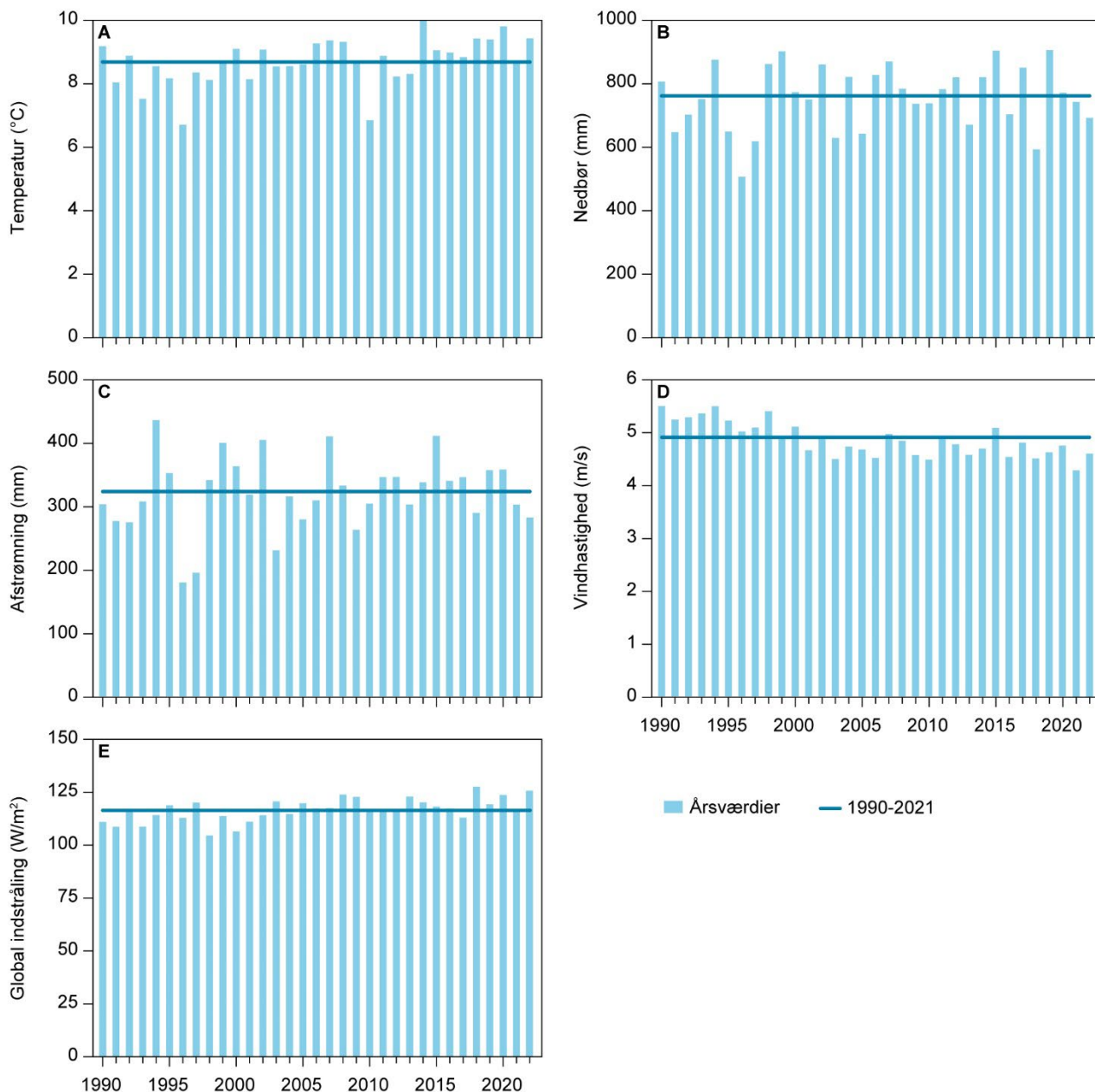
### 5.1 Temperatur og global indstråling

For Danmark som helhed var årets gennemsnitlige temperatur i 2022 på 9,4 °C, hvilket var en væsentlig højere temperatur end gennemsnittet for perioden 1990-2021 (8,7 °C) (figur 5.1A). Januar, og februar samt sensommeren og efteråret var varmere i 2022 end gennemsnittet for perioden 1990-2021, mens december var koldere end gennemsnittet for perioden 1990-2021 (figur 5.2A).

Den gennemsnitlige årsværdi af den globale indstråling varierer kun lidt fra år til år (figur 5.1E). I 2022 var den lidt højere end gennemsnittet for perioden 1990-2021. Det skyldes kun, at indstrålingen i marts var højere end gennemsnittet, mens indstrålingen i de øvrige måneder var omtrent gennemsnitlig (figur 5.2E).

