



SØER 2024

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 683

2025



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

SØER 2024

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 683

2025

Liselotte Sander Johansson
Martin Søndergaard
Peter Borgen Sørensen
Juan Pablo Pacheco

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. 683
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Søer 2024
Undertitel:	NOVANA
Forfattere:	Liselotte Sander Johansson, Martin Søndergaard, Peter Borgen Sørensen & Juan Pablo Pacheco
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	https://dce.au.dk
Udgivelsesår:	2025
Redaktion afsluttet:	November 2025
Faglig kommentering:	Torben Linding Lauridsen
Kvalitetssikring, DCE:	Kirsten Bang
Sproglig kvalitetssikring:	Anne Mette Poulsen
Ekstern kommentering	Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø. Kommentarer findes her
Finansiell støtte:	Miljøministeriet frem til oprettelsen af Ministeriet for Grøn Trepert. Herefter finansieret af hhv. Ministeriet for Grøn Trepert og Miljø- og Ligestillingsministeriet.
Bedes citeret:	Johansson, L.S., Søndergaard, M., Sørensen, P. B. & Pacheco, J.P 2025. Søer 2024. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 91 s. Videnskabelig rapport nr. 683
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten beskriver udviklingen i udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer siden overvågningens begyndelse i 1989 og giver en status for den nationale søovervågning i perioden 2019-2024. De 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling (KU-søer), dækker et bredt spektrum, både hvad angår størrelse og dybde og indholdet af næringsstoffer. Set over hele perioden siden overvågningsperiodens start i 1989 er der generelt sket et fald i indholdet af næringsstoffer og klorofyl <i>a</i> og en øgning i sigtddyben, men primært i løbet af 1990'erne, og ændringerne har efterfølgende været små. Sommergennemsnittet af klorofylkoncentrationen er i perioden 1989-2023/2024 som helhed reduceret signifikant i syv af de 18 KU-søer, mens den er øget i tre søer. Som medianværdi var klorofylindholdet som sommergennemsnit for de 18 KU-søer i 2023/2024 på 25 µg/L. De 180 søer, som indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand (KT-søerne), er gennemgående næringsrige og med uklart vand. Den gennemsnitlige sigtddybe om sommeren er som medianværdi på 1,1 m. I mange af søerne forbedredes tilstanden i løbet af 1990'erne, men de seneste seksårsperioder viser tegn på en forøgelse i indholdet af næringsstoffer. Udbredelsen af undervandsplanter i de 180 KT-søer varierer meget – fra uklare søer helt uden planter til klarvandede søer, hvor det meste af bunden er dækket. For KT-søerne som helhed er der ingen signifikante ændringer i det plantedækkede areal siden 2007.
Emneord:	Søer, miljøtilstand, overvågning, vandområdeplaner, NOVANA
Foto forside:	Silkeborg Langsø. Foto: Martin Søndergaard
ISBN:	978-87-7648-005-9
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	91
Supplerende oplysninger:	NOVANA er et program for en samlet og systematisk overvågning af både vandig og terrestrisk natur og miljø. NOVANA erstattede 1. januar 2004 det tidligere overvågningsprogram NOVA-2003, som alene omfattede vandmiljøet.

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	7
Summary	12
1 Undersøgelsesprogrammet	16
1.1 Historik	16
1.2 Direktiver i overvågningen og afrapporteringen	17
1.3 Parametre i overvågningen	18
1.4 Fejlanalyser af totalkvælstof og totalfosfor	19
1.5 Søtyper i henhold til vandrammedirektivet	19
1.6 Kontrolovervågning	20
1.7 Operationel overvågning	22
1.8 Kortlægning af habitatnaturtyper i søer	23
2 Kontrolovervågning af søernes udvikling	24
2.1 Generel karakteristik	24
2.2 Vandkemi og sigtddybde	25
2.3 Sedimentkemi	41
2.4 Massebalancer i 10 KU-søer	49
2.5 Fytobenthos	60
2.6 Undervandsplanter	61
2.7 Bunddyr	65
2.8 Fisk	69
3 Kontrolovervågning af søernes tilstand	73
3.1 Generel karakteristik	73
3.2 Generel tilstand	74
3.3 Vandkemi	74
3.4 Undervandsplanter	79
4 Klima og afstrømning	81
4.1 Temperatur og global indstråling	81
4.2 Nedbør	82
4.3 Afstrømning	83
4.4 Vindforhold	84
5 Referenceliste	85
Bilag 1. Datagrundlag og metoder	88

Forord

Denne rapport udgives af 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 2024.

Overvågningsprogrammet er målrettet mod at tilvejebringe det nødvendige dokumentations- og vidensgrundlag 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 Ministeriet for Grøn Trepert og Miljø- og Ligestillingsministeriet at bidrage med forskningsbaseret rådgivning til styrkelse af det faglige grundlag for miljøpolitiske prioriteringer og beslutninger. Som led heri forestår DCE den landsdækkende rapportering af overvågningsprogrammet inden for områderne ferske vande, marine områder, landovervågning, arter og naturtyper, atmosfæren og miljøfarlige forurenende stoffer.

I overvågningsprogrammet er der en arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentre, Styrelsen for Grøn Arealomlægning og Vandmiljø (SGAV) og Miljøstyrelsen (MST). Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), fagdatacentret for punktkilder hos SGAV, mens de øvrige fagdatacentre (vandløb, søer, marine områder, landovervågning, arter og naturtyper, atmosfæren og miljøfarlige forurenende stoffer) er placeret hos DCE, Aarhus Universitet.

Denne rapport er udarbejdet af Fagdatacenter for Sø, og SGAV har haft mulighed for at kommentere udkast til rapporten. Rapporten er baseret på data indsamlet af SGAV.

Dette års rapport er som udgangspunkt en opdatering af tidligere års rapporter om søer med data indsamlet i 2024. Ikke alle indsamlede data bliver rapporteret hvert år. En rapportering sker først, når der er et tilstrækkeligt datagrundlag for en rapportering. I år beskrives status og udviklingstendenser for udvalgte vand- og sedimentkemiske parametre samt biologiske elementer (vegetation, bentiske kiselalger, bunddyr og fisk) i søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling (de 18 KU-søer). Resultater af massebalanceberegninger og kildeopsplitning præsenteres for udvalgte KU-søer. Ud over en beskrivelse af status for disse elementer vil udviklingen i KU-søerne, hvor det er muligt, præsenteres for perioden 1989-2024.

For de 180 søer, der indgår i kontrolovervågningen af tilstand i perioden 2019-2024 (KT-søerne), vil de seneste resultater for nøgleparametre inden for vandkemi og -fysik samt vegetation blive præsenteret. Endvidere vil udviklingstendenserne for disse parametre for perioden 2001-2024 blive beskrevet i grove træk, hvor det er muligt.

Data fra overvågning af arter og naturtyper i søer i henhold til habitatdirektivet er ikke med i denne rapport. Seneste rapportering af habitatnaturtyper i søer i kontrolovervågningen foregik senest i "Søer 2022" (Johansson m.fl. 2024) og af habitatarter i 2021, hvor rapporteringen af habitatarten vandranke udkom som netrapportering (<https://novana.au.dk/arter-2021/vandranke>). Resultater fra overvågningen af habitatarter og fra kortlægningen af sønaturtyper generelt blev senest afrapporteret i oktober 2025 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 Ministeriet for Grøn Treparts rapportering til EU. Resultaterne blev endvidere sammenfattet i en dansksproget rapport (Fredshavn m.fl. 2025).

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenterrapporter i "Vandmiljø og natur 2024", som udgives i et samarbejde mellem DCE, GEUS og SGAV.

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 bl.a. danne baggrund for fastlæggelse af den økologiske tilstandsklasse, den kemiske tilstand og indsatsbehov i søer, som ikke har målopfyldelse, søer, som er i risiko for ikke at kunne fastholde målopfyldelsen, samt søer, hvor tilstanden er ukendt (Miljøstyrelsen 2023). 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 vandkemiske, 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* (indikator for fytoplanktonbiomassen), alkalinitet (kalkholdighed), pH, ilt- og temperaturprofiler, ledningsevne (salinitet), farvetal samt sigtddybde. Derudover måles forskellige grupper af miljøfarlige forurenende stoffer i sedimentet fra udvalgte søer, i væv fra fisk samt i begrænset omfang i søernes vandfase. Data for miljøfarlige forurenende stoffer rapporteres særskilt. De biologiske parametre omfatter undersøgelser af undervandsplanter, fisk, fytoplankton, bunddyr og kiselalger, der vokser på overflader under vandet (fytobenthos).

I implementeringen af EU's vandrammedirektiv og ved 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.

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 af sigtddybden. Det største fald i næringsstofindhold skete i begyndelsen af overvågningsperioden. Sommermedianen af totalfosforkoncentrationen lå i perioden 1989-1993 f.eks. 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 2005-2023/2024 har ligget mellem 0,04 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 som sommergennemsnit 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 1989-2023/2024, er der som helhed sket en reduktion i totalkvælstofkoncentrationen i flertallet af søerne, både hvad angår sommergennemsnit og årgennemsnit (11 søer i begge tilfælde). Totalkvælstofkoncentrationen er kun øget i én sø både som års- og sommergennemsnit.

Klorofylkoncentrationen er i perioden 1989-2023/2024 som helhed reduceret signifikant i seks, henholdsvis syv af de 18 søer 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. Som medianværdi var klorofylindholdet som sommergennemsnit for de 18 søer i 2023/2024 på 25 µg/L.

Sommersigtddybden 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 seks ud af de 18 søer for hele perioden, mens der kun er én sø, hvor der har været en signifikant reduceret sigtddybde.

Sedimentets sammensætning varierer meget på tværs af de 18 søer. Eksempelvis varierer overfladesedimentets (0-2 cm) indhold af jern mellem 2,8 og 200 mg Fe/g tv og totalfosforindholdet mellem 0,42 og 7,2 mg P/g tv. Totalfosforindholdet stiger i de fleste søer op mod overfladen, hvilket

sandsynligvis skyldes et højere indhold af organisk bundet fosfor end i de dybere sedimentlag, hvor det organiske stof er mere omsat. Der er ikke klare udviklingstendenser i overfladesedimentets fosforindhold. I de enkelte søer er der også ofte en betydelig variation på tværs af de typisk tre prøvetagningsstationer, og det er med til at gøre det vanskeligt at detektere udviklingstendenser i søernes fosforindhold i sedimentet.

Vand- og næringsstofbalancer er opgjort for 10 KU-søer i perioden 1990-2024, hvorfra der er relativt veldefinerede vand- og stofbalancer. Generelt varierer vandtilførslen betydeligt mellem søerne og også fra år til år. Ingen af de 10 søer har en væsentlig udsivning fra søbunden. Varierende vandtilførsel kommer blandt andet til udtryk i, at den hydraulisk opholdstid varierer mellem 0,02 og 19,5 år. Fosforbelastningen til søerne udviser samme relative fald som indløbskoncentrationen, og den gennemsnitlige belastning er mere end halveret fra 5,0 mg/m²/dag i 1990 til 2,2 mg/m²/dag i 2021.

Fytobenthos indgår som et element til at beskrive den økologiske tilstand i søer og er repræsenteret ved bentiske kiselalger. Et indeks er udviklet for søtype 9 og 10. Data fra de 13 KU-søer af søtype 9 og 10, som går tilbage til 2013-2015, viser, at indekset siden da har været relativt stabilt over årene i de individuelle søer. De fleste af de beregnede indeksværdier falder i den økologiske klasse "god". Enkelte værdier når op i den høje økologiske klasse, mens nogle værdier indikerer moderat økologisk tilstand. Der har ikke været nogen generel tidsmæssig udvikling i indekset gennem undersøgelsesperioden, men de individuelle søers udvikling kan ikke testes på grund af for få data på søniveau.

Udbredelsen af undervandsplanter i de 10 KU-søer, som er undersøgt jævnlige siden 1993, har været meget varierende, og det er vanskeligt at se egentlige udviklingstendenser for de 10 søer som helhed. Vurderes vegetationens udvikling statistisk i de søer, hvorfra der er mindst otte års data fra 1993-2023/2024, er dækningsgraden øget i syv søer og reduceret i to søer. I samme periode er planternes maksimale dybdegrænse øget i seks søer og reduceret i én sø. Hvis der alene ses på den seneste 20-års periode, er der færre søer, hvori der har været signifikante ændringer i de to parametre.

Forekomsten af bunddyr er undersøgt i alt i 132 søer, men indekset, der anvendes til at beskrive den økologiske tilstand på baggrund af bunddyr, er kun udviklet til søtype 9 og søtype 10. En indledende analyse af data fra alle søtyper bekræfter da også, at brakvandssøer er forskellige fra ferske søer, hvad angår forekomsten af bunddyr. Indeksværdier baseret på forekomsten af bunddyr i de 12 KU-søer, der tilhører søtype 9 eller 10, dækker hele spændet fra dårlig til høj økologisk tilstand. Der er en tendens til, at værdierne ligger lidt højere i søtype 10, hvilket stemmer godt overens med, at søerne fra denne type generelt er lidt mindre næringsrige. De nuværende data giver ikke mulighed for at vurdere udviklingstendenser på baggrund af bunddyrene.

Fiskebestanden i 16 af KU-søerne, som har været fulgt i fire overvågningsperioder, henholdsvis 2006-2009, 2010-2015 og 2017-2018 og 2023-2024, viser store variationer, men i søerne som helhed ses ingen statistisk signifikante udviklingstendenser. Blandt nogle af søerne ses markante ændringer. Eksempelvis er den gennemsnitlige individvægt i Søby Sø reduceret fra 58 g/individ til 20 g/individ fra 2006 til 2023, og i Ulvedybte er alle fem parametre (CPUE-antal, CPUE-vægt, % karpfisk, % rovfisk og gennemsnitlig individvægt) øget markant – især i det seneste måleår i 2023. Dog faldt individvægten i 2023.

Det beskedne antal måleår gør det imidlertid ikke muligt at teste, om der er sket statistisk signifikante ændringer i nogen af søerne.

Kontrolovervågning af søernes tilstand

Kontrolovervågningen af tilstand omfatter i alt 180 KT-søer. Hver af søerne er senest undersøgt i perioden 2019-2024. Størstedelen af søerne er relativt små (medianværdien for søareal er 22 ha) og lavvandede (medianværdien for mideldybden er 1,6 m). De fleste søer er ferske, men der indgår også en del brakvandssøer i kontrolovervågningen. Blandt KT-søerne findes både kalkfattige og brunvandede søer, men flertallet er med høj alkalinitet (er kalkrige) og er ikke brunvandede.

KT-søerne er gennemgående næringsrige med en medianværdi for totalfosfor (sommermiddel) på 0,090 mg/L og for totalkvælstof på 1,37 mg/L. Tilsvarende er søerne gennemgående uklare med en medianværdi for sigtdybde (sommergenomsnit) på 1,1 m og et klorofylindhold med en medianværdi på 32 µg/L (sommergenomsnit). Blandt de fire mest almindelige søtyper (søtype 9, 10, 11 og 13) er søtype 11 (kalkrig, ikke-brunvand, lavvand og saltholdig) den mest næringsrige med en mediankoncentration af totalfosfor på 0,185 mg/L og en mediankoncentration af totalkvælstof på 1,87 mg/L. Det er også i søtype 11, at den højeste medianværdi af klorofyl *a* ses (56 µg/L). De laveste sigtdybder (medianværdi 0,56 m) ses i søtype 5 (brunvandede, kalkfattige søer), hvor lysets nedtrængning i vandet, ud over algerne og suspenderet stof, også hæmmes af humusstoffer. Vurderes udviklingen på tværs af KT-søerne ved at sammenstille data fra de fire seneste seksårsperioder, ses et signifikant fald i totalkvælstof fra perioden 2001-2006 til 2007-2012, men efterfølgende en signifikant stigning fra perioden 2007-2012 til perioderne 2013-2018 og 2019-2024. For totalfosfor ses ligeledes et fald fra 2001-2006 til 2007-2012, men også et fald fra 2001-2006 til 2013-2018 og 2019-2024. Fra 2013-2018 til 2019-2024 forøgedes koncentrationerne af totalfosfor.

Udbredelsen af undervandsplanter i de 180 KT-søer varierer meget – fra uklare søer helt uden planter til 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 dermed dækker planterne i hovedparten af de lavvandede søer kun en lille del af søbunden. I den mest almindelige dybe søtype (søtype 10) varierer dybdegrænsen fra 0 (ingen planter) til 11,1 m. For KT-søerne som helhed er der ingen signifikante ændringer i det plantedækkede areal fra perioden 2007-2012 til perioden 2019-2024 eller fra 2013-2018 til perioden 2019-2024. For undervandsplanterne er den eneste signifikante ændring en stigning i dybdegrænsen fra 2007-2012 til 2013-2018.