## 5.2 Nedbør

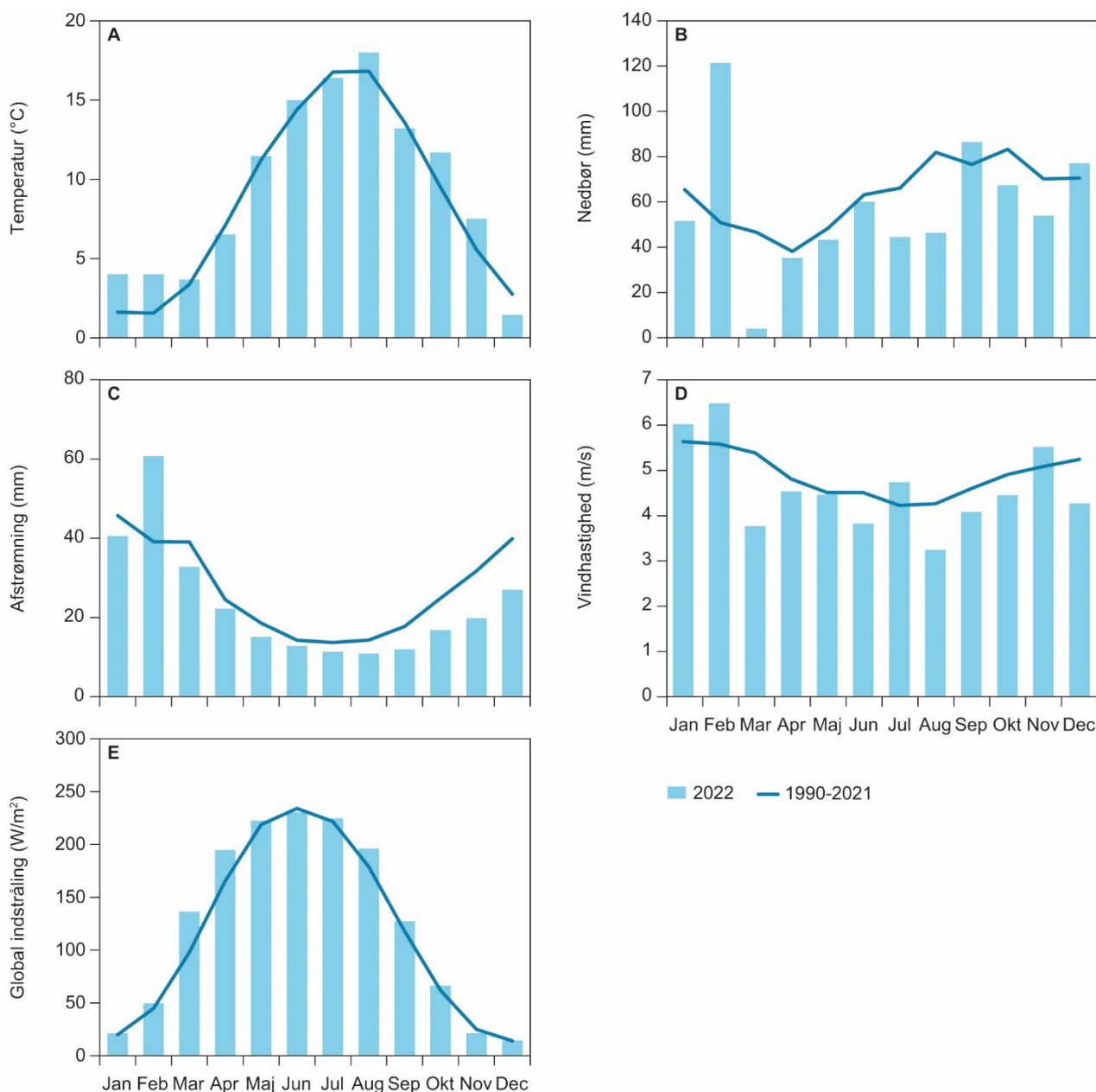
I 2022 kom der 694 mm nedbør, hvilket er noget mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2021 (761 mm) (figur 5.1B). Der var store variationer over året, og i februar 2022 kom der over dobbelt så meget nedbør (122 mm) som gennemsnittet for perioden 1990-2021 (51 mm) (figur 5.2B). Marts 2022 var til gengæld knastør (4 mm) sammenlignet med gennemsnittet for 1990-2021 (47 mm). Både juli, august, oktober og november 2022 var desuden ret tørre i forhold til gennemsnittet (figur 5.2B).



**Figur 5.1.** Gennemsnitlige årsværdier for lufttemperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) for Danmark fra 1990 til 2022. Data for temperatur, vindhastighed, nedbør og global indstråling er baseret på DMI's data. Ang. afstrømning se Thodsen m.fl. (2024). Desuden er gennemsnittet for perioden 1990-2021 indlagt. Data repræsenterer hele Danmark.

### 5.3 Afstrømning

Den arealspecifikke ferskvandsafstrømning var i 2022 på 284 mm, hvilket er 12 % lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2021 (323 mm) (figur 5.1C). Afstrømningen var meget høj i februar, mens den i de øvrige måneder var lavere end den gennemsnitlige afstrømning for perioden 1990-2021 (figur 5.2C).



**Figur 5.2.** Månedsværdier for temperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) i 2022 samt gennemsnittet for perioden 1990-2021. Data for temperatur, vindhastighed, nedbør og global indstråling er baseret på DMI's data. Ang. afstrømning se Thodsen m.fl. (2023). Data fra hele Danmark.

### 5.4 Vindforhold

Den gennemsnitlige årlige vindhastighed for hele Danmark var i 2022 4,6 m/s, hvilket er lidt lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2021 (4,9 m/s) (figur 5.1D). De månedlige vindhastigheder i 2022 var lidt højere i starten af året (januar og februar), mens de i resten af året var lidt under eller på niveau med gennemsnittet for perioden 1990-2021 (figur 5.2D). En reduceret vindhastighed kombineret med højere temperatur øger sandsynligheden for temperaturlagdeling i søer og dermed også konsekvenserne af en sådan lagdeling.



## 6 Referenceliste

Bjerring, R., Johansson, L.S., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Lauridsen, T.L., Kjeldgaard, A., Sortkjær, L., Windolf, J. & Bøgestrand, J. (2013). Søer 2012. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 84 s. - Videnskabeligrapport fra Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 76. <http://dce2.au.dk/pub/SR76.pdf>

Bjerring, R., Windolf, J., Kronvang, B., Sørensen, P.B., Timmermann, A., Kjeldgaard, A., Larsen, S.E., Thodsen, H. & Bøgestrand, J. (2014). Belastningsopgørelser til søer, Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 102 s. - Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi; nr. 36.

Den Europæiske Union (1992). Rådets direktiv nr. 92/43/EØF af 21. maj 1992 om bevaring af naturtyper samt vilde dyr og planter. (Habitatdirektivet) EF-tidende L206 af 22. juli, s.7-50.

Den Europæiske Union (2000). Europaparlamentets og rådets direktiv nr. 2000/60/EC af 23. oktober 2000 om fastlæggelse af en ramme for Fællesskabets vandpolitiske foranstaltninger. (Vandrammedirektivet) EF-tidende L327 af 22. december s. 1-73.

Fredshavn, J., Nygaard, B., Ejrnæs, R., Damgaard, C., Therkildsen, O.R., Elmeros, M., Wind, P., Johansson, L.S., Baisner Alnøe, A., Dahl, K., Nielsen, E.H., Pedersen, H.B., Sveegaard, S., Galatius, A. & Teilmann, J. (2019). Bevaringsstatus for naturtyper og arter - 2019. Habitatdirektivets Artikel 17-rapportering. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 52 s. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 340. <http://dce2.au.dk/pub/SR340.pdf>

Fredshavn, J.F., Jørgensen, T.B. & Moeslund, B. (2009). Beregning af naturtilstand for vandhuller og mindre søer. Tilstandsvurdering af Habitatdirektivets søtyper. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 38 s. - Faglig rapport fra DMU nr. 706. <http://www.dmu.dk/Pub/FR706.pdf>

Gonzales Sagrario, M.A., Jeppesen, E., Goma, J., Søndergaard, M., Jensen, J.P., Lauridsen, T.L. & Landkildehus, F. (2005). Does high nitrogen loading prevent clearwater conditions in shallow lakes at moderately high phosphorus concentrations? *Freshwater Biology* 50: 27-41.

Johansson, L.S., Søndergaard, M., Andersen, P.M. & Sørensen, P.B. (2023). Søer 2021. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 114 s. - Videnskabelig rapport nr. 528 <https://dce2.au.dk/pub/SR528.pdf>

Johansson, L.S. & Lauridsen, T.L. (2011). Teknisk Anvisning S05. Fiskeundersøgelse i søer. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. [https://bios.au.dk/fileadmin/bioscience/Fagdatacentre/Ferskvand/S05\\_Fiskeundersogelser\\_ver5.pdf](https://bios.au.dk/fileadmin/bioscience/Fagdatacentre/Ferskvand/S05_Fiskeundersogelser_ver5.pdf).

Larsen, S.E., Jensen, C. & Carstensen, J. (2002). Statistisk optimering af monitoringsprogrammer på miljøområdet. Eksempler fra NOVA-2003. 195 s. - Faglig rapport fra DMU, nr. 424. [http://www2.dmu.dk/1\\_viden/2\\_Publikationer/3\\_fagrapporter/rapporter/FR426.pdf](http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR426.pdf).

Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Søndergaard, M., Thodsen, H. & Blicher-Mathiesen, G. (2020). Forskelle i målt koncentration af totalkvælstof og totalfosfor i ferskvand ved at anvende de to oplukningsmetoder til organisk stof; autoklave- og UV-metode. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 53 s. – Fagligt notat nr. 38.

[https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet\\_2020/N2020\\_38.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_38.pdf)

Larsen, S.E., Windolf, J., Tornbjerg, H., Hoffmann, C.C., Søndergaard, M. & Blicher-Mathiesen, G. (2018). Genopretning af fejlbehæftede kvælstof- og fosforanalyser. Ferskvand. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 72 s. – Teknisk rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 110.

Miljøstyrelsen – søtyper.

<https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner/vandplanprojekter/soeprojekter/ny-typeinddeling-af-de-danske-soeer/>

Miljøstyrelsen (red.) og DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet, GEUS – De nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (2017). NOVANA Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2017-2021. Programbeskrivelse. 184 s.

<http://mst.dk/overvaagning/>

Miljøstyrelsen (red.) og DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet, GEUS – De nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (2022). NOVANA Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2022. Programbeskrivelse. 152 s.

<http://mst.dk/overvaagning/>

Søndergaard, M., Jeppesen, E. & Jensen, J.P. (1999). Danske søer og deres restaurering. Danmarks Miljøundersøgelser. 34 s. Temarapport fra DMU nr. 24. Danmarks Miljøundersøgelser. 34 s. Temarapport fra DMU nr. 24.

Søndergaard, M., Jeppesen, E., & Jensen, J. P. (2005). Pond or lake: does it make any difference? *Fundamental and Applied Limnology*, 162(2), 143-165.

Sørensen P.B. & A. Nielsen (2023), Statistical model concept to quantify input and output of water, nitrogen and phosphorus for lakes with partly gauged watersheds, arXiv:2312.08120 [q-bio.QM].

<https://doi.org/10.48550/arXiv.2312.08120>

Sørensen, P.B. (2024). Metode til opgørelse af massebalancer og punktkildeopsplitning for 10 KU-søer i perioden 1990-2021. In prep.

Thodsen m.fl. (2024) Vandløb 2022. Videnskabelig rapport SR590

[https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige\\_rapporter\\_500-599/SR590.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_500-599/SR590.pdf)

Tornbjerg, H., Søndergaard, M., Johansson, L.S. & Larsen, S.E. (2021). Korrektion af totalkvælstofanalyser foretaget på søprøver i perioden 2007-2017. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 13 s. Fagligt notat nr.2021 | 62

[https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater\\_2021/-N2021\\_62.pdf](https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notater_2021/-N2021_62.pdf).