Klima og afstrømning

For Danmark som helhed var den gennemsnitlige temperatur i 2024 på 9,8 °C, hvilket var 0,5 °C højere end i 2023 og markant højere end gennemsnittet for perioden 1990-2023 som var 8,7 °C. Januar 2024 var koldere end gennemsnittet for perioden 1990-2023, mens alle øvrige måneder var på eller over gennemsnittet. I 2024 kom der 927 mm nedbør, hvilket er 21 % mere end gennemsnittet for perioden 1990-2023 (765 mm) og den næsthøjeste årlige nedbør for perioden 1990-2024. Der var store variationer gennem året, og i januar, februar, april, juni og juli 2024 kom der meget nedbør i forhold til de månedlige gennemsnit for perioden 1990-2023, mens marts, oktober og november var meget tørre.

Overordnede konklusioner

De overordnede konklusioner af NOVANA overvågningen er, at tilstanden i de danske søer generelt er forbedret siden overvågningens begyndelse i 1989, men at disse forbedringer især fandt sted i 1990'erne, formentlig som følge af forbedret spildevandsrensning og en efterhånden aftagende intern fosforbelastning i søerne. I de seneste ca. 20 år har der generelt kun været få ændringer i søernes tilstand, og sammenlignes de seneste seksårsperioder, er der i mange af søerne endda tegn på øget næringsstofindhold - især hvad angår kvælstof.

Der findes stadigvæk rentvandede søer i Danmark, men langt hovedparten er i dag stadig 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 for Danish lakes has been continuously adjusted since its start in 1989, following the adoption of the first Water Environment Plan in 1988. The main monitoring needs for lakes are now based on two EU directives: the Water Framework Directive (European Union 2000) and the Habitats Directive (European Union 1992). Since 2010, lake monitoring has included both *control monitoring* and *operational monitoring*.

The purpose of the *control monitoring*, in accordance with the Water Framework Directive, is to “document the state of the lakes and general development, including climate-related and human anthropogenic changes”. It covers the general state of lakes larger than 5 ha (KT lakes, 180 in total) and the development in lakes larger than 5 ha (KU lakes, 18 in total), assessed based on long time series. Together, these 198 lakes constitute about one-third of all Danish lakes in this size group. Additionally, control monitoring is carried out in accordance with the Habitats Directive, with the intention to provide a general picture of the state and development of the individual protected lake habitat types.

The *operational monitoring* forms the basis for the establishment of the ecological state, the chemical state and the effort required in lakes that do not meet the objectives, lakes that are at risk of not maintaining the objectives and in lakes where the state is not known (Danish Environmental Protection Agency, 2023). It also provides data documenting the impact of river basin management plans, nitrate action programmes and other management actions.

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

The physico-chemical parameters include measurements of the concentrations of phosphorus and nitrogen, chlorophyll *a* (indicator of phytoplankton biomass), alkalinity, pH, oxygen and temperature profiles, conductivity (salinity), colour and Secchi depth. Additionally, different groups of environmentally hazardous substances 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. Data on hazardous substances are reported separately. The biological parameters include studies of submerged macrophytes, fish, phytoplankton, benthic invertebrates and diatoms growing on structures below the water surface (phytobenthos).

In relation to the implementation of the EU Water Framework Directive and the preparation of water plans, Denmark operates with 11 lake types, defined by water depth (deep, shallow), alkalinity (high, low), humic substances (brown-water, not brown-water) and salinity (fresh, brackish). The presentation of the data in this report mainly follows this classification.

Control monitoring of lake environmental state

The 18 KU lakes included in the monitoring of lake environmental state, most of which have been monitored since 1989, cover a wide range in size, depth and nutrient levels. Three KU lakes have not been monitored throughout the entire period and are therefore excluded from analyses where KU lakes are treated as a group.

Overall, since monitoring was initiated in 1989, nutrient and chlorophyll *a* concentrations have generally declined, while Secchi depth has increased. The largest nutrient reductions occurred early in the monitoring period. For example, the summer median total phosphorus concentration was about 0.1 mg/L in 1989–1993, decreased to 0.06–0.08 mg/L from 1994 to 2004 and has been 0.05–0.07 mg/L since 2005. The greatest reductions occurred in lakes that initially had the highest concentrations. Phosphorus levels have significantly decreased in 12 of the 18 lakes, while remaining unchanged in the other six.

Total nitrogen concentrations largely mirror phosphorus concentrations, with reductions in both annual and summer concentrations since 1989. The largest changes occurred early in the period and in the most nutrient-rich lakes. The summer median was about 1.8 mg/L in 1989–1993, declined steadily to 1.1 mg/L by 1996 and has since ranged between 1 and 1.5 mg/L. Overall, 11 lakes show significant reductions in total nitrogen concentrations, while only one lake shows an increase.

Chlorophyll concentrations have decreased significantly in six to seven lakes (annual and summer averages) and increased in three lakes. Most changes occurred early in the monitoring period. The summer median chlorophyll concentration for the 18 lakes was 25 µg/L in 2023/2024.

Summer Secchi depth in the 15 lakes monitored throughout the entire period has generally increased since 1989, with the largest changes in the 1990s when the summer median rose from about 1.3 m to 1.9 m. Since then, values have fluctuated without a clear trend, ranging between 1.4 and 1.9 m over the past decade. For the individual lakes, six show significant improvement in Secchi depth, while one shows a significant decline.

The composition of the sediment varies greatly across the 18 lakes. For example, the iron content in surface sediment (0–2 cm) ranges from 2.8 to 200 mg Fe/g dry weight, and the total phosphorus concentration ranges from 0.42 to 7.2 mg P/g dry weight. In most lakes, the total phosphorus concentration increases toward the surface, which is likely due to a higher proportion of organically bound phosphorus compared to deeper sediment layers, where organic matter is more decomposed. The phosphorus concentration in surface sediment shows no clear development. Within the individual lakes, there is often considerable variation across the typically three sampling stations, which makes it difficult to detect trends in the phosphorus concentration in the lakes.

Water and nutrient balances have been calculated for 10 KU lakes for the period 1990–2024, for which relatively well-defined water and nutrient balances exist. In general, the water inflow varies significantly between lakes and also from year to year. None of the 10 lakes have significant nutrient release from the lake bottom. The varying water inflow is reflected in the hydraulic residence time, which ranges from 0.02 to 19.5 years. Phosphorus loading to the lakes shows the same relative decline as inflow concentration, and the average loading has more than halved from 5.0 mg/m²/day in 1990 to 2.2 mg/m²/day in 2021.

Phytobenthos is included as an element to describe the ecological state of lakes and is represented by benthic diatoms. An index has been developed for lake types 9 and 10. Data from the 13 KU lakes of types 9 and 10, dating back to 2013–2015, show that the index has remained relatively stable over the years in the individual lakes. Most of the calculated index values decrease within the ecological class “good.” Some values reach the “high” ecological class, while others indicate “moderate” ecological state. There has been no general temporal trend in the index during the study period, but trends in the individual lakes cannot be tested due to insufficient data at lake level.

The distribution of submerged plants in the 10 KU lakes, which have been regularly monitored since 1993, varies greatly, making it difficult to identify clear trends for the 10 lakes as a whole. When vegetation development is assessed statistically in lakes with at least eight years of data from 1993–2023/2024, coverage has increased in seven lakes and decreased in two lakes. During the same period, the maximum depth limit of macrophytes has increased in six lakes and decreased in one lake. When only the most recent 20-year period is considered, fewer lakes show significant changes in these two parameters.

Benthic invertebrates have been monitored in a total of 132 lakes, but the index used to describe ecological state based on benthic fauna has only been developed for lake types 9 and 10. A preliminary analysis of data from all lake types confirms that brackish lakes differ from freshwater lakes in terms of benthic fauna occurrence. Index values based on benthic fauna in the 12 KU lakes of types 9 or 10 span the full range from “poor” to “high” ecological state. There is a tendency for values to be slightly higher in type 10 lakes, which aligns with the fact that these lakes are generally less nutrient-rich. Current data do not allow for assessment of trends based on benthic fauna.

Fish populations in 16 KU lakes, monitored during four periods (2006–2009, 2010–2015, 2017–2018 and 2023–2024), exhibit large variations, but overall there are no statistically significant trends across the lakes. Some lakes exhibit marked changes. For example, the average individual weight in Søby Sø decreased from 58 g per fish to 20 g per fish between 2006 and 2023, while in Ulvedybet all five parameters (CPUE-number, CPUE-weight, % cyprinids, % predatory fish and average individual weight) increased markedly – especially in the most recent year, 2023. However, individual weight was reduced in 2023. The limited number of monitoring years makes it impossible to test for statistically significant changes in any of the lakes.

Control monitoring of lake conditions

Control monitoring of conditions includes 180 KT lakes, each most recently monitored between 2019 and 2024. Most lakes are relatively small (median area 22 ha) and shallow (median depth 1.6 m). Most are freshwater lakes, but several brackish lakes are also included. Among the KT lakes, both non-calcareous and brown-water lakes occur, but the majority are calcareous and not brown-water lakes.

KT lakes are generally nutrient-rich, with median summer concentrations of total phosphorus of 0.090 mg/L and total nitrogen of 1.37 mg/L. Similarly, they are generally turbid, with a median summer Secchi depth of 1.1 m and a median chlorophyll concentration of 32 µg/L. Among the four most common lake types (types 9, 10, 11 and 13), type 11 (calcareous, not brown-water, shallow and saline) is the most nutrient-rich, with median concentrations of total

phosphorus of 0.185 mg/L and total nitrogen of 1.87 mg/L. Type 11 also has the highest median chlorophyll *a* concentration (56 µg/L). The lowest Secchi depths (median 0.56 m) occur in type 5 (brown-water, non-calcareous lakes), where light penetration is further reduced by humic substances in addition to algae and suspended matter.

When comparing KT lakes across the four most recent six-year periods, there is a significant decrease in total nitrogen concentrations from 2001–2006 to 2007–2012, followed by a significant increase from 2007–2012 to both 2013–2018 and 2019–2024. For total phosphorus concentrations, there is also a decrease from 2001–2006 to 2007–2012 and from 2001–2006 to 2013–2018 and 2019–2024. From 2013–2018 to 2019–2024 the total phosphorus concentration increased.

The distribution of submerged macrophytes in the 180 KT lakes varies greatly – from turbid lakes with no plants to clear lakes where most of the bottom is covered by plants. In the most common shallow lake type (type 9), the median plant-covered area is 14.5%, meaning plants cover only a small part of the bottom in most shallow lakes. In the most common deep lake type (type 10), the depth limit for plants ranges from 0 (no plants) to 11.1 m. Across the KT lakes as a whole, there are no significant changes in plant-covered area between 2007–2012 and 2019–2024 or between 2013–2018 and 2019–2024. The only significant change is an increase in depth limit from 2007–2012 to 2013–2018.

Climate and runoff

For Denmark as a whole, the average temperature of the year 2024 was 9.8 °C, which was 0.5 °C higher than in 2023 and significantly higher than the 1990–2023 average of 8.7 °C. January 2024 was colder than the 1990–2023 average, while all other months were at or above average. Total precipitation in 2024 was 927 mm, which is 21% more than the 1990–2023 average (765 mm) and the second-highest annual precipitation in the 1990–2024 period. There were large variations throughout the year, with January, February, April, June and July being much wetter compared to the average, while March, October and November were very dry.

Overall conclusions

The overall conclusions from the NOVANA monitoring are that the state of Danish lakes has generally improved since the monitoring began in 1989, but these improvements mainly occurred in the 1990s, likely due to improved wastewater treatment and gradually decreasing internal phosphorus load in the lakes. During the past ~20 years, there have generally been only few changes in the state of the lakes and compared with the most recent six-year period, many lakes even show signs of increasing nutrient concentrations – especially nitrogen.

There are still clear-water lakes in Denmark, but the vast majority remain 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 fysisk-kemiske og biologiske undersøgelser. Fysisk-kemiske 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 fysisk-kemiske 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) for vandkemiske parametre, sigtddybde, vegetation og fisk. 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 blev videreført i NOVANA-perioden 2016-2021. Bundfauna blev inkluderet i KUSøerne fra 2017 og i KTSøerne fra 2022. Året 2022 blev anset som et overgangså, der stort set var en forlængelse af perioden 2016-2021. Fra 2023 er en ny programperiode påbegyndt. Denne videreføres til 2027 og omfatter væsentlige ændringer i forhold til tidligere. Bl.a. er "trappemodellen" indført, hvor undersøgelsesfrekvensen og omfanget af de fysisk-kemiske og biologiske parametre i den enkelte sø i løbet af overvågningsperioden fastlægges i forhold til den senest fastlagte økologiske tilstand af søen. Se Miljøstyrelsen (2023) for nærmere forklaring. Indholdet af NOVANA-programmet for søer for perioden 2023-2027 opsummeres nedenfor.

Fra og med 2022 overgik overvågningen af miljøfarlige forurenende stoffer i søer til det tværgående "Delprogram for miljøfarlige forurenende stoffer i overfladevand og for punktkilder".

1.2 Direktiver i overvågningen og afrapporteringen

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*, dels en *operationel overvågning* af søer.

Kontrolovervågningen har til formål at indsamle data, der "ligger til grund for bedømmelse af søernes kemiske og økologiske tilstand og udvikling samt giver et generelt billede af bevaringsstatus 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 findes i bilag II og IV i habitatdirektivet (habitatarter)". Desuden skal data fra kontrolovervågningen "dokumentere søernes tilstand og den generelle udvikling, herunder de klimatiske relaterede og de menneskeskabte ændringer" (Miljøstyrelsen 2023). Kontrolovervågningen i henhold til vandrammedirektivet omfatter søer >5 ha, mens kontrolovervågningen i henhold til habitatdirektivet omfatter søer <5 ha.

Den operationelle overvågning omfatter ligeledes data, der skal ligge til grund for bedømmelse af søernes kemiske og økologiske tilstand. Den operationelle overvågning foregår i søer, som ikke har målopfyldelse eller er i risiko for ikke at kunne fastholde målopfyldelse, eller hvor tilstanden er ukendt. Derudover skal den operationelle overvågning levere data, der dokumenterer effekten af nationale vandmiljøplaner, vandområdeplaner, nitrathandlingsprogrammer og andre forvaltningsmæssige tiltag. I forbindelse med habitatdirektivet foregår den operationelle overvågning i form af kortlægning af søerne, hvor der indsamles data, der beskriver tilstanden for sønaturtyper og habitatarter, som udgør udpegningsgrundlaget for Natura2000-områder (Miljøstyrelsen 2023).

Data fra både kontrolovervågningen og den operationelle overvågning anvendes i forbindelse med 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 nitratudirektivet.

Indholdet i de forskellige undersøgelsesprogrammer er tilpasset de enkelte formålsbeskrivelser 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 fysisk-kemiske 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 søer ≥ 5 ha, 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 søernes 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 næringsstofdynamikken 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 søernes type 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 af fytoplanktonbiomassen.

Ud over de fysisk-kemiske 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 for udvalgte søer. Forekomst og taksonomisk sammensætning af bunddyr og fytobenthos (repræsenteret ved bentiske kiselalger) undersøges ligeledes i udvalgte søer.

Til beskrivelse af bevaringsstatus og udbredelse, og for at opnå et tilstrækkeligt vidensgrundlag for søerne i forhold til naturplanerne, foretages der kontrolovervågning 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 NO-VANA 2023-2027 findes i Miljøstyrelsen (2023).

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, hvorpå korrektionsligningerne mellem resultaterne af autoklave- og UV-metoden kunne udregnes. Miljøstyrelsen vurderede i 2021, 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 til 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 varierende 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.

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 på 3 m.

Søtyper	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. Ikke alle parametre i overvågningen undersøges med samme frekvens.

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, 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 ¹⁾
Tilstand (søer >5 ha)	30	180
Naturtyper		
Vandhuller (0,01-1 ha)	35	210
Småsøer (1-5 ha)	35	210

¹⁾Undersøges hvert andet år for fysik-kemi, hvert tredje år for undervandsplanter, fyto-benthos (repræsenteret ved bentiske kiselalger), fytoplankton, fisk og bunddyr og hvert sjette år for 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 arealafgrænsning 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 ¹⁾
Kontrolovervågning, tilstand	5-1730	180		6

¹⁾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. Når KU-søerne afrapporteres, indgår disse tre søer ikke i alle analyser af den generelle udvikling pga. afbrudt tidsserie eller uensartet prøvetagning.

De fysisk-kemiske undersøgelser omfatter i alt 17 vandkemiske og fysiske parametre (se den fulde liste i Miljøstyrelsen 2023). 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 afstrømningsmønstret. På baggrund af dette kan næringsstoffdynamikken beskrives detaljeret. De enkelte søers sediment undersøges for totalfosfor, totaljern, tørstof og glødetab hvert sjette år, og undervandsplanter og fytobenthos (repræsenteret ved bentiske kiselalger), fytoplankton (12 prøver pr. år), fisk og bunddyr undersøges hvert tredje år.