## Bilag 1. Datagrundlag og metoder

Data i denne rapport er baseret på prøvetagninger ved fastlagte stationer i henholdsvis kontrolovervågningen og den operationelle overvågning af søer i NOVANA. For udvælgelse af stationer se kapitel 1. Frekvensen af prøvetagningen for de forskellige parametre fremgår ligeledes af afsnit 1 og er beskrevet mere udførligt i Miljøstyrelsen (2017).

Med hensyn til prøvetagningsmetodik for de enkelte parametre (kemiske og fysiske målinger i søvandet, prøvetagning i sediment, fiskeundersøgelser, planteundersøgelser, planktonprøvetagning og -oparbejdning og undersøgelser i naturtypesøer og artsovervågning) henvises der til de tekniske anvisninger for prøvetagning i søovervågningen på Fagdatacenter for ferskvands hjemmeside: <https://ecos.au.dk/forskningraadgivning/fagdatacentre/ferskvand/>

De kemiske nøgledata og sigtddybde er præsenteret i tabeller og figurer for hver periode (et-flere år) ved gennemsnits-, median-, minimum- og maksimumværdier og i nogle tilfælde også ved 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler for det totale antal søer i den givne periode. Disse værdier er oftest baseret på de gennemsnitlige værdier af resultater fra sommerperioden (maj-september).

### Beregning af tidsvægtede gennemsnit

*Sommergennemsnit:* Der skal være minimum fire målinger i perioden maj-september (begge inklusive). Der interpoleres til dagsværdier, således at hver dag i perioden får en værdi for den enkelte parameter, og sommergennemsnittet beregnes på baggrund af disse. Hvis der findes en måling maksimalt seks uger før en måling i maj, medtages denne i interpolationen. Hvis der ikke findes en måling maksimalt seks uger før maj, tildeles datoen 1/5 samme værdi som den første måling i maj. Tilsvarende for slutpunkter – hvis der findes en måling maksimalt seks uger efter målingen i september, tages denne med i interpolationen. Hvis der ikke findes en efterfølgende måling inden for seks uger efter målingen i september, får datoen 30/9 den samme værdi som den seneste septembermåling.

*Årgennemsnit:* Der skal være minimum én måling i hver af de tre vinterperioder oktober-november, december-februar og marts-april samt minimum fire målinger i sommerperioden maj-september. Beregning af tidsvægtet gennemsnit for de enkelte parametre foregår på den måde, at der genereres en fiktiv startobservation med datoen 1. januar. Denne værdi er den samme som den første måling i året. Ligeledes genereres der en fiktiv slut-observation med dato 31/12 af samme værdi som den sidste måling i året. Herefter sker der en interpolering, således at hver dato i året får en værdi for den enkelte parameter. På grundlag af de målte og de interpolerede værdier beregnes et tidsvægtet gennemsnit for året som helhed.

### Analyse af tidsmæssig udvikling i søerne i kontrolovervågningen

For at vurdere eventuelle udviklingstendenser i søerne er der testet for, om der er afvigelser fra nulhypotesen, dvs. om der gennem overvågningsperioden har været en statistisk sikker ændring. Mann-Kendalls ikke-parametriske test er anvendt til at teste for monotone udviklingstendenser. Nulhypotesen er, at der ikke har været en udviklingstendens i overvågningsperioden, og den

alternative hypotese er, at der er en statistisk sikker udviklingstendens. Vi har anvendt et signifikansniveau på 10 %, hvorfor der i flere tilfælde kun er tale om udviklingstendenser. I præsentationen er der dog foretaget opdeling i fire klasser baseret på testsandsynligheden: <10 %, <5 %, <1 % og <0,1 %.

### **Sammenligning af resultater for vandkemi og naturtilstand mellem to 6-års perioder i henholdsvis KT-søer og i kontrolovervågningen af habitatnaturtyper i søer.**

Data for de enkelte parametre er i nogle tilfælde logaritmetransformeret, og vha. Shapiro-Wilk-testen undersøges det, om forskellene mellem perioderne i de enkelte søer er normalfordelt. Ved normalfordeling anvendes der en parret t-test for at afgøre, om der samlet set er forskel mellem perioderne. Hvis data ikke er normalfordelt, testes forskellen vha. en Wilcoxon signed rank test.

### **Automatisk beregnede data og kvalitetssikring**

Data indsamlet i NOVANA er registreret i databasen VanDa. Desuden er vegetationsparametrene RPA (Relativt Plantedækket Areal) og RPV (Relativt Plantefyldt Volumen) samt fiskeundersøgelsesparametrene CPUE (Catch Per Unit Effort) beregnet i VanDa. Disse beregnede data er anvendt i denne rapportering. Data i VanDa er kvalitetssikrede af Miljøstyrelsen og DCE.

En beskrivelse af kvalitetssikringsprocessen for data i VanDa, foretaget af MST kan ses i de datatekniske anvisninger på <https://ecos.au.dk/forskningraadgivning/fagdatacentre/ferskvand/>. Beskrivelser af kvalitetssikring foretaget af DCE er beskrevet i et særskilt notat, der findes på ovennævnte link. En opdatering af dette notat forventes at udkomme primo 2024.

## Bilag 2 A- Belastningsmodel for vand, fosfor (P) og kvælstof (N)

Formålet med belastningsmodellen (se detaljer i Sørensen og Nielsen (2023) samt Sørensen (2024)) er at supplere de målte mængder vand, P og N i massebalancerne ved at beregne den umålte andel af vandvolumen og masse for P og N. Umålt andel kan enten hidrøre fra tilløb til søen, der ikke er opmålte, eller fra vand, der strømmer ind eller ud gennem søens bund. Den reelle betydning af belastningsmodellens usikkerhed i forhold til at kunne kvantificere en søs belastning vil derfor afhænge af, hvor stor en andel den umålte belastning udgør af den samlede belastning, hvilket varierer fra sø til sø.

Belastningsmodellen er baseret på to typer modeller: (1) En model for volumenbalance for vand, hvor den ikke-målte fraktion af vand beregnes og adskilles i to dele, svarende til et baseflow og en overfladenær tilstrømning, og (2) en model for massebalance for hhv. P og N, der anvendes til at estimere N- og P-koncentrationen i hhv. baseflow og overfladenært flow samt stofbidraget fra punktkilder. Det beregnede umålte vandvolumen og de estimerede koncentrationer i hhv. baseflow og overfladenært flow anvendes til at beregne den umålte belastning af P og N til søen. I det omfang, hvor volumenbalancen for vand afslører en udsivning af vand fra søen, vil det udsivende vandvolumen blive multipliceret med søens koncentration af hhv. P og N for at beregne et ekstra tab af næringsstofmasse fra søen, der skal lægges til næringsstoffabet gennem udløbet.

### Volumenbalance for vand

I volumenbalancen for vand defineres "baseflow" som tilstrømningen af grundvand (herunder kilder) enten direkte via søbunden eller via tilløb, og det resterende volumen af tilstrømmende vand defineres som et overfladenært flow. Et overfladenært flow kan komme fra en diffus overfladeafstrømning fra terrænet, øvre jordlag, dræn og vandtilførsel fra afledning fra befæstede arealer osv. Baseflowet refererer således til tre mulige oprindelser: (1) en andel af grundvand i det målte tilløb; (2) en andel af grundvand i det umålte tilløb (baseflow i umålte vandløb); (3) en indstrømning gennem søbunden. Det overfladenære flow refererer til to oprindelser: (1) andel af målt tilløb; (2) andel af umålt tilløb. I modellen anvendes den laveste månedlige, totale tilstrømning af vand, der er målt i et givent år, som et estimat for målt andel af baseflow i det pågældende år. Der forudsættes således, at mindste sommervandføring ikke indeholder overfladenært vand af betydning. Større regnhændelser i måneden med mindst flow kan derfor give en usikkerhed ved modellens andele af baseflow i den målte vandtilførsel, hvilket igen kan føre til forhøjede værdier af baseflow'et. Desuden kan baseflow'et reelt variere over året, hvilket den estimerede andel af baseflow'et i den målte vandtilførsel ikke tager højde for. Det overfladenære flow beregnes måned for måned ud fra de målte vandvolumener i tilløb og afløb. I tabel A1 vises en oversigt over, hvilken type af variation der tages højde for i beregningerne af volumenbalancen for vand. Det ses i tabel A1, at alle typer af vandvolumenbidrag tager højde for variation mellem år, så tørre år kan adskilles fra mere våde år. For såvel baseflow direkte gennem søbunden og overfladenært vand tager beregningerne hensyn til en generel forskel mellem måneder, hvor nogle måneder bidrager med mere/mindre vand sammenlignet med årsgennemsnittet. For eksempel vil der typisk være et højere overfladenært flow i januar end

i maj, hvilket kan betegnes som en generel årstidsafhængighed. Beregningerne for det overfladenære vand kan desuden inkludere tilfældige forskelle mellem måneder. Det vil sige forskelle, der ikke kan tilskrives en generel tendens; f.eks. kan ekstrem nedbør i maj et enkelt år give en ekstra stor tilførsel af overfladenær vand i maj og dermed skabe en atypisk situation for netop dette år i form af eksempelvis et lige så stort overfladenært vandvolumen i tilløbet i maj som i januar.

**Tabel A1.** Oversigt over, hvilke tidsmæssige variationer vandbalancemodellen inddrager, afhængigt af typen af flow og indløb.

Type af flow	Type af indløb	Variation mellem	Generel variation mellem	Tilfældig variation mellem
		år	måneder	lem måneder
Baseflow	Målt indløb	+	-	-
	Umålt indløb	+	-	-
	Umålt direkte gennem søbund	+	+	-
Overfladenært flow	Målt indløb	+	+	+
	Umålt indløb	+	+	+

De beregningsmæssige detaljer bag volumenbalancen for vand fremgår af Sørensens og Nielsen (2023).

### Massebalance for P og N

P- og N-koncentrationer i det umålte vand forudsiges ved hjælp af en statistisk model, der opdeler kilderne til næringsstof i tre komponenter: (1) diffust overfladenært bidrag; (2) diffust grundvandsbåret bidrag og (3) udledning fra punktkilder. Punktkildernes indflydelse skal identificeres både i den målte del af oplandet og i den umålte del. Punktkildebidraget kan enten beskrives som et potentielt eller et reelt bidrag. Et potentielt bidrag svarer til den samlede opførelse af bidrag fra punktkilder i oplandet uden hensyntagen til fjernelsen af stof ved transport til søens indløb. Det reelle punktkildebidrag er derimod det bidrag, som punktkilder reelt giver til belastningen af søen med hensyntagen til retentionen i vandløbssystemet på vejen hen til søen. Beregning af det reelle bidrag fra punktkilder er udfordret pga. manglende kvantitativ viden om transport og omsætning i vandløbet på strækningen fra punktkildens udledning til søens indløb. P- og N-modellen søger at løse dette problem ved statistisk at estimere det effektive punktkildebidrag som funktion af potentielle bidrag (Sørensen & Nielsen 2023). Dermed estimeres den andel af det potentielle punktkildebidrag, der reelt optræder i indløbet til søen. Ved denne estimering af modellen til målte koncentrationer i indløbet er der en risiko for, at en del af punktkildebidraget fejltolkes som en del af grundvandsbidraget, især hvis punktkilderne er placeret i længere afstand opstrøms søen, og/eller hvis der er andre søer opstrøms i det vandløbssystem, der løber til søen. Modellen er derfor bedst egnet til søer, der ikke har opstrømsliggende søer. For de søer, hvor det potentielle punktkildebidrag er begrænset set i forhold til det målte bidrag i indløbet, vil usikkerheden omkring estimering af det effektive bidrag dog være uden betydning.