Der er kun medtaget 18 søer (hvoraf kun de 15 har en lang tidsserie) i kontrolovervågningen af udviklingen. 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). Udvælgelsen 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 (1989-2024). De fleste af dem er undersøgt otte 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 2023). De biologiske undersøgelser omfatter i den enkelte sø fem årlige fytoplanktonprøvetagninger (månedligt fra maj til september) samt undersøgelse af undervandsplanter, fyto-benthos (repræsenteret ved bentiske kiselalger), bunddyr og fisk én gang i en seksårig periode. Bemærk: Jævnfør "trappemodellen" (se Miljøstyrelsen 2023) undersøges ikke alle biologiske parametre i alle søer. Dog undersøges undervandsplanter og bundfauna i alle KT-søer mindst én gang pr. seksårig periode.

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, der er beskrevet i tabel 1.4.

De målte parametre i kontrolovervågningen af naturtype i søer <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). Desuden 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://sgavmst.dk/natur-og-jagt/naturindsatser/natura-2000/beskyttede-arter-og-naturtyper>. Hvis en sø ikke tilhører nogen af de nævnte søtyper, registreres den med "Søtype 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 kransålbølger
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://sgavmst.dk/natur-og-jagt/naturindsatser/natura-2000/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 foretages der i perioden 2023-2027 operationel overvågning i en stor del af de 985 søer, der er inkluderet i

vandområdeplanerne. En del af disse søer er også inkluderet i kontrolovervågningen. Søerne i den operationelle overvågning er udpeget af SGAV, og undersøgelserne foregår i henhold til "trappemodellen". Undersøgelserne omfatter altid vandkemiske og fysiske parametre samt undervandsplanter. I NOVANA 2023-2027 undersøges udvalgte søer også for fytoplankton, fyto-benthos, fisk og bunddyr (se ovenfor samt i NOVANA-programbeskrivelsen, Miljøstyrelsen 2023).

1.8 Kortlægning af habitatnaturtyper i søer

For at sikre et tilstrækkeligt vidensgrundlag 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 SGAV's habitatnøgle og habitatbeskrivelser, som kan findes her: <https://sgavmst.dk/natur-og-jagt/naturindsatser/natura-2000/-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 den del af programmet, der dengang hed "Det intensive program". De 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 2023-2024. Ud over vandkemi er alle biologiske parametre og sedimentkemi undersøgt i 2023-2024.

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 4,1 meq/L), fra ikke-farvede til brunvandede (sommergennemsnitligt farvetal fra 5 til 147 mg Pt/L) og næringsstofmæssigt fra et sommergennemsnit for totalfosfor, der varierer mellem 0,015 og 1,311 mg/L, og for totalkvælstof mellem 0,30 og 11,13 mg/L. Dette kommer til udtryk i en sigtdybde, der som sommergennemsnit varierer fra 0,1 til 4,4 m, og et indhold af klorofyl *a*, der sommergennemsnitligt spænder fra 4,2 til 299 µg/L. Alle de nævnte værdier er fra overvågningen i 2023-2024.

Tabel 2.1. Vandkemiske forhold i de 18 KU-søer i 2023/2024 baseret på års- og sommergennemsnit for de enkelte søer.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Totalfosfor (mg/L), år	0,119	0,056	0,016	0,931	18
Totalfosfor (mg/L), sommer	0,147	0,056	0,015	1,311	18
Opløst fosfor (ortho-P) (mg/L), år	0,018	0,011	0,002	0,062	18
Opløst fosfor (ortho-P) (mg/L), sommer	0,013	0,006	0,002	0,087	18
Totalkvælstof (mg/L), år	2,22	1,54	0,34	9,39	18
Totalkvælstof (mg/L), sommer	1,96	1,30	0,30	11,13	18
Nitrit-nitrat (NO _{2/3} -N) (mg/L), år	0,76	0,20	0,02	4,72	18
Nitrit-nitrat (NO _{2/3} -N) (mg/L), sommer	0,29	0,02	0,003	2,11	18
Klorofyl a (µg/L), år	46,5	20,2	5,3	340	18
Klorofyl a (µg/L), sommer	49,1	25,4	4,2	299,3	18
Sigtdybde (m), år	2,0	1,5	0,2	5,0	18
Sigtdybde (m), sommer	1,9	1,4	0,1	4,4	18
Alkalinitet (meq/L), år	2,1	2,1	0,003	4,6	18
Alkalinitet (meq/L), sommer	2,0	2,1	0,003	4,1	18
Farvetal (mg Pt/L), år	30,9	24,1	5,1	144	18
Farvetal (mg Pt/L), sommer	30,4	23,6	5,0	147,1	18

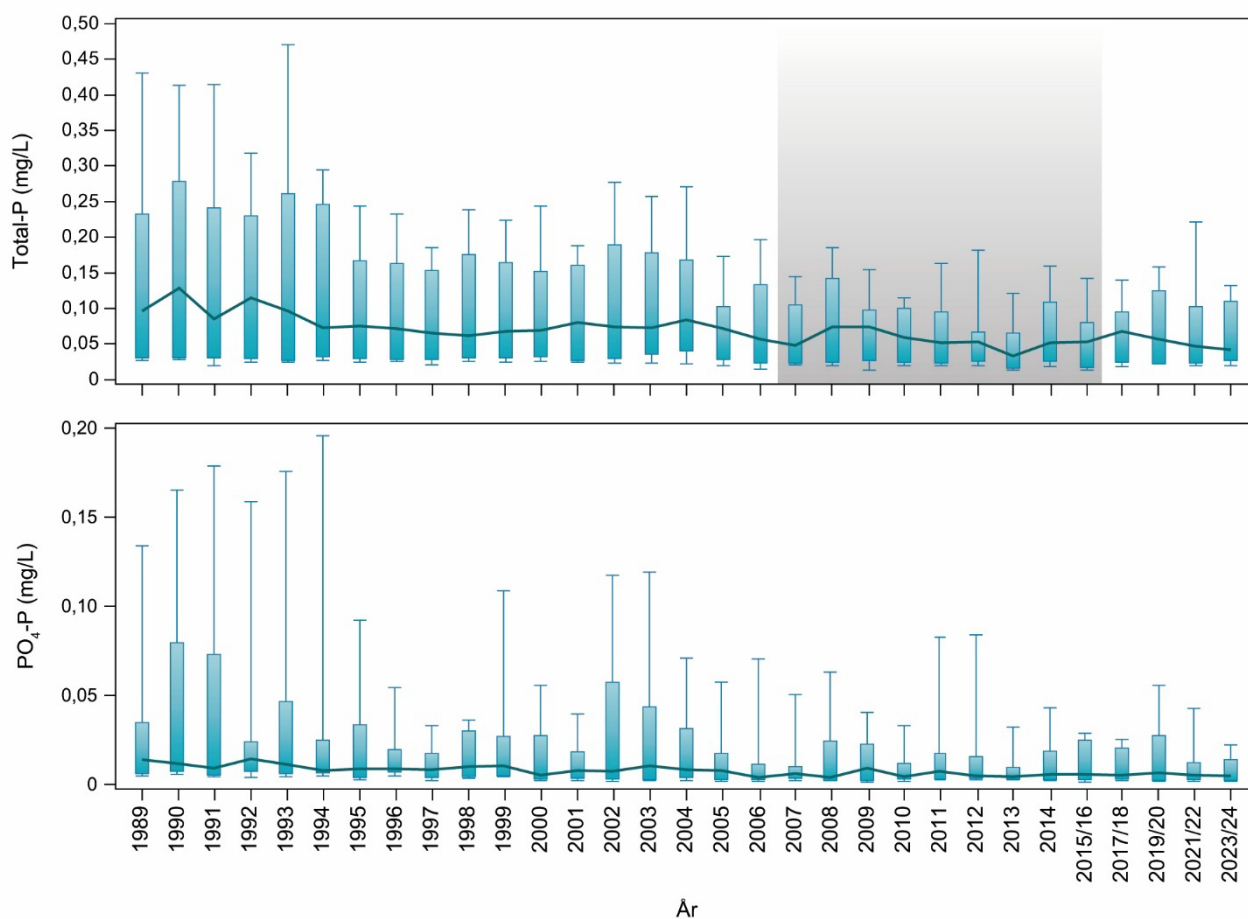
2.2 Vandkemi og sigtdybde

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 eksternt belastning eller afskæring af spildevand kan denne fosfor efterfølgende i en årrække frigives fra søbunden 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 2023/2024 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 kontrolovervågningen 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).

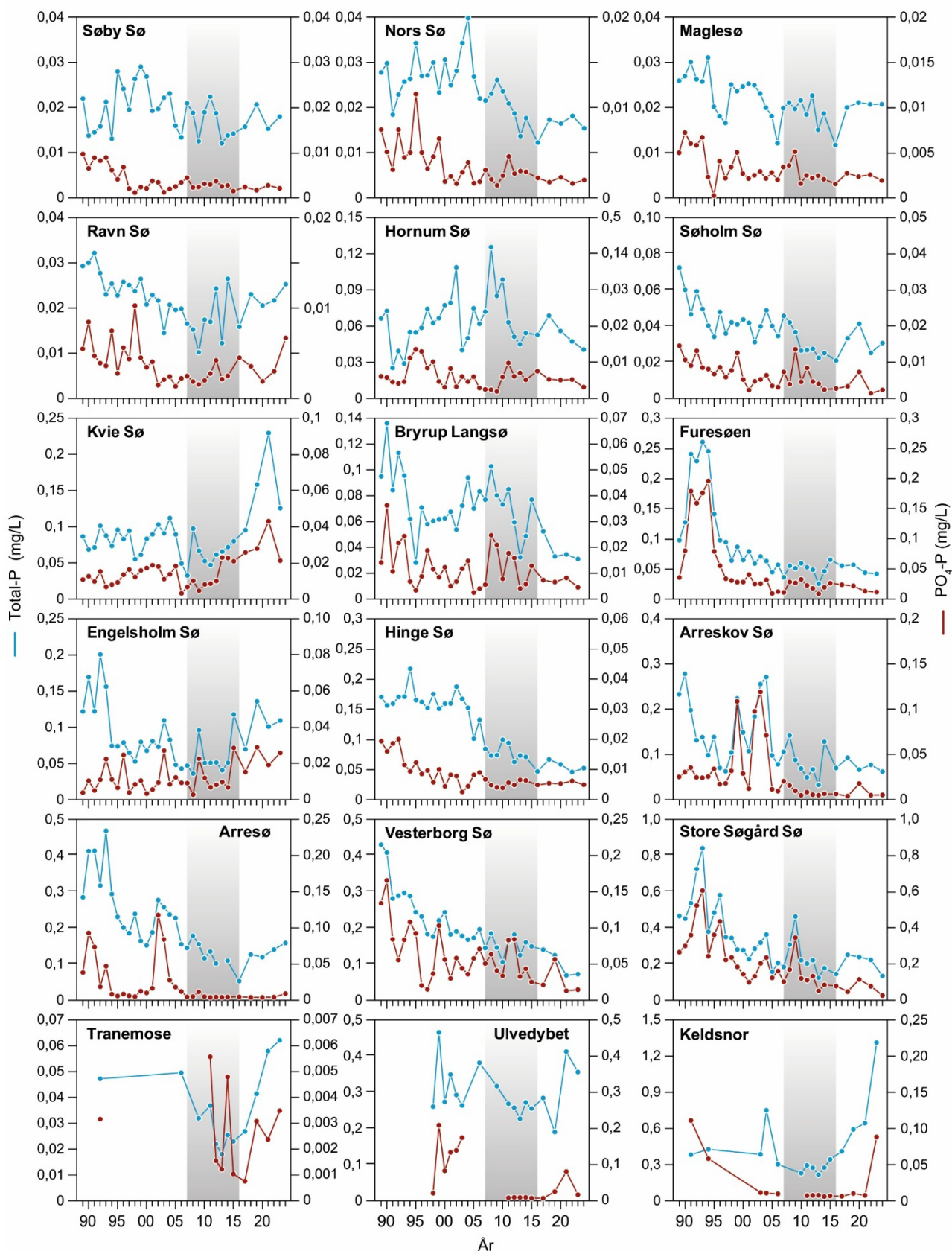


Figur 2.2. Udviklingen i sommergennemsnit for søkoncentrationen af totalfosfor, Total-P (mg/L) og opløst fosfor, $\text{PO}_4\text{-P}$ (mg/L) i 15 af de søer i kontrolovervågningen af udvikling, der har været undersøgt siden 1989. Boxe med whiskers viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder 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, 2021-2022 og 2023-2024 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 til 2023/2024 har ligget mellem 0,05 og 0,07 mg/L. I 2013 blev der målt den laveste medianværdi, hvorefter medianværdierne i de seneste to perioder (2021/2022 og 2023/2024) har ligget på omkring 0,05 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 0,005 mg/L i 2023/2024. 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 maksimumsværdierne og 75 %-fraktilerne, der er faldet mest, hvorimod minimum- og 25 %-fraktilerne ikke ændres meget. For totalfosfor blev både 75 %-fraktilen og maksimumværdien mere end halveret mellem perioden 1989-1993 og 2015-2022. Dette gælder både sommergennemsnittet (dog ikke 75 %-fraktilen) og gennemsnittet på årsbasis. Det er en udvikling, der er forsat i 2023/2024. Reduktionen i de mest næringsrige KU-søer er endnu tydeligere for orthofosfat, hvor 75 %-fraktilen og maksimumsværdierne fra 1989-1993 til 2015-2022 på årsbasis faldt til henholdsvis 32 % og 21 %. For sommerværdier var der tale om reduktioner til henholdsvis 43 % og 19 % mellem de samme perioder. Også her er udviklingen fortsat i 2023/2024, hvor det maksimale sommergennemsnit f.eks. er reduceret fra 0,077 mg/L i 2015-2022 til 0,026 mg P/L i 2023/2024. Der kan dog ikke tolkes alt for hårdt på disse kvartil- og maksimumsværdier 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, Total-P (mg/L) og opløst fosfor, PO₄-P (mg/L) i de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Bemærk forskellige skalaer på y-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 for 5-8-årsperioder siden 1989 samt 2023/2024 i de 15 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.

Totalfosfor	Gns.	Median	Min.	25%	75 %	Maks.
Periode	Årsværdier (mg/L)					
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
2015-2022*)	0,065	0,052	0,016	0,030	0,099	0,168
2023/2024	0,060	0,053	0,016	0,034	0,078	0,129
Sommerværdier (mg/L)						
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
2015-2022*)	0,072	0,054	0,016	0,020	0,108	0,210
2023/2024	0,062	0,041	0,015	0,025	0,109	0,157

Tabel 2.3. Koncentrationen af opløst fosfor (orthofosfat) angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for 5-8-årsperioder siden 1989 samt 2023/2024 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Data er baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

Orthofosfat	Gns.	Median	Min.	25%	75 %	Maks.
Periode	Årsværdier (mg/L)					
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
2015-2022	0,019	0,015	0,002	0,003	0,024	0,075
2023/2024	0,016	0,010	0,002	0,003	0,024	0,045
Sommerværdier (mg/L)						
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
2015-2022	0,015	0,006	0,002	0,003	0,023	0,077
2023/2024	0,009	0,005	0,002	0,002	0,014	0,026

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 årsgennemsnittet og sommergennemsnittet af totalfosfor i perioden 1989-2023/2024 reduceret signifikant i henholdsvis 11 og 12 ud af de 18 søer. I en enkelt sø, Keldsnor, er årsgennemsnittet øget. Hvis der alene ses på den seneste 20-års periode (2005-2023/2024), er der færre ændringer, men der er sket en signifikant reduktion i seks ud af 18 søer på både årsbasis og sommerbasis. I fire søer (årsgennemsnit) henholdsvis tre søer (sommerngennemsnit) er der sket en stigning. I den seneste periode med mindst

otte måleår (2012-2023/2024) er der ikke sket signifikante ændringer i 13 af søerne, mens indholdet er øget i henholdsvis to (årgennemsnit) eller tre (sommergennemsnit) søer. For enkelte søer er der for få data til at lave en statistisk test over ændringer i den seneste periode.

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 2023/2024 samt i de seneste 20 år (2005-2023/2024) og den seneste periode med mindst otte måleår (2012-2023/2024) 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 målinger) til en statistisk vurdering. Resultaterne i perioden 2007 til første kvartal 2017 kan være påvirkede af fejl-analyserne beskrevet i afsnit 1.4.