De estimerede koncentrationer for baseflow og overfladenært flow for det målte indløb er brugt til at beregne umålt næringsstofbidrag. Dette betyder, at for de koncentrationer, der måles i målt vand, forudsættes det, at de også gælder for umålt vand. Dette er en forudsætning, som kan være problematisk i de tilfælde, hvor der er en meget stor andel af umålt vandvolumen, og især hvis en stor andel af umålt vandvolumen strømmer til gennem bunden.

De beregningsmæssige detaljer bag massebalance for P og N fremgår af Sørensens og Nielsen (2023).

## Bilag 2 B. Analyse af P- og N-tilbageholdelse

### Formulering af statistisk model

I det omfang, der er en tidlig udvikling i belastning og tilbageholdelse af P og N, vil det være interessant at undersøge, om ændring i tilbageholdelse alene er et resultat af en mindre belastning, eller om der er processer i søen, som har ændret sig på en måde, så tilbageholdelsesevnen i søen er ændret. Desuden er det interessant at undersøge, i hvilket omfang forskellen mellem søernes tilbageholdelse af P og N skyldes forskellige processer i søerne. For at undersøge dette nærmere opstilles en simpel statistisk model, der kan undersøge sammenhængen mellem tilbageholdelse, belastning og sø. Denne model ser ud som følgende:

Tilbageholdelse = Konstant + Retention (Sø) \* Belastning + Residual, hvor "Tilbageholdelse" og "Belastning" er de beregnede værdier fra opgørelsen (figur 2.19 og 2.24 i kapitel 2), mens "Retention" afhænger af søen og regnes for konstant over alle årene. I modellen er "Konstant" en empirisk faktor, der tager højde for, at modellen kan være forkert ved at være ude af fokus. Dette vil sige, at modellen skal, som en del af analysen, estimere "Konstant" til at være ubetydelig lille, før modellen kan siges at have en gyldighed. Da "Retention" bl.a. afhænger af opholdstiden, og da denne er meget forskellig for søerne (figur 2.14 i kapitel 2), antages det, at "Retention" er søspecifik, og derfor estimeres en separat Retentionsværdi for den enkelte sø. I modellen er "Residual" den rest af "Tilbageholdelse", der ikke kan beskrives med "Retention" og "Konstant". Som output fra modellen beregnes en  $R^2$ -værdi, og værdien  $1-R^2$  angiver den andel af den samlede variation, som må tillægges "Residual". Hvis  $R^2$ -værdien viser, at "Residual" har en betydelig værdi, så findes der betydelige faktorer uden for modellen, som gør modellen ufuldkommen. Derfor kan  $R^2$  bruges til at vurdere, om der er en god forståelse for "Tilbageholdelse" udtrykt gennem en konstant sø-specifik retention, eller om der er grundlag for en yderligere granskning efter mulige andre faktorer af betydning for "Tilbageholdelse".

Det er oplagt at formode, at forskellen i "Retention" mellem søerne har relation til forskelle mellem hydraulisk opholdstid, da denne er meget forskellig imellem søerne (figur 2.14 i kapitel 2). Derfor bliver den estimerede "Retention" fra modellen relateret til opholdstiden med en simpel log-lineær model for at se, om der synes at være en sådan relation.

### Analyse af P

I tabel B1 er "Belastning" og "Tilbageholdelse" af fosfor analyseret nærmere med brug af den statistiske model. Notationen, der er brugt for "Retention" i tabel B1, er følgende: "Belast\_ efter 1995\_1995:SoeArreskovSoe" er "Retention" for Arreskov Sø, og i søjlen "Estimate" ses den estimerede værdi. Her ses "Retention" til at være estimeret til 0,63 (i tabel B1: "0.63003"), hvilket betyder, at ca. 63 % af belastningen estimeres til at blive tilbageholdt i søen. Kolonnen "Std.Error" er standardfejlen på dette estimat, og "t value" er t-værdien, hvor estimatet divideres med standardfejlen; her ses det, at  $0,63003/0,52402=1,202$ . Som nævnt ovenfor angiver den højre kolonne signifikansen for t-værdien. For Arreskov Sø ses således, at  $Pr=0,23$ , hvilket angiver, at estimatet på 0,63003 ikke er signifikant forskelligt fra nul på 5 %-

niveau. I tilfældet med Arreskov Sø ses det altså, at estimatet for "Retention" er meget usikkert. De forskellige søer har estimater af "Retention" med forskellig usikkerhed, hvor søerne Arreskov Sø, Arresø, Furesøen og Søholm Sø alle har stor usikkerhed på deres estimater, mens de øvrige søer typisk har langt mindre usikkerhed. Søerne med stor usikkerhed er samtidig de store søer med lang opholdstid.

I tabel B1 er "(Intercept)" et estimat af "Konstant" i den statistiske model. Det vil sige, at denne værdi bør estimeres til at være ubetydelig lille, hvilket også er tilfældet, og dette underbygges af, at testen, vist i højre kolonne ("Pr...") i samme række som "(Intercept)", er ikke-signifikant (Pr=0.13).