	Totalfosfor					
	Årgennemsnit			Sommergennemsnit		
	1989- 2023/24	2005- 2023/24	2012- 2023/24	1989- 2023/24	2005- 2023/24	2012- 2023/24
Nors Sø	----	--	0	----	---	0
Ulvedybet Nord	0	0	0	0	0	0
Hornum Sø	0	---	**	0	--	0
Tranemose	0	0	0	0	0	+++
Hinge Sø	----	---	0	----	----	0
Ravn Sø	0	+	0	---	0	0
Bryrup Langsø	---	---	0	--	---	0
Søby Sø	--	0	0	0	0	0
Kvie Sø	0	++	+++	0	++	+++
Engelsholm Sø	0	+++	0	-	+++	0
Store Søgård Sø	----	0	0	----	0	0
Arreskov Sø	---	0	0	----	0	0
Søholm Sø	----	---	0	----	-	0
Keldsnor	++	+++	++	0	+++	+++
Arresø	----	0	**	----	0	**
Furesøen	----	0	0	----	0	0
Maglesø	---	0	0	----	0	0
Vesterborg Sø	----	---	-	----	---	--
I alt 0	6	8	13	6	9	13
I alt +/++/+++ /++++	1	4	2	0	3	3
I alt -/--/---/----	11	6	1	12	6	1

Kvælstof

Kvælstof i vandmiljøet stammer primært fra udvaskning fra det åbne land, hvoraf landbrugsarealer udgør størstedelen. Mindre betydende kilder er renseanlæg, 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 kvælstofformer udgøres af nitrat, nitrit (analyseres sammen med nitrat, nitrit+nitrat) og ammonium. Som regel udgør nitrat og nitrit den største andel af opløst uorganisk kvælstof, som sammen med ammonium er direkte tilgængelig for algerne produktion. Indholdet af nitrit+nitrat reduceres ofte hen over sommeren på grund af algerne optag og øget denitrifikation. Den naturlige kvælstoffjernelse (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 kombineret med massebalanceberegninger på kvælstof bidrager med viden til en vurdering af søernes samlede kapacitet til at fjerne kvælstof.

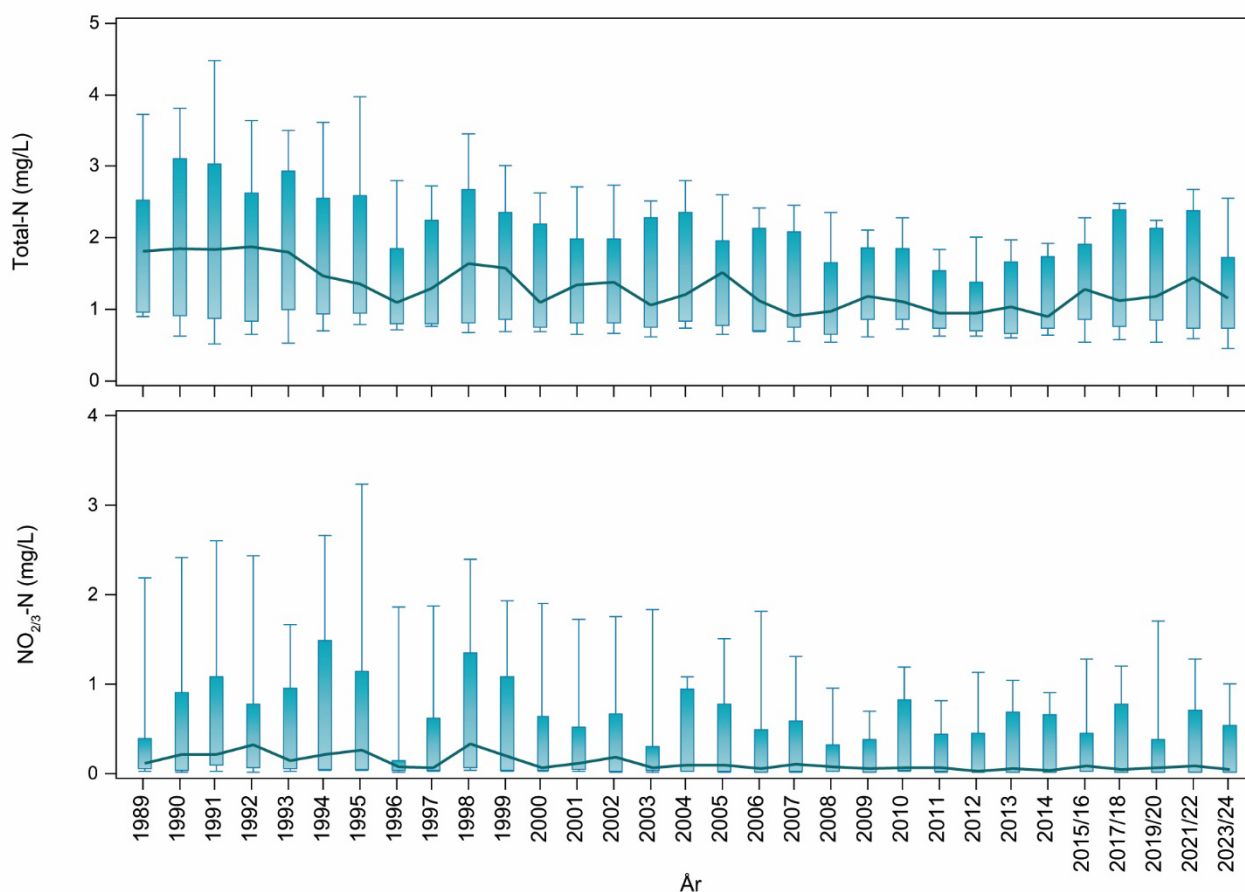
Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2023/2024 af totalkvælstof og nitrit+nitrat i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, ses i figur 2.4. Resultaterne for de enkelte søers kvælstofindhold er vist i figur 2.5 og tabel 2.7.

Siden 1989 er der sket en reduktion i indholdet af totalkvælstof i søerne, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, på såvel års- og 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 fem seneste toårsperioder (2015-2016, 2017-2018, 2019-2020, 2021-2022 og 2023/2024) har medianværdien af sommertotalkvælstofkoncentrationen ligget lidt højere end i den foregående periode fra 2006 til 2014.

Sommermedianen af nitrit+nitrat-koncentrationen (figur 2.4) 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. Maksimumværdierne har her også været lavere. I modsætning til totalkvælstof øgedes medianværdien af nitrit+nitrat-koncentrationen ikke i de fire seneste toårsperioder, hvilket sandsynligvis kan forklares med et øget indhold af partikulært bundet kvælstof.

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 2023/2024 er 75 %-fraktilen af årsværdierne af totalkvælstof således reduceret fra 4,25 til 2,31 mg/L, og sommerværdierne er faldet fra 2,90 til 1,71 mg/L i samme periode (tabel 2.5). Nitrit+nitrat-koncentrationen er i de mest kvælstofrige søer (75 %-fraktilen) på årsbasis over hele perioden (1989-1993 til 2023/2024) mere end halveret fra 3,22 til 1,25 mg/L (tabel 2.6). For sommerperioden er der, overordnet set, også sket et fald i de mest næringsrige søer, men mindre markant.

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 totalkvælstof, Total-N (mg /L) og nitrit+nitrat-N, $\text{NO}_{2/3}\text{-N}$ (mg/l) i de 15 søer, der har været overvåget siden 1989. Boxe 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, 2021-2022 og 2023-2024 slået sammen.

Tabel 2.5. Koncentrationen af totalkvælstof angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-8-årsperioder siden 1989 samt 2023/2024 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Data er baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

Totalkvælstof	Gns.	Median	Min	25%	75 %	Maks.
Periode	Årsværdier (mg/L)					
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
2015-2022	1,86	1,71	0,40	0,92	2,30	5,10
2023/2024	1,75	1,51	0,34	0,75	2,31	5,74
Sommerværdier (mg/L)						
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
2015-2022	1,41	1,36	0,33	0,83	2,06	2,66
2023/2024	1,31	1,14	0,30	0,73	1,71	2,60

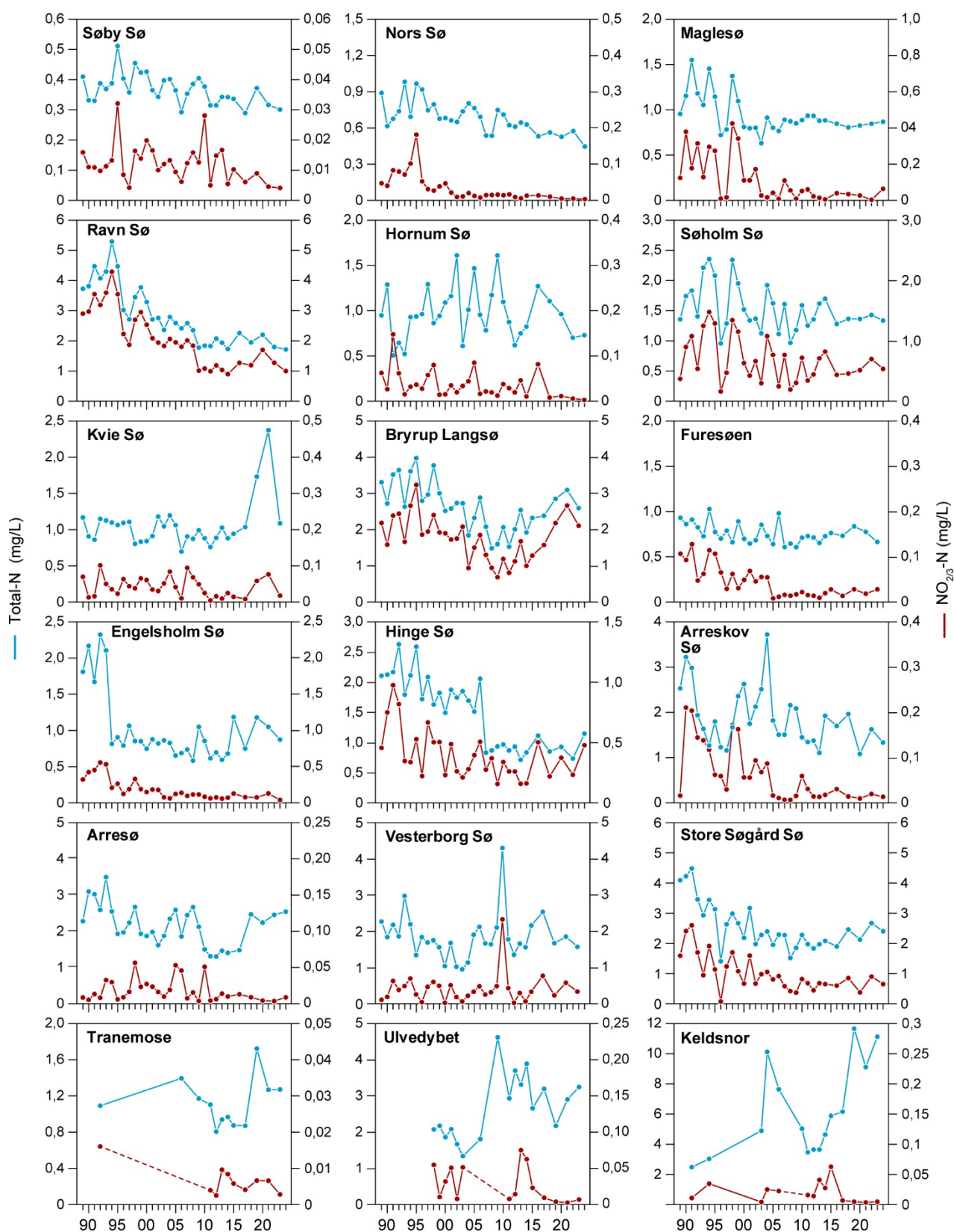
Tabel 2.6. Koncentrationen af nitrit-nitrat angivet som gennemsnit- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-8-årsperioder samt 2023/2024 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Data er baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

Nitrit-nitrat-N	Gns.	Median	Min.	25%	75 %	Maks.
Periode	Årsværdier (mg/L)					
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
2015-2022	0,91	0,27	0,04	0,15	1,63	3,92
2023/2024	0,89	0,24	0,03	0,09	1,25	4,72
	Sommerværdier (mg/L)					
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
2015-2022	0,37	0,04	0,01	0,02	0,53	1,93
2023/2024	0,35	0,04	0,003	0,01	0,54	2,11

Ser man på enkelt søerne i perioden 1989-2023/2024, er der som helhed sket en reduktion i totalkvælstofkoncentrationen i flertallet af de 15 søer (tabel 2.7, figur 2.5), både hvad angår sommergennemsnit og årsgennemsnit (11 søer i begge tilfælde). Totalkvælstofkoncentrationen er kun øget i én sø både som års- og sommergennemsnit. Hvis der alene kigges på udviklingen i de seneste 20 år (2005-2023/2024), er der færre søer, hvor indholdet af totalkvælstof har ændret sig signifikant; i fem søer har der været et reduceret årsgennemsnit og i to søer et reduceret sommergennemsnit, mens årsgennemsnittet er øget i tre søer og sommergennemsnittet i fire søer. I den seneste periode med mindst otte måleår (2012-2023/2024) er der på årsbasis sket ændringer i fire søer; i to søer er koncentrationen faldet, og i andre to søer er den steget. For sommergennemsnittet er koncentrationen øget i fem søer og reduceret i en. 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 2023/2024, i de seneste 20 år (2005-2023/2024) og den seneste periode med mindst otte måleår (2012-2023/2024) 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 målinger) til en statistisk vurdering.

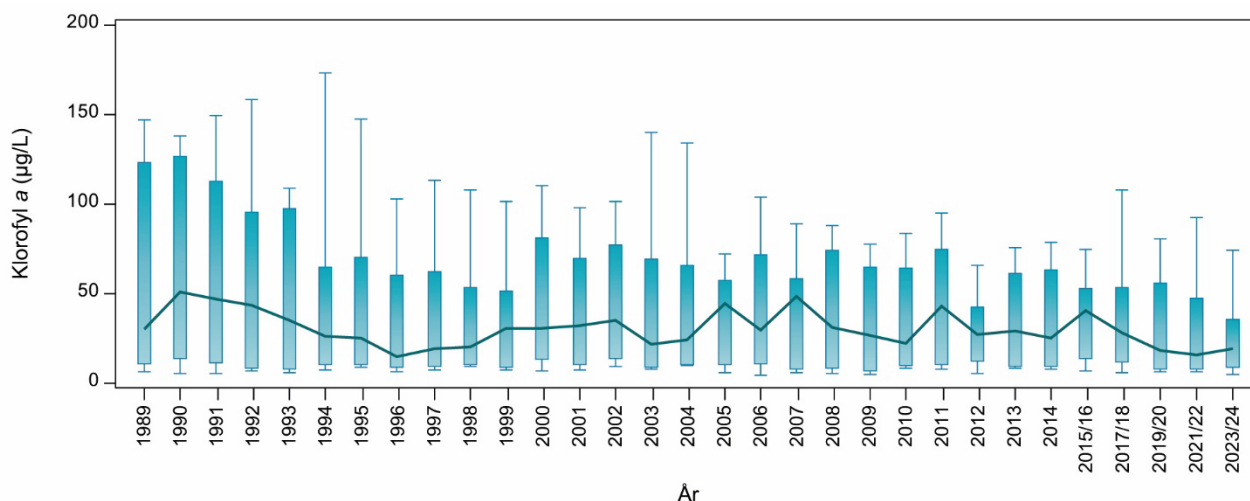
	Totalkvælstof					
	Årsgennemsnit			Sommergennemsnit		
	1989- 2023/24	2005- 2023/24	2012- 2023/24	1989- 2023/24	2005- 2023/24	2012- 2023/24
Nors Sø	----	--	-	----	--	-
Ulvedybdet Nord	0	0	0	0	0	0
Hornum Sø	0	--	**	0	0	0
Tranemose	0	0	0	0	0	0
Hinge Sø	----	----	---	----	0	0
Ravn Sø	----	-	0	----	--	0
Bryrup Langsø	----	0	0	---	0	+
Søby Sø	---	0	0	---	0	0
Kvie Sø	0	+	0	0	++	++
Engelsholm Sø	---	0	0	--	+	0
Store Søgård Sø	----	--	0	----	0	++
Arreskov Sø	--	0	0	--	0	0
Søholm Sø	0	0	0	0	0	0
Keldsnor	++	+++	++	++	++	+++
Arresø	----	0	0	--	0	+++
Furesøen	---	+	0	-	++	0
Maglesø	-	0	0	--	0	0
Vesterborg Sø	0	0	+++	0	0	0
I alt 0	6	10	13	6	12	12
I alt +/++/+++ /++++	1	3	2	1	4	5
I alt -/-/---/----	11	5	2	11	2	1



Figur 2.5. Udvikling i sommergennemsnitskoncentrationen af totalkvælstof, Total-N (mg/L) og nitrit+nitrat-N, NO_{2/3}-N (mg/L) i hver af de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Bemærk forskellige skalaer på y-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 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* (µg/L) i de 15 søer, der har været overvåget siden 1989. Boxe med whiskers viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne. 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, 2021-2022 og 2023/2024 er derfor slået sammen.

Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2023/2024 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.