En R<sup>2</sup>-værdi på 0,44 (i tabel B1: "Multiple R-squared: 0.4377") viser, at "Residual" har større betydning end "Retention", hvilket vil sige, at der er faktorer, som ikke er med i modellen, som samlet set har større betydning som forklarende variable for den enkelte sø end en konstant "Retention". En årsag hertil kan være, at "Retention" ikke kan forudsættes af være konstant mellem årene pga. klimatiske eller økologiske faktorer, eller at næringsudveksling mellem sediment og vandsøjle varierer fra år til år.

**Tabel B1.** Koefficienttabel for en lineær model med sø som fast effekt og belastning som kontinuert variabel, svarende til data i figur 2.19.

```

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    -0.25843    0.17047   -1.516 0.130799
Belast_efter_1995:SoeArreskovSoe    0.63003    0.52402    1.202 0.230387
Belast_efter_1995:SoeArreSoe      0.56590    0.43730    1.294 0.196838
Belast_efter_1995:SoeBryrupLangsoe  0.34883    0.05015   6.956 3.08e-11 ***
Belast_efter_1995:SoeEngelsholmSoe  0.36734    0.10338   3.553 0.000455 ***
Belast_efter_1995:SoeFuresoen     1.18404    0.74200    1.596 0.111812
Belast_efter_1995:SoeHingeSoe     0.18265    0.03354   5.446 1.23e-07 ***
Belast_efter_1995:SoeRavnSoe      0.73666    0.10536   6.992 2.49e-11 ***
Belast_efter_1995:SoeSoeholmSoe   0.36502    0.18971    1.924 0.055482 .
Belast_efter_1995:SoeStoreSoegaardSoe 0.14592    0.02853   5.114 6.29e-07 ***
Belast_efter_1995:SoeVesterborgSoe  0.24165    0.02329  10.374 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

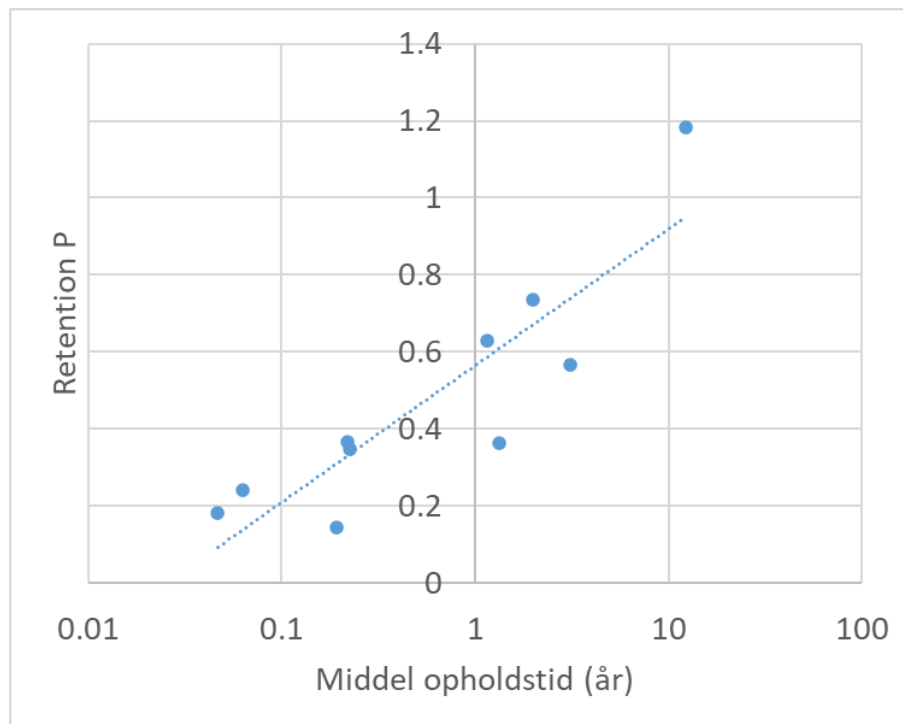
Residual standard error: 0.904 on 249 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.4377, Adjusted R-squared:  0.4152
F-statistic: 19.39 on 10 and 249 DF,  p-value: < 2.2e-16

```

Som nævnt ovenfor formodes "Retention" at afhænge af søernes opholdstid, og som vist i figur 2.14 i kapitel 2, er opholdstiden meget forskellig mellem søerne. Derfor er estimeret "Retention" vist for hver sø som funktion af søens middellopholdstid (log-værdi) gennem hele perioden i figur B1, hvor der også ses en signifikant sammenhæng (Pr<0,01).



**Figur B1.** Estimeret Retention for fosfor vist som funktion af middel opholdstid for hver sø. Middel opholdstid er tidslig middel over hele perioden.



### Analyse af N

Den statistiske model er anvendt på N, og resultatet ses i tabel B2. Et enkelt datapunkt for Vesterborg Sø er fjernet (år 2002), da det afveg stærkt fra de andre år. Afvigelsen kan dog ikke begrundes i en fejl i de bagvedliggende beregninger. Dette datapunkt kan ses som havende den største arealspecifikke belastning i figur 2.24 i kapitel 2. Det ses, at de to største søer, Arresø og Furesøen, er de eneste søer, der ikke har et signifikant estimat af Retention. Ellers er der generelt mindre usikkerhed på estimaterne sammenlignet med fosfor, og R<sup>2</sup>-værdien på 0,93 viser, at "Residual" er ubetydelig, hvilket er den modsatte konklusion sammenlignet med fosfor, hvor den største forskel forblev uforklaret som "Residual".