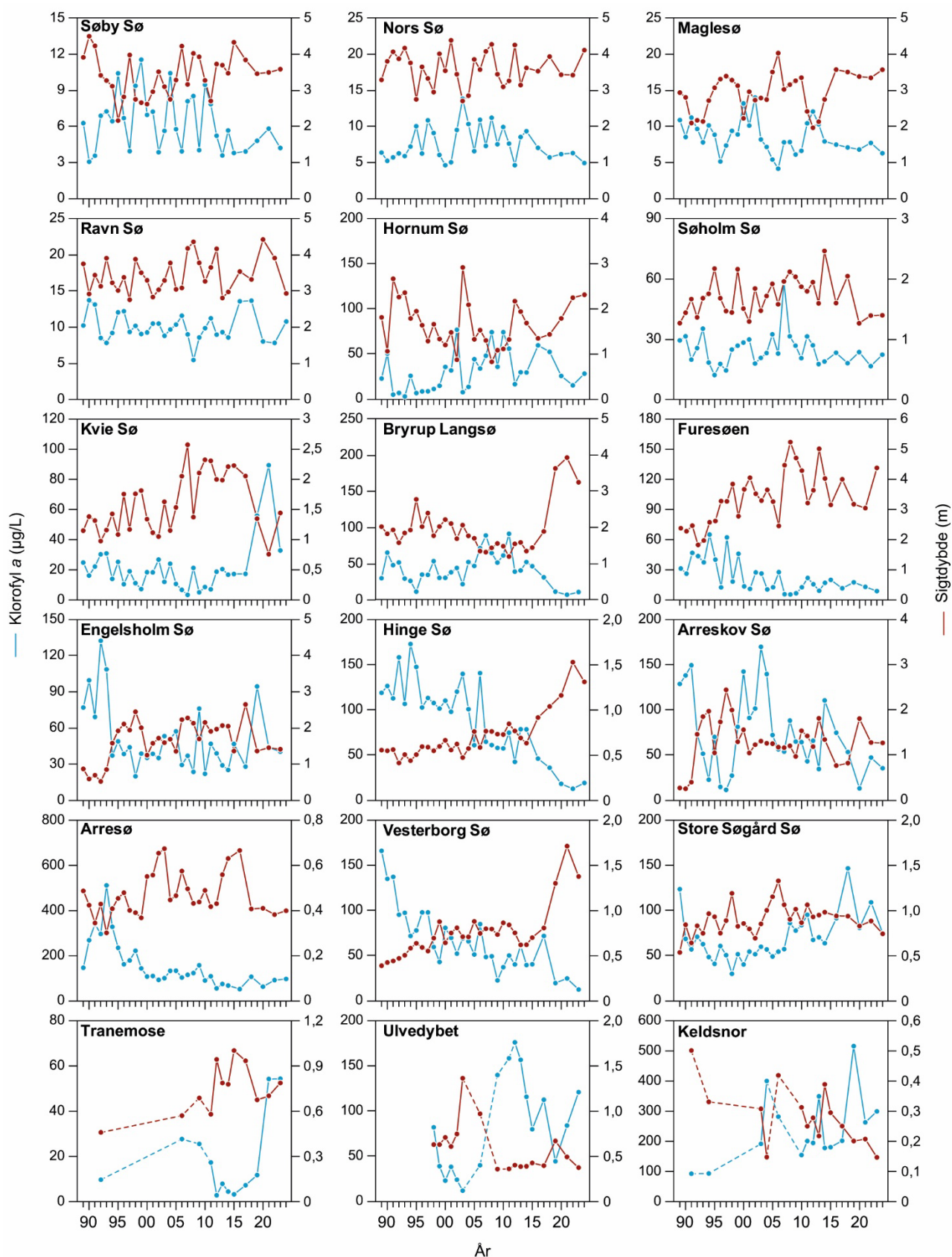
Sommermedianværdierne for de 15 søers indhold af klorofyl *a* har varieret en del fra år til år i undersøgelsesperioden, uden at der er nogen klar udviklingstendens for perioden som helhed. Der var et konstant fald fra 1990 til 1996, men siden da har den sommergennemsnitlige medianværdi varieret mellem 15 og 50 µg/L (figur 2.6).

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 2023/2024 blev værdien af 75 %-fraktilen af klorofyl *a* på årsbasis mere end halveret, idet der skete en reduktion fra 86 til 37 µg/L (tabel 2.8). I samme periode faldt maksimumværdien fra 377 µg/L til 86 µg/L. De sommergennemsnitlige værdier er ligeledes reduceret markant blandt søerne med de højeste koncentrationer. Således er 75 %-fraktilen reduceret med 66% – fra 108 til 36 µg/L.

Tabel 2.8. Søkoncentrationen af klorofyl *a* angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-8-årsperioder og 2023/2024 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Data er baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

Klorofyl <i>a</i>	Gns.	Median	Min	25%	75 %	Maks.
Periode	Årsværdier (mg/L)					
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
2015-2022	27,6	18,1	6,2	9,5	34,1	82,9
2023/2024	23,5	15,5	5,3	7,1	37,2	86,2
	Sommerværdier (µg/L)					
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
2015-2022	35,1	28,3	4,6	10,8	47,2	106,4
2023/2024	27,3	19,2	4,2	8,8	35,5	97,8

Klorofylkoncentrationen er i perioden 1989-2023/2024 som helhed reduceret signifikant i seks af de 18 søer som årsgennemsnit og syv søer som 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 periode med otte måleår (2012-2023/2024), er der kun sket en signifikant reduktion af årsgennemsnittet i to søer og en reduktion i tre søer, hvis der ses på sommergennemsnittet. I samme periode er der sket en forøgelse i én sø både som årsgennemsnit og som sommergennemsnit. 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* (µg/L) og sigtdybde (m) i de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Bemærk forskellige skalaer på y-akserne.

Tabel 2.9. Udviklingen i indholdet af klorofyl *a* og sigtdybde i hele perioden 1989-2023/2024, i de seneste 20 år (2005-2023/2024) og den seneste periode med mindst otte måleår (2012-2023/2024) 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 data-grundlag (<8 målinger) til en statistisk vurdering.

	Årsgennemsnit					
	Klorofyl <i>a</i>			Sigtdybde		
	1989- 2023/24	2005- 2023/24	2012- 2023/24	1989- 2023/24	2005- 2023/24	2012- 2023/24
Nors Sø	0	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
Bryrup Langsø	0	----	--	0	+++	+++
Søby Sø	-	0	0	++	0	0
Kvie Sø	0	+++	+	++++	0	0
Engelsholm Sø	--	0	0	0	0	0
Store Søgård Sø	+++	+	0	0	-	0
Arreskov Sø	0	0	0	0	0	0
Søholm Sø	0	---	0	0	--	--
Keldsnor	+	0	0	-	0	-
Arresø	----	0	0	++++	0	0
Furesøen	----	0	0	+++	0	0
Maglesø	0	0	0	+	0	0
Vesterborg Sø	----	0	0	++++	0	+
I alt 0	9	12	14	8	14	12
I alt +/++/+++ /++++	3	2	1	8	2	3
I alt -/--/---/----	6	4	2	2	1	2

	Sommergennemsnit					
	Klorofyl <i>a</i>			Sigtdybde		
	1989- 2023/24	2005- 2023/24	2012- 2023/24	1989- 2023/24	2005- 2023/24	2012- 2023/24
Nors Sø	0	-	0	0	0	0
Ulvedybet Nord	0	0	0	0	0	0
Hornum Sø	++	-	0	0	++	0
Tranemose	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	++	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	--	--	-
Arresø	----	--	0	0	-	0
Furesøen	---	0	0	+++	0	0
Maglesø	--	0	---	++	0	0
Vesterborg Sø	----	-	0	++++	0	++
I alt 0	8	9	14	11	12	13
I alt +/++/+++ /++++	3	2	1	6	3	3
I alt -/--/---/----	7	7	3	1	3	2

Sigtdybde

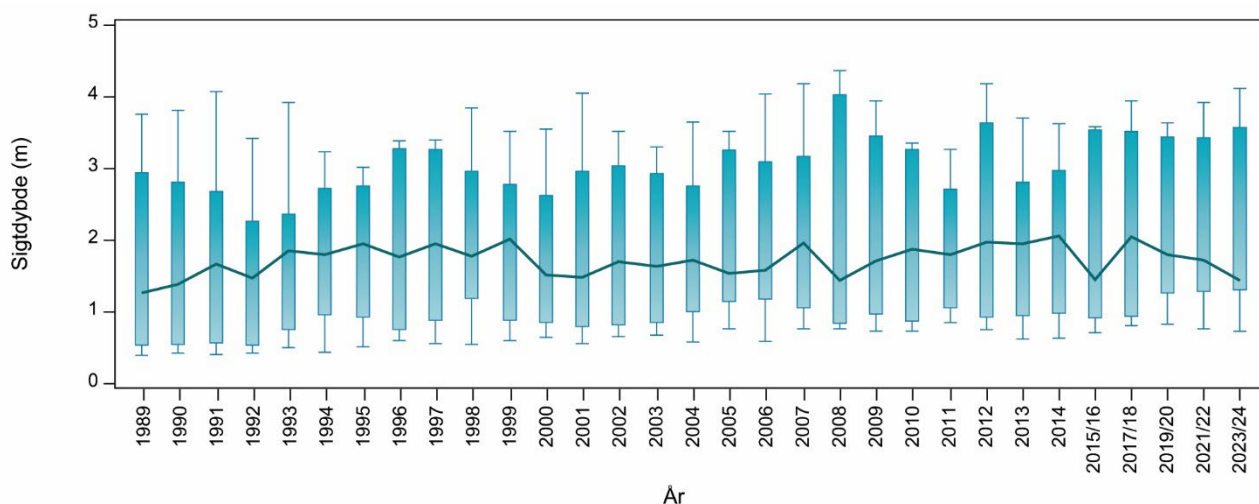
Sigtdybden er et udtryk for vandets klarhed eller gennemsigtighed, dvs. sigtdybden er afgørende for lysets evne til at trænge ned i søvandet og dermed f.eks. af betydning for, hvor dybt egentlige undervandsplanter vil være i stand til at vokse. Sigtdybden er derfor også en væsentlig parameter i vurderingen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

I de fleste søer er sigtdybden tæt koblet til mængden af alger og dermed til indholdet af klorofyl. Vandets farve (f.eks. brunvandede søer) eller resuspenderet materiale fra søbunden i lavvandede søer i forbindelse med blæst kan i høj grad også påvirke sigtdybden negativt. Derfor vil de brunvandede og de lavvandede søtyper, ved sammenlignelige næringsstofkoncentrationer, 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 svagt 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 varieret mellem 1,4 og 1,9 m. I 2023/2024 var medianværdien af sommergennemsnittet på 1,44 m og dermed ikke langt fra den første periode (1989-1993), hvor den var 1,48 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 seks ud af de 18 søer, mens der kun har været en signifikant reduceret sigtdybde for perioden 1989-2023/2024 i én sø. For årsgennemsnittet er der i den samme periode otte søer, hvori sigtdybden er øget signifikant, og to, hvori den er reduceret. I den seneste periode med otte måleår (2012-2023/2024) er sigtdybden øget i tre søer både som årsgennemsnit og som sommergennemsnit. I to søer er der både som sommergennemsnit og årsgennemsnit sket en reduktion i sigtdybden. 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 årsgennemsnit er sigtdybden i de 15 søer, der er undersøgt siden 1989, som medianværdi reduceret fra 1,98 m i perioden 1989-1993 til 1,66 m i 2023/2024 (tabel 2.10). Sommerværdierne ligger generelt lavere end årsværdierne, fordi mængden af alger generelt er højere om sommeren. De største relative ændringer er sket i 25 %-kvartilen, hvor sommergennemsnittet er øget fra 0,71 til 1,31 m og årsgennemsnittet fra 0,85 til 1,36 m. Dette er også forventeligt, da disse søer havde de højeste næringsstofkoncentrationer i starten af overvågningsperioden.



Figur 2.8. Udviklingen i sommersigtdybden i de 15 søer, der har været overvåget siden 1989. Boxe 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, 2021-2022 og 2023/2024 er slået sammen.

Tabel 2.10. Sigtdybden angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for 5-8-årsperioder samt 2023/2024 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Data er baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

Sigtdybde	Gns.	Median	Min.	25 %	75 %	Maks.
Periode	Årsværdier (m)					
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	0,60	1,05	3,65	4,87
2015-2022	2,31	1,93	0,55	1,38	3,57	3,98
2023/2024	2,28	1,66	0,53	1,36	3,39	5,00
Sommerværdier (m)						
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
2015-2022	2,14	1,71	0,47	1,16	3,45	3,80
2023/2024	2,23	1,44	0,40	1,31	3,57	4,37

2.3 Sedimentkemi

Sedimentet i KU-søerne undersøges gennemsnitligt én gang hvert 6. år. Det betyder, at i de fleste KU-søer er sedimentet undersøgt syv gange siden overvågningsperiodens start i 1989. De seneste undersøgelser er fra 2023 og 2024. Tre KU-søer kom med i programmet i 2011 (Ulvedyb, Tranemose og Keldsnor) og har derfor kun været undersøgt to eller tre gange siden 2011.

Sedimentet er i de fleste tilfælde undersøgt i seks dybder: 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm og 30-50 cm og analyseret for fire variable: tørstofindhold (% af vådvægt), glødetab (% af tørvægt), totaljern (mg Fe/g tørstof) og totalfosfor (mg P/g tørstof) på tre forskellige prøvetagningsstationer i hver sø. For hver sedimentdybde og prøvetagningsstation er der puljet sediment fra tre søjler. De tre prøvetagningsstationer er behandlet separat og ligger jævnt fordelt på de dybere områder af søerne, specifikt inden for de 20 % af

søens areal og dybder, som svarer til intervallet mellem 70- og 90 %-grænserne på hypsografen, regnet fra land mod søens største dybde.

I dette afsnit gives der en oversigt over tilstanden i KU-søernes sediment, og hvordan udviklingen har været siden starten af overvågningen for nogle af de centrale sedimentvariable.

En oversigt over data fra sedimentundersøgelserne (overfladesedimentet) gennemført i 18 KU-søer i perioden 2023-2024 er givet i tabel 2.11. Tabellen illustrerer, hvor forskelligt sedimentet er i de 18 søer. I overfladesedimentet (0-2 cm) varierer tørstofindholdet mellem 1,9 % (Nors Sø) og 46,9 % (Ulvedybet), glødetabet, der udtrykker indholdet af organisk stof, varierer mellem 4,7 % (Ulvedybet) og 81,9 % (Tranemose), jernindholdet mellem 2,8 mg Fe/g tørvægt (Tranemose) og 200 mg Fe/g tørvægt (Søby Sø) og totalfosforindholdet mellem 0,42 mg P/g tørvægt (Ulvedybet) og 7,2 mg P/g tørvægt (Ravn Sø). Samme forhold gør sig gældende for de øverste 10 cm af sedimentet. Her er tørstofindholdet blot større, mens glødetab og totalfosforindhold per tørstofindhold ofte er mindre som et udtryk for, at dybden ned til 10 cm omfatter et ældre og mere komprimeret og omsat sediment end de øverste 2 cm. De forskellige sedimentforhold kan både være et udtryk for forskellige tilførsler til søerne – f.eks. jern fra jernholdige jorde i oplandet - og forskellige forhold i søerne – for eksempel forskellig produktion og sedimentation af organisk materiale fra søen. Begge forhold kan føre til de observerede forskelle.