**Tabel B2.** Koefficienttabel for en lineær model med sø som fast effekt og belastning som kontinuert variabel, svarende til figur 2.24 i kapitel 2. Vesterborg Sø år 2002 er taget ud af analysen, da dette år afveg stærkt fra de andre år.

```
Call:
lm(formula = Tilbage ~ Belast_etter_1995:Soe, data = Dataset)

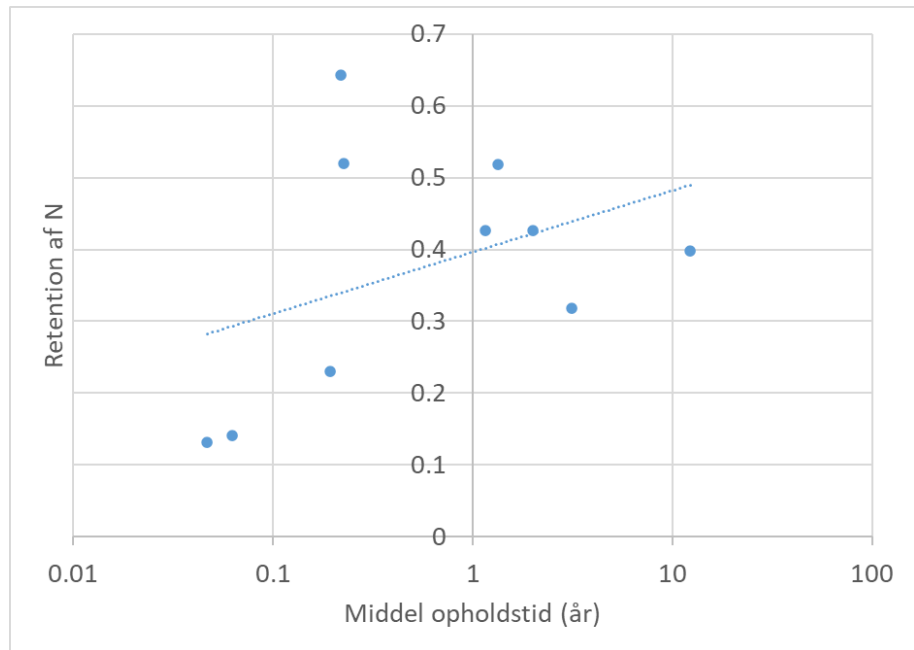
Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-63.272  -8.969   1.249   9.908  65.959

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1.580905   3.989417   0.396  0.6922
Belast_etter_1995:SoeArreskovSoe  0.426104   0.201373   2.116  0.0353 *
Belast_etter_1995:SoeArreSoe     0.317713   0.371384   0.855  0.3931
Belast_etter_1995:SoeBryrupLangsoe 0.519206   0.012779  40.629 < 2e-16 ***
Belast_etter_1995:SoeEngelsholmSoe 0.642637   0.036840  17.444 < 2e-16 ***
Belast_etter_1995:SoeFuresoen     0.397792   0.738624   0.539  0.5907
Belast_etter_1995:SoeHingeSoe     0.130798   0.020547   6.366 9.34e-10 ***
Belast_etter_1995:SoeRavnSoe      0.426076   0.044277   9.623 < 2e-16 ***
Belast_etter_1995:SoeSoeholmSoe   0.518770   0.065303   7.944 6.84e-14 ***
Belast_etter_1995:SoeStoreSoegaardSoe 0.230561   0.018008  12.804 < 2e-16 ***
Belast_etter_1995:SoeVesterborgSoe 0.140953   0.008367  16.846 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 17.93 on 248 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.9256, Adjusted R-squared:  0.9226
F-statistic: 308.3 on 10 and 248 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

De estimerede værdier af Retention er vist som funktion af middel opholdstid over alle år i figur B2. Der ses en ikke-signifikant ( $Pr > 0,05$ ) tendens til en stigende relation, og denne er meget mindre tydelig end den, som sås for fosfor.

**Figur B2.** Relationen mellem Retention og middel opholdstid over alle år for kvælstof.



## SØER 2022

NOVANA

Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i perioden 2017-2022, og beskriver udviklingen i udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer siden overvågningens begyndelse i 1989. De 180 søer, som indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, er gennemgående næringsrige og med uklart vand. Den gennemsnitlige sigtddybde om sommeren er som medianværdi på 1,5 m. I mange af søerne forbedredes tilstanden i løbet af 1990'erne, men den seneste seksårsperiode (2017-2022) viser en forøgelse i indhold af næringsstoffer og klorofyl i forhold til forrige seksårsperiode (2011-2016). Kontrolovervågningen af søernes udvikling, der omfatter 18 søer fulgt siden 1989 bekræfter, at de største forbedringer skete tidligt i overvågningsperioden, og at det største fald i indholdet af næringsstoffer skete i de søer, som fra begyndelsen havde de højeste koncentrationer. Blandt de 10 søer, hvor der er veldefinerede massebalancer, ses i overensstemmelse hermed de største ændringer i tilførsel af fosfor i begyndelsen i 1990'erne. Kontrolovervågningen af habitatnaturtyper har i perioden 2007-2022 omfattet i alt 432 vandhuller og småsøer <5 ha. Heraf udgjorde søer af naturtype 3150 (naturligt næringsrige søer) og 1150 (laguner og strandsøer) halvdelen. Det beregnede naturtilstandsindex var i de fleste undersøgte søer over 0,6, svarende til "god" eller "høj" tilstand.

ISBN: 978-87-7156-850-9

ISSN: 2244-9981