Tabel 2.11. De 18 KU-søer, hvor sedimentet er undersøgt i perioden 2023/2024. Tallene er simple gennemsnit af tre stationer per sø. 0-10 cm er gennemsnit af dybdeintervallerne 0-2, 2-5 og 5-10 cm. tv=tørvægt

Sø	0-2 cm				0-10 cm			
	Tørstof (%)	Glødetab (%)	Jern (mg Fe/g tv)	Totalfosfor (mg P/g tv)	Tørstof (%)	Glødetab (%)	Jern (mg Fe/g tv)	Totalfosfor (mg P/g tv)
Arreskov Sø	3,9	36,0	34,7	1,33	6,4	34,3	21,1	1,11
Arresø	3,3	36,8	11,7	2,13	4,7	35,5	10,4	1,72
Bryrup Langsø	5,6	35,2	52,0	4,13	6,4	34,6	50,3	4,20
Engelsholm Sø	6,5	35,5	57,0	3,33	7,9	33,9	43,7	2,24
Furesøen	14,6	18,4	16,7	2,37	18,6	17,3	14,8	1,74
Hinge Sø	12,7	22,9	157,0	4,57	13,6	22,4	145,9	4,11
Hornum Sø	11,5	28,2	7,4	1,50	13,1	31,1	5,7	1,17
Keldsnor	8,0	30,2	15,7	1,50	13,3	24,4	13,2	1,30
Kvie Sø	17,2	20,9	6,6	1,27	31,0	16,9	4,6	0,98
Maglesø	4,9	33,5	13,7	2,10	7,7	31,2	10,4	1,43
Nors Sø	1,9	31,1	29,0	1,60	4,7	32,7	33,4	2,03
Ravn Sø	16,8	20,6	88,3	7,20	24,0	18,3	67,4	5,07
Store Søgård Sø	17,8	13,4	27,3	2,17	26,9	13,1	23,0	1,71
Søby Sø	5,9	30,6	200,0	3,77	7,4	30,2	178,9	3,13
Søholm Sø	27,0	12,5	5,6	0,66	25,6	13,6	7,5	0,87
Tranemose	2,7	81,9	2,8	1,31	6,0	73,3	2,1	0,82
Ulvedybet	46,9	4,7	7,8	0,42	53,9	4,5	8,1	0,35
Vesterborg Sø	11,9	19,4	12,0	1,44	14,9	17,7	13,2	1,42

Totalfosfor

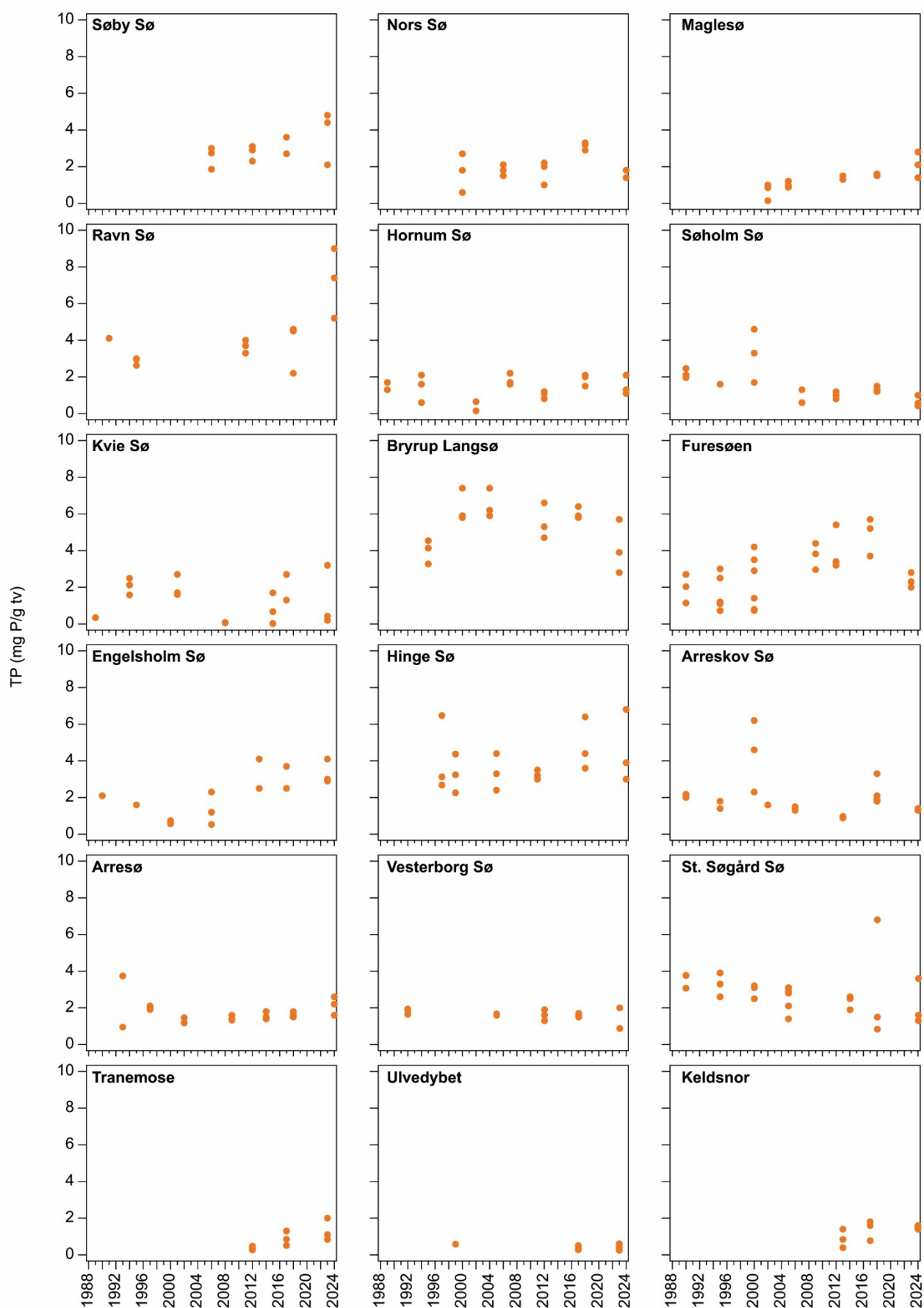
Den tidsmæssige udvikling i indholdet af totalfosfor i overfladesedimentet (0-2 cm) på de tre prøvetagningsstationer i hver af de 18 KU-søer, som er undersøgt gennem overvågningsperioden, er vist i figur 2.9. I de fleste af søerne er der ret store forskelle i fosforindholdet på de tre prøvetagningsstationer – også fra år til år, og denne heterogenitet bidrager til at gøre det vanskeligt at se eventuelle

udviklingstendenser. I den sammenhæng er det værd at huske, at de ændringer, der sker i søernes tilbageholdelse/frigivelse af fosfor, ofte er små i forhold til de store mængder af fosfor, der er ophobet i de øverste sedimentlag.

I nogle af søerne sker der tilsyneladende betydelige ændringer i sediment-overfladens indhold af totalfosfor inden for få år. Et eksempel er Bryrup Langsø, hvor det gennemsnitlige indhold af fosfor i overfladesedimentet fra 1995 til 2000 øges fra 3,3-4,5 mg P/g tørvægt til 5,8-7,4 mg P/g tørvægt. Ofte kan disse forskelle ikke umiddelbart relateres til ændringer i søernes tilførsel eller tilbageholdelse af fosfor. De skyldes i de fleste tilfælde formentlig lokale horisontale variationer i sedimentets fosforindhold i søerne og er ikke udtryk for reelle ændringer i søernes sediment. Der kan også være søer, hvor der kan være sket reelle ændringer som f.eks. i Furesøen, hvor et øget fosforindhold i overfladesedimentet evt. kan relateres til søens iltning, som kan have ført til øget bindingskapacitet i overfladesedimentet.

Ved vurderingen af ændringer over tid skal der også tages højde for, at nyt materiale hele tiden sedimenterer på bunden (via tilløb eller stof produceret i søen). Overfladesedimentet – og også sediment fra andre dybdeintervaller – taget igennem årene vil derfor ikke repræsentere det samme sediment. Sedimentationshastigheden kendes ikke og kan variere meget imellem søerne, men det, der var overfladesedimentet i 2004, ligger måske i 4-6 cm's dybde 20 år senere ved prøvetagningen i 2024. Udviklingen i overfladesedimentets indhold af fosfor er derfor ikke så meget et udtryk for, om der er optaget eller frigivet fosfor, men i højere grad et udtryk for den sedimentation og de tilbageholdelsesmekanismer (herunder også en eventuel transport af fosfor op fra dybereliggende puljer), der har været gældende i perioden omkring og nogle få år forud for prøvetagningstidspunktet.

I de tre søer, der kom med i programmet i 2011, er fosforindholdet generelt forholdsvis lavt, ikke mindst i Ulvedybet, hvor det gennemsnitlige indhold på de tre stationer i 2024 kun var på 0,42 mg P/g tv. Dette kan hænge sammen med brakvandssøers reducerede evne til at tilbageholde fosfor pga. højere sulfatkoncentrationer, større sulfatreduktionsrater og dermed større immobilisering af jern til svovlforbindelser, som ikke kan binde fosfor, end i ferskvandssøer.

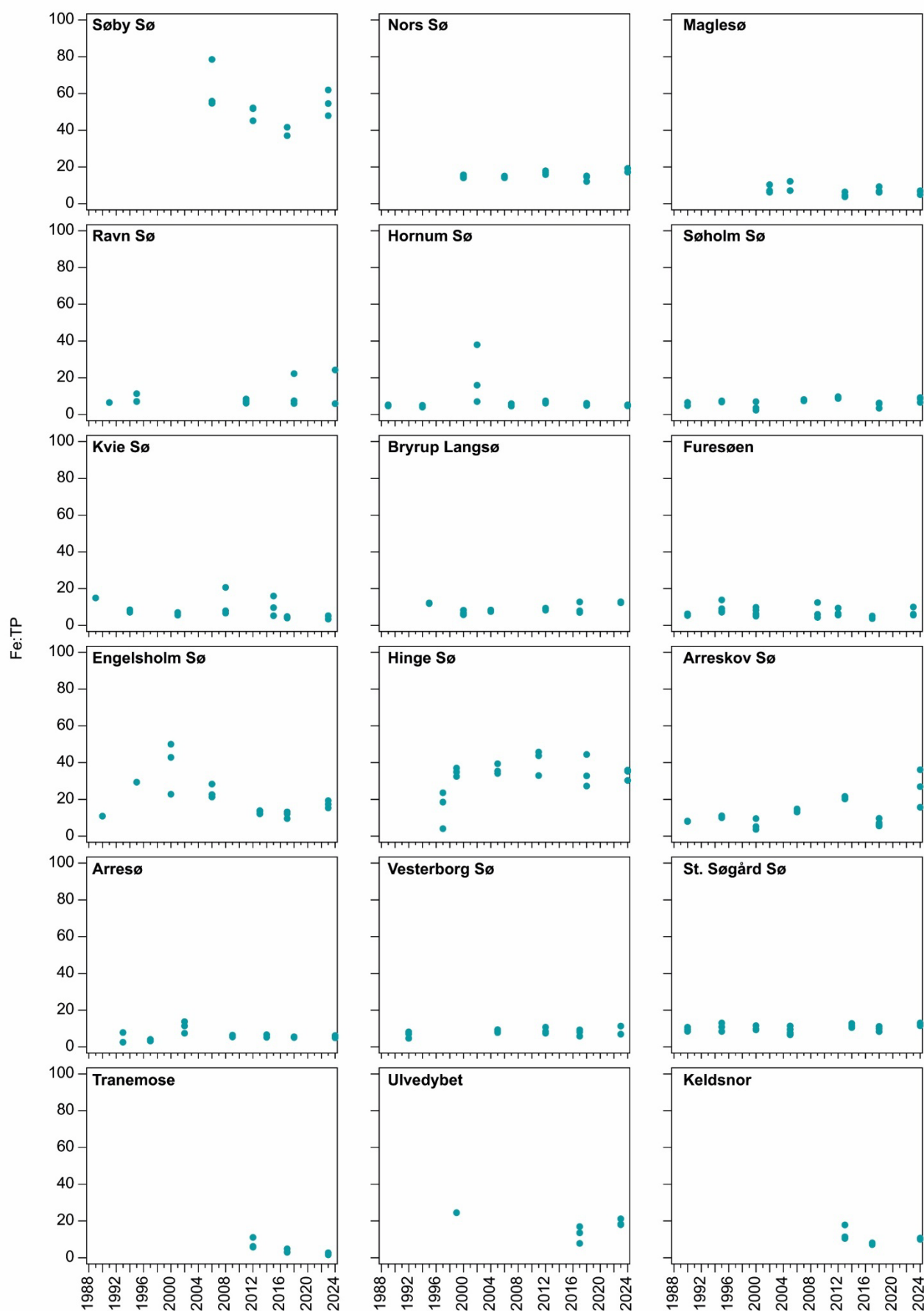


Figur 2.9. Udviklingen i totalfosfor (mg P/g tv) i overfladesedimentet (0-2 cm) i de 18 KU-søer, hvor der er taget prøver gennem flere år. Hvert punkt repræsenterer én prøvetagningsstation.

Jern-fosfor forhold

Jern-fosfor-forholdet (Fe:TP-forholdet) har betydning for sedimentets evne til at tilbageholde fosfor under iltede forhold – jo højere Fe:TP-forhold, desto større er potentialet for at tilbageholde fosfor i sedimentet via iltede jernforbindelser. I flere af søerne er Fe:TP-forholdet forholdsvis lavt, hvilket indikerer en ringe evne til at tilbageholde yderligere fosfor.

Figur 2.10 viser, hvordan Fe:TP-forholdet har ændret sig i overfladesedimentet gennem overvågningsperioden. Som det ses, er det vanskeligt at spore nogen udviklingstendenser. Samtidig ses der også i nogle søer er en betydelig variation mellem de tre prøvetagningsstationer og i visse søer også fra år til år.

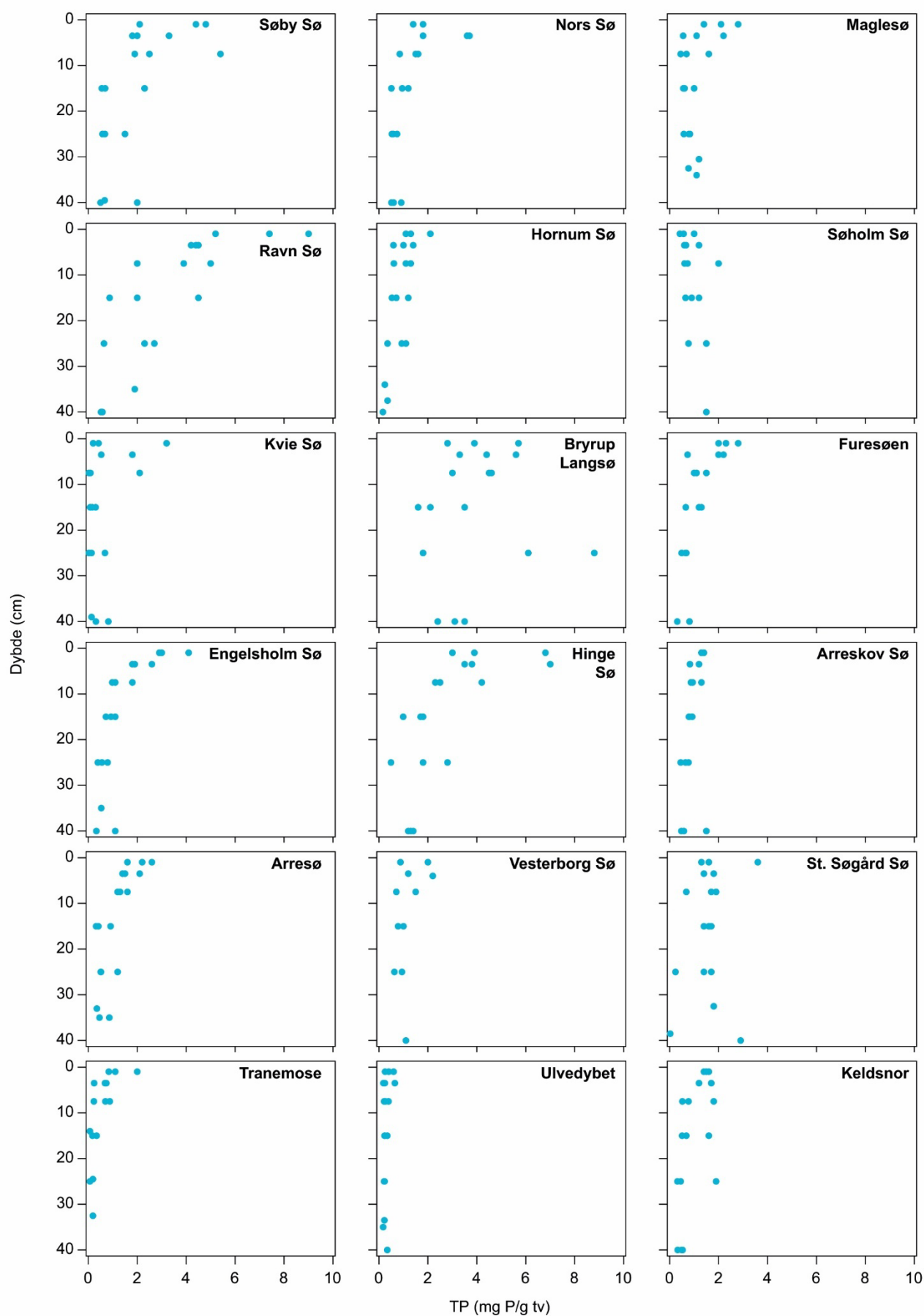


Figur 2.10. Udviklingen i Fe:TP-forholdet (vægtbasis) i overfladesedimentet (0-2 cm) i de 18 KU-søer, hvor der er taget prøver gennem flere år. Hvert punkt repræsenterer én prøvetagningsstation.

Dybdeprofil

I figur 2.11 ses sedimentets dybdeprofil af totalfosforindhold i de 18 KU-søer baseret på den seneste prøvetagning i 2023 eller 2024. Som også allerede indikeret i tabel 2.11 illustrerer figuren det meget forskellige indhold på tværs af søerne, hvor f.eks. indholdet i den brakke Ulvedybet er lavt på alle dybder i forhold til de fleste ferske søer. I flere af søerne varierer indholdet af totalfosfor i de samme sedimentlag betydeligt på tværs af de tre prøvetagningsstationer.

Figuren viser også, hvordan totalfosforindholdet i de fleste søer stiger mod overfladen. I overvågningsprogrammet foretages der ikke længere fraktionering af sedimentets fosforpuljer, men det højere indhold mod overfladen skyldes sandsynligvis, at der her er et højere indhold af organisk bundet fosfor i forhold til de dybere sedimentlag, hvor det organiske stof er mere omsat. Et højere indhold i overfladesedimentet kan også skyldes, at der her er mere iltede forhold og en højere bindingskapacitet. Forskelle i sedimentprofilerne ned gennem sedimentet kan desuden være et udtryk for ændret tilførsel og tilbageholdelse af fosfor gennem de seneste årtier.



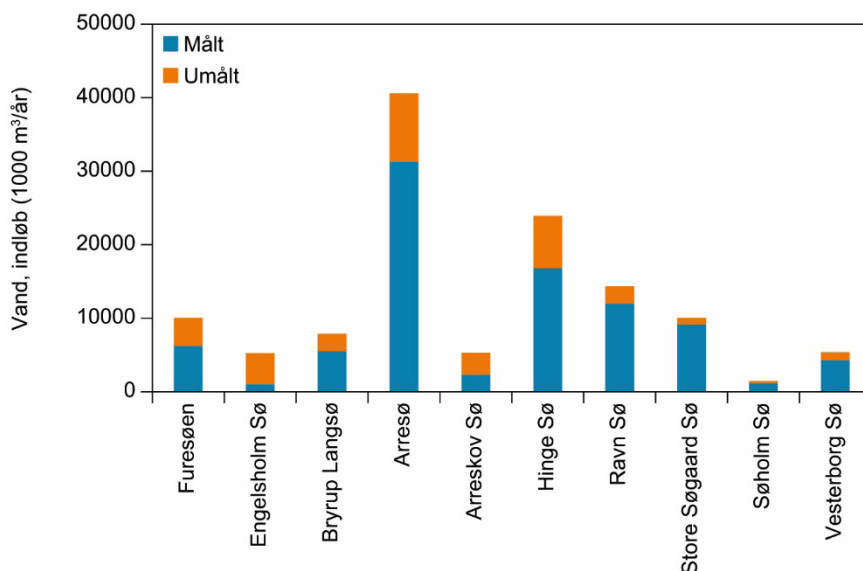
Figur 2.11. Sedimentprofiler af totalfosforindholdet i de øverste 50 cm af sedimentet fra de 18 KU-søer taget i 2023/2024. Den gennemsnitlige dybde er angivet for hvert dybdeinterval. Således dækker en dybde på 40 cm over intervallet 30-50 cm.

2.4 Massebalancer i 10 KU-søer

Af de 18 søer, som indgår i kontrolovervågningen, er der opstillet og præsenteret næringsstofbalancer for 10 søer i perioden 1990-2024. 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 desuden beskrevet i et dansksproget notat (Sørensen, 2025). Målinger ved udløbet fra Furesøen og Arresø er ikke foretaget i 2022, 2023 og 2024, hvilket betyder, at beregninger for disse to søer er udeladt disse år.

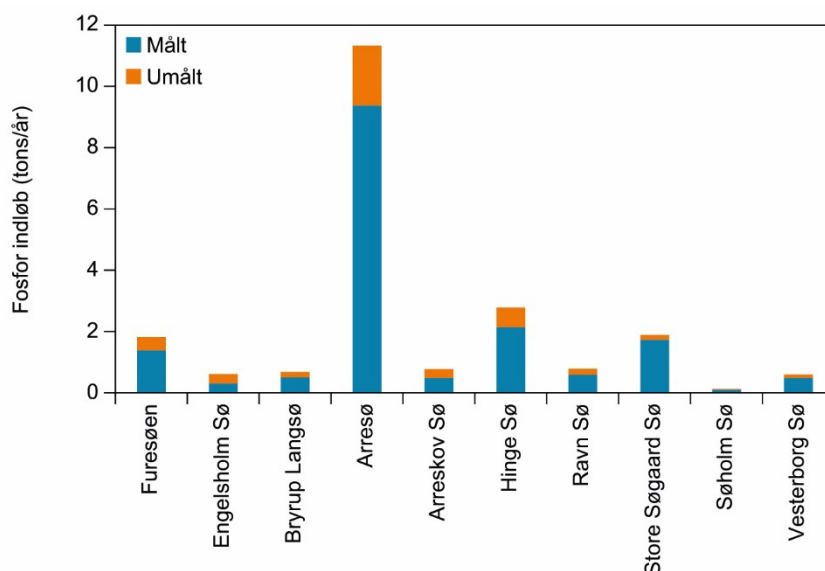
Massebalancen er baseret på målt vand og et estimeret umålt vandvolumen. Det umålte vandvolumen beregnes for hver måned og er fordelt på baseflow og overfladenært flow. Det årlige gennemsnitlige prædikterede middelvolumen af umålt vand gennem perioden 1990-2024 er vist i figur 2.12 sammen med det tilsvarende målte volumen. Søerne, hvor det umålte vandvolumen udgør den største andel, vil naturligt 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. Dette 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 2.12 Målt og umålt årlig vandvolumen i indløb som middel gennem perioden 1990-2024. For Arresø og Furesøen er det for perioden 1990-2021.



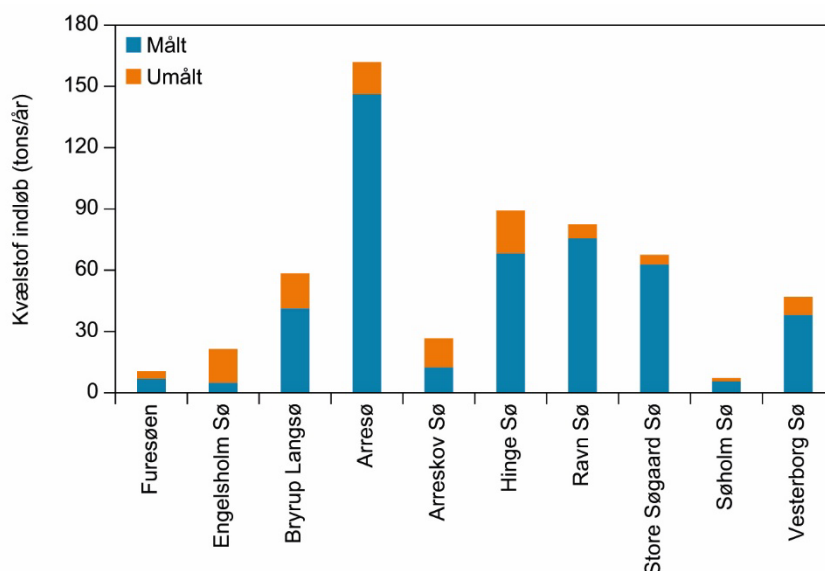
Figur 2.13 viser målt og umålt masse af tilført fosfor. Det ses, at søerne Engelsholm Sø og Arreskov Sø ikke fremstår med den samme store andel umålt fosfor, som er gældende for vandvolumenet i figur 2.12. Denne forskel skyldes, at modellen for disse søer tildeler en lavere fosforkoncentration til umålt vand sammenlignet med målt vand. Årsagen hertil skal f.eks. findes i, at modellen estimerer en lavere koncentration i grundvand end i overfladevand.

Figur 2.13. Målt og umålt fosfor i indløb som årlig middelmasse gennem perioden 1990-2024, dog 1990-2021 for Arresø og Furesøen.



I figur 2.14 ses målt og umålt masse af tilført kvælstof. Her ses en tæt sammenhæng mellem mængden af umålt vand (figur 2.12) og umålt kvælstof.

Figur 2.14. Målt og umålt kvælstof i indløb som årlig middelmasse gennem perioden 1990-2024, dog 1990-2021 for Arresø og Furesøen.

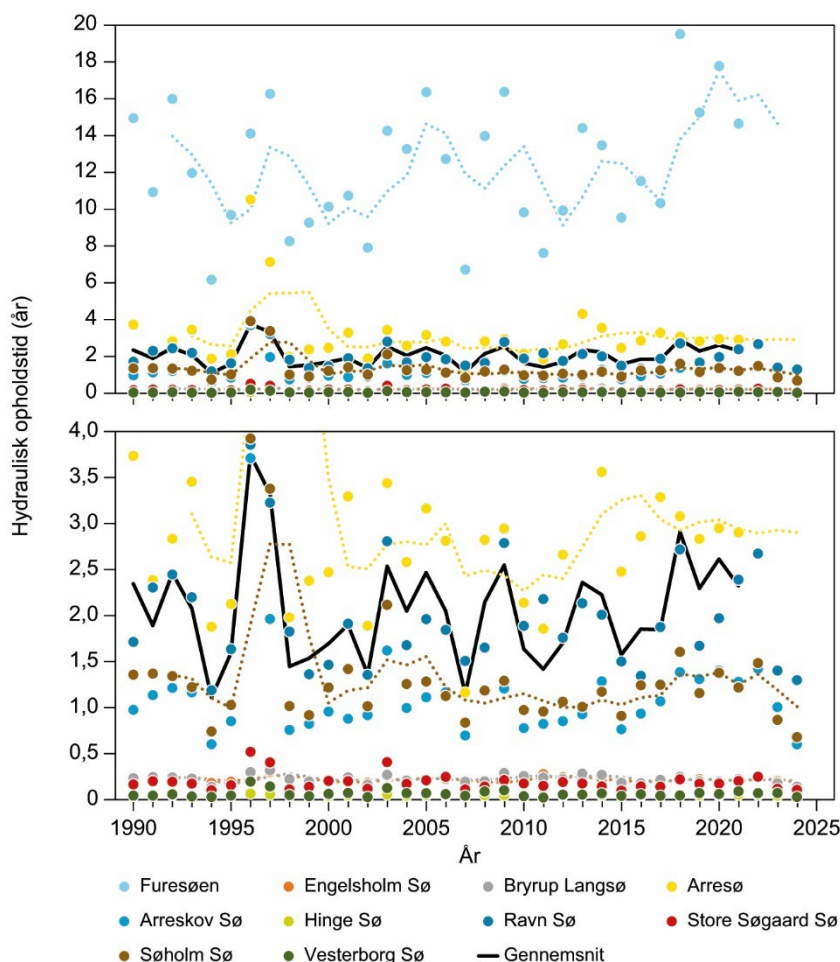


Vandbalancer

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 2.15). 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. I figur 2.15 ses også en stor variation i hydraulisk opholdstid med et maksimum på 19,5 år for Furesøen og et minimum på 0,02 år (ca. en uge) for Vesterborg Sø.

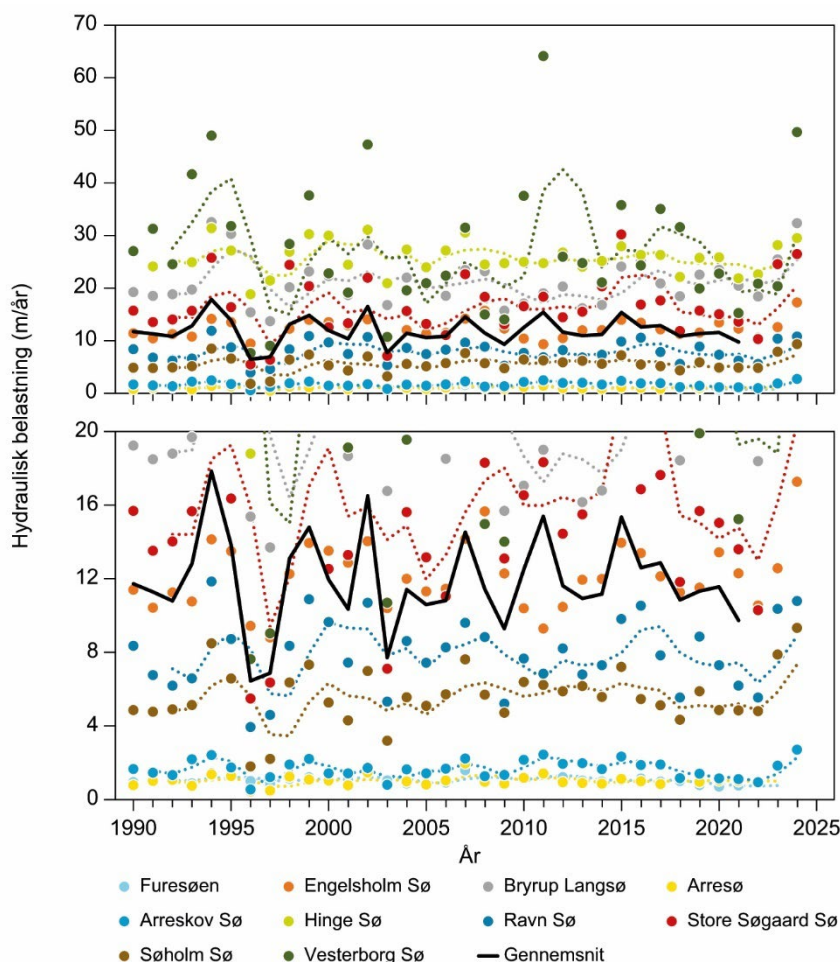
Figur 2.15. Vandets opholdstid (år) for de 10 KU-søer med vand- og næringsstofbalancer for perioden 1990-2024 for alle søer ekskl. Furesøen og Arresø 2022 og 2023 (øverst) samt et udsnit af søerne med opholdstider generelt under fire år (nederst). Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud. Den sorte kurve viser gennemsnittet for de 10 søer i den periode, hvor der er data fra alle søer.



Søerne med lang opholdstid (figur 2.15) viser tendens til lille hydraulisk belastning (figur 2.16). Set over hele perioden optræder den mindste årlige hydrauliske belastning således for Arresø med 0,43 m/år og den største årlige hydrauliske belastning for Vesterborg Sø med 64 m/år. Forskelle 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^3 divideret med søens overfladeareal i m^2 .

Samlet set var 2024 et vådt år (se kapitel 4), som generelt reducerede opholdstiden. Sammenlignet med de to foregående år betød dette samtidig en øget hydraulisk belastning i den enkelte sø (figur 2.16) og dermed også en øget næringsstofftilførsel (se herunder).

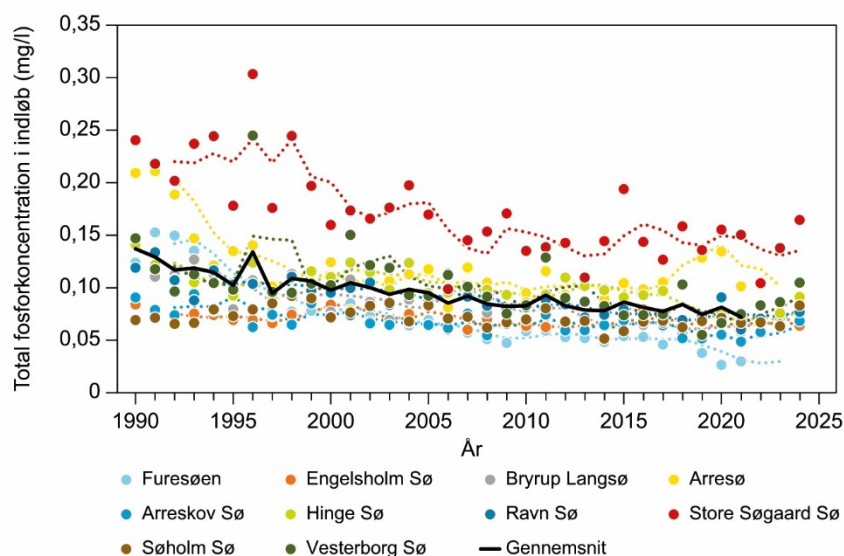
Figur 2.16 Hydraulisk belastning (m/år) for de 10 KU-søer vist enkeltvist for alle søer (øverst) samt et udsnit med de seks søer med lave belastninger (nederst). Den hydrauliske belastning er beregnet som den totale tilførte vandmængde pr. år i m³ divideret med søens overfladeareal i m². Hvert år er repræsenteret ved et punkt. Kurverne for hver sø viser middel for tre år bagud. Den sorte kurve svarer til gennemsnittet for de 10 søer i den periode, hvor der er data fra alle søer.



Fosforbalancer

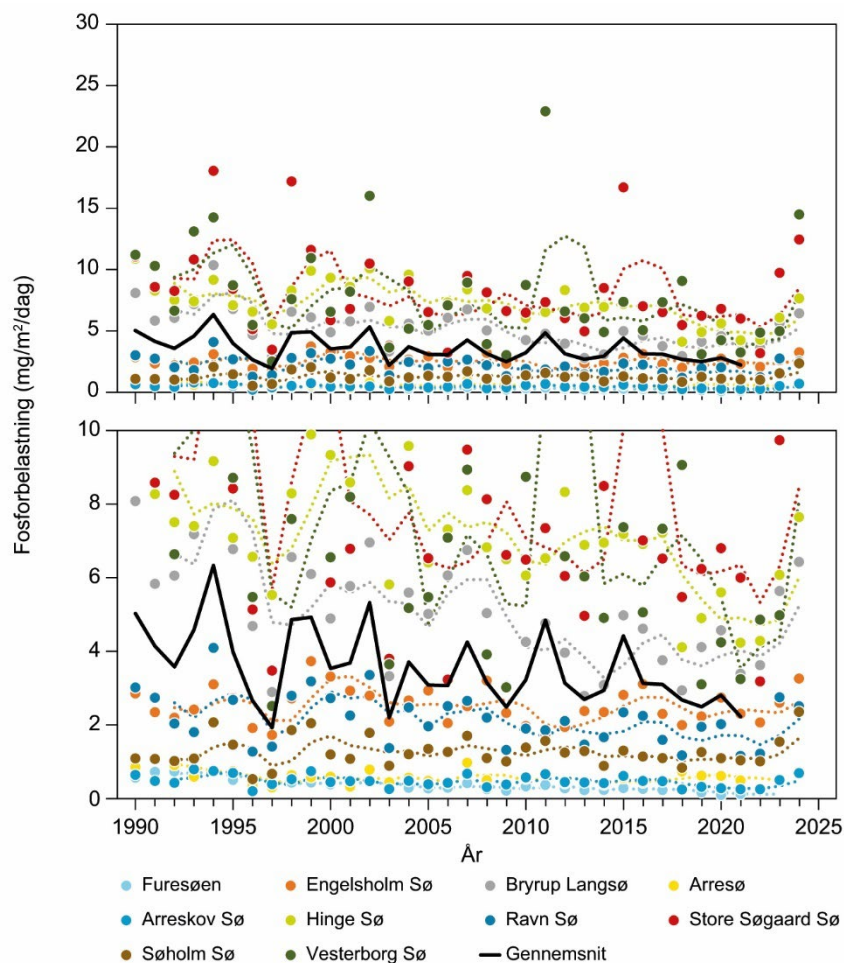
Vandtilførslen påvirker også næringsstofftilførslen. Uanset dette har tilførslen af totalfosfor generelt været faldende gennem perioden (figur 2.17). Den årlige indløbskoncentration er beregnet som vandføringsvægtet gennemsnit af månedsværdier. Det ses, at fosforkoncentration i det vand, der strømmer til søerne, er halveret gennem perioden 1990-2024 – fra ca. 0,14 mg/L til 0,07 mg/L (figur 2.17). 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 2.17. Totalfosforkoncentrationen 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 i den periode, hvor der er data fra alle søer.



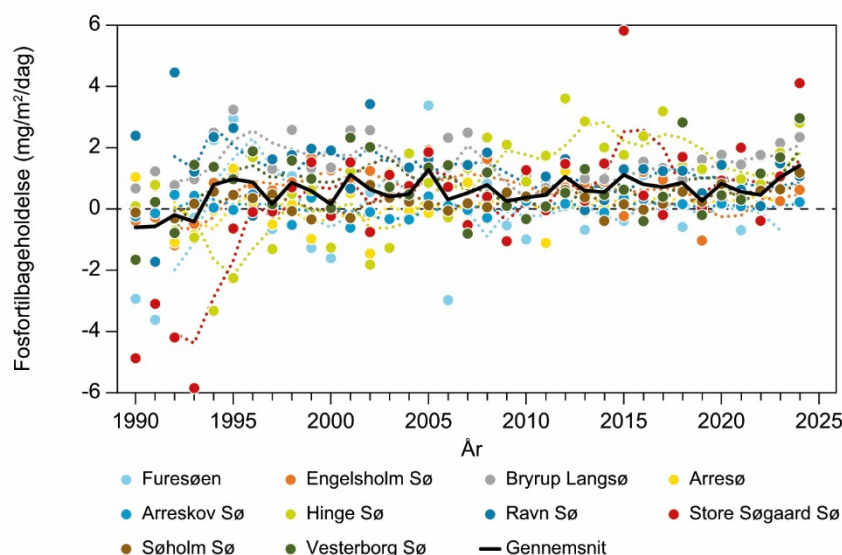
Indløbskoncentrationen af totalfosfor giver en belastning af søen, som er fordelt på den enkelte søs areal (se figur 2.18). Den store variation kan skyldes forskellig tilførsel, men også i høj grad søernes forskellige areal og volumen. Da vandtilførslen ikke udviser nogen tydelig tidstrend over perioden 1990-2024 (figur 2.16), har fosforbelastningen en tendens til at udvise samme relative fald som indløbskoncentrationen, og således bliver den gennemsnitlige belastning mere end halveret – fra 5,0 mg totalfosfor/m²/dag i 1990 til 2,2 mg totalfosfor/m²/dag i 2021. Fosforbelastningen udviser store udsving, især for Store Søgaard Sø.

Figur 2.18 Søernes arealspecifikke belastning af totalfosfor 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 i den periode, hvor der er data fra alle søer.

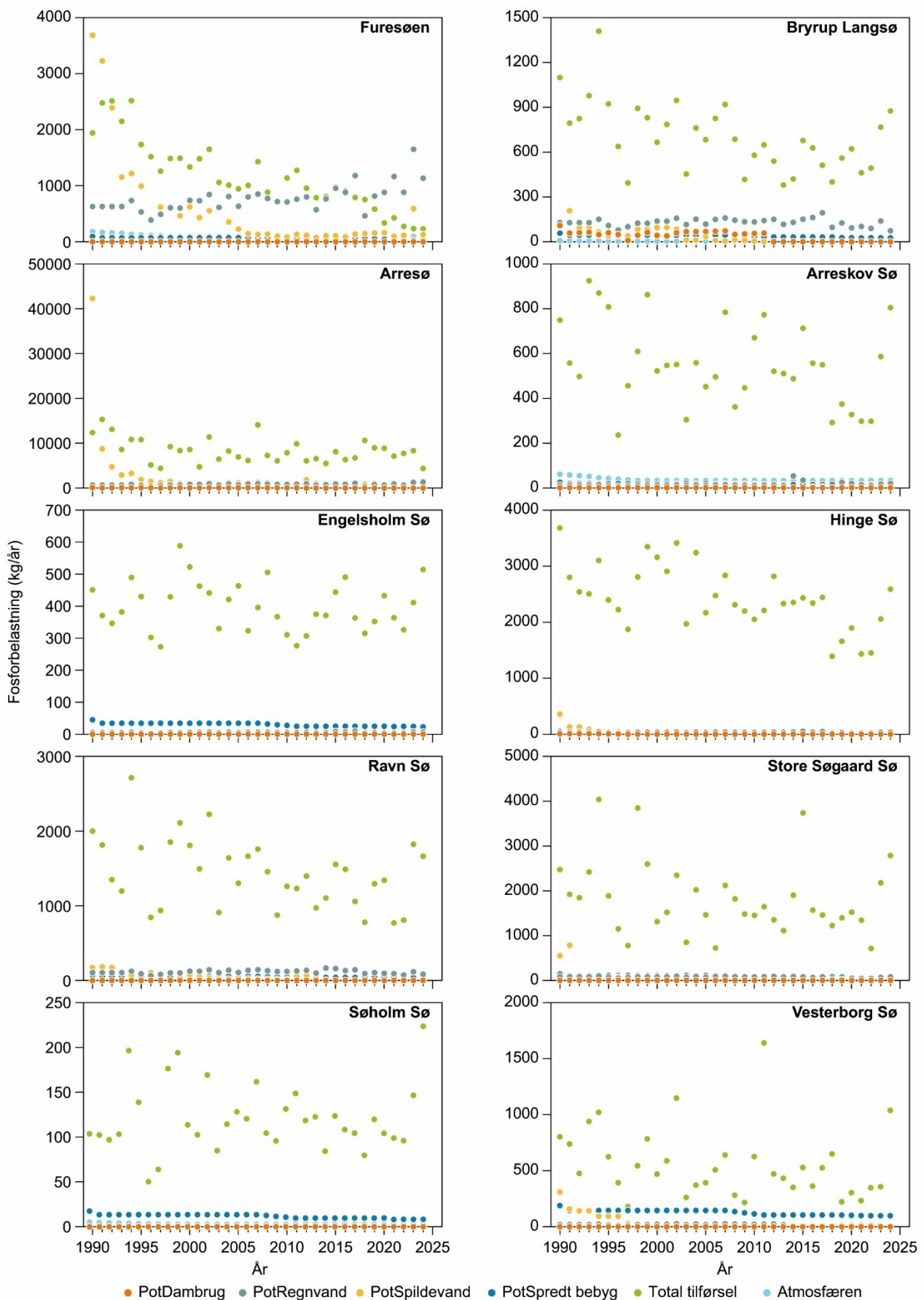


Fosfortilbageholdelsen pr. areal (figur 2.19) viser, at især Furesøen og Store Søgaard Sø havde en stor negativ fosfortilbageholdelse, dvs. en stor intern frigivelse, i begyndelsen af perioden (frem til ca. 1997). Den ophobede fosforpulje i søerne er en konsekvens af en historisk stor ekstern fosforbelastning. Den gennemsnitlige tilbageholdelse for de 10 søer er relativt stabil efter den første periode frem til 1993 med negativ værdi og ligger derefter i intervallet 0,5-1 mg /m²/dag.

Figur 2.19 Søernes tilbageholdelse af totalfosfor 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, hvor der er data fra alle søer.



Det potentielle fosforbidrag fra punktkilder i søernes oplande, søernes atmosfærebidrag samt den beregnede totale tilførsel er vist i figur 2.20. Punktkilderne regnes for potentielle på den måde, at deres belastning er en sum af alle punktkilder, der udleder til søens opland uden hensyn til den retention, der er i transporten til søen for de punktkilder, der ikke udleder direkte til søen. Denne manglende retention betyder, at den potentielle punktkildebelastning er større end den reelle belastning. Det ses, at på nær de første år af perioden for Furesøen og Arresø, er det potentielle punktkildebidrag langt mindre end den samlede belastning, hvilket betyder at punktkilderne i perioden kun synes at bidrage meget begrænset til den samlede belastning. Den beregnede, totale tilførsel anvendes til beregning af den arealspecifikke belastning i figur 2.18. Hvis der ses bort fra den historiske punktkildebelastning af Arresø og Furesøen i starten af perioden, er de potentielle punktkilder beliggende opstrøms søerne for små til at have nogen reel betydning for søernes samlede belastning.

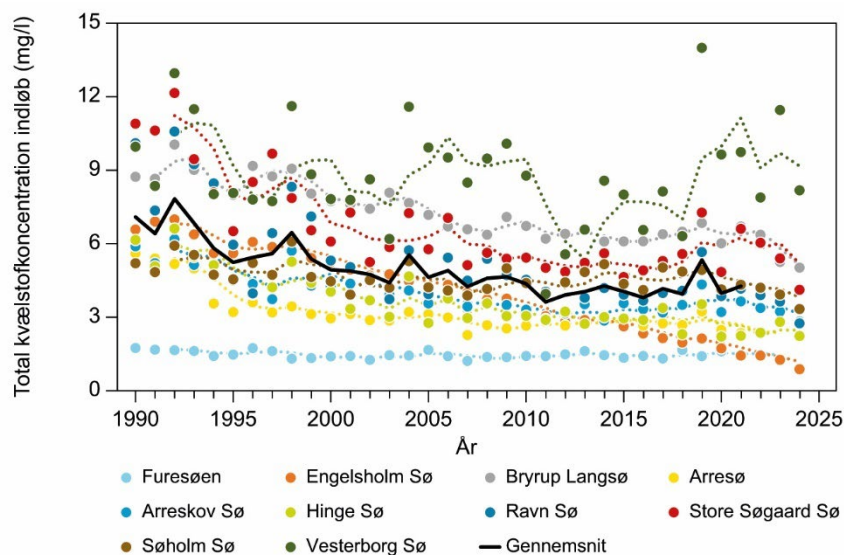


Figur 2.20. Den potentielle tilførsel af totalfosfor fra punktkilderne dambrug, regnvandsbetingede udløb, spildevand og spredt bebyggelse. Desuden vises søens estimerede totalbelastning med angivelse af atmosfærebidraget til dette. Hvert år er repræsenteret ved et punkt.

Kvælstofbalancer

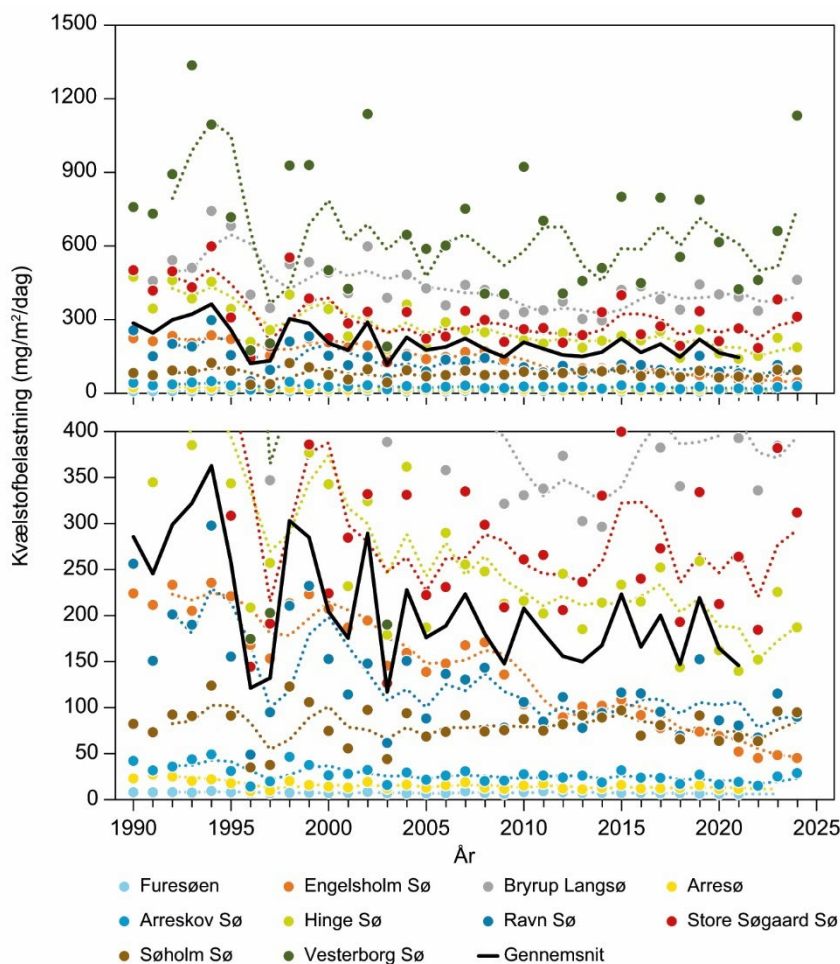
Den årlige indløbskoncentration af totalkvælstof er beregnet som vandføringsvægtet gennemsnit af månedsværdier. Middelkoncentrationen af totalkvælstof i det tilstrømmende vand til de 10 KU-søer er faldet fra ca. 7 til 4 mg /L gennem perioden 1990-2024, og faldet synes mest markant først i perioden frem til 2000 (se figur 2.21). I de seneste år synes der at være en stigning i koncentrationen for nogle søer, især Vesterborg Sø, men også for Store Søgaard Sø.

Figur 2.21. Totalkvælstofkoncentrationen 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 for de år, hvor der er data fra alle søer.



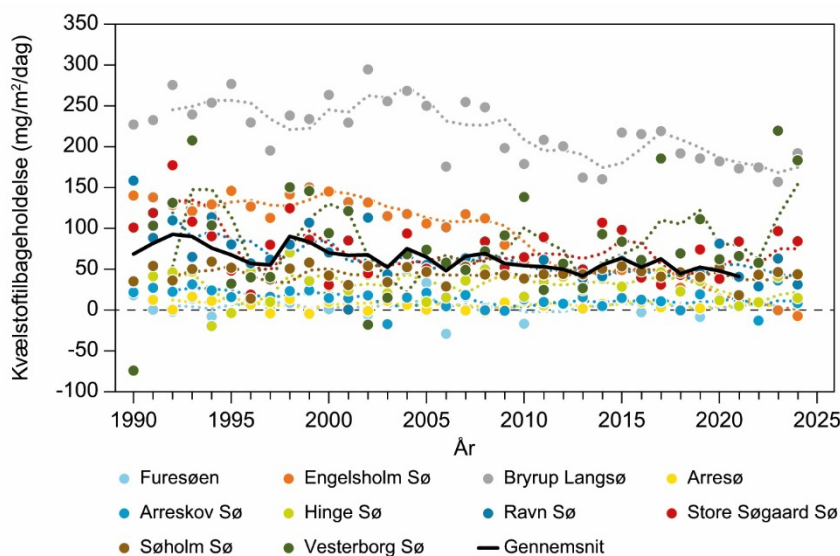
Figur 2.22 viser belastningen af totalkvælstof. Der ses en meget stor variation, hvor Furesøen har den mindste registrerede belastning på 5,7 mg totalkvælstof/m²/dag, mens den største registrerede belastning er for Vesterborg Sø med 1336 mg totalkvælstof/m²/dag. Tilførslen af kvælstof til søerne afspejler, 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 totalkvælstof. 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 for de år, hvor der er data fra alle søer.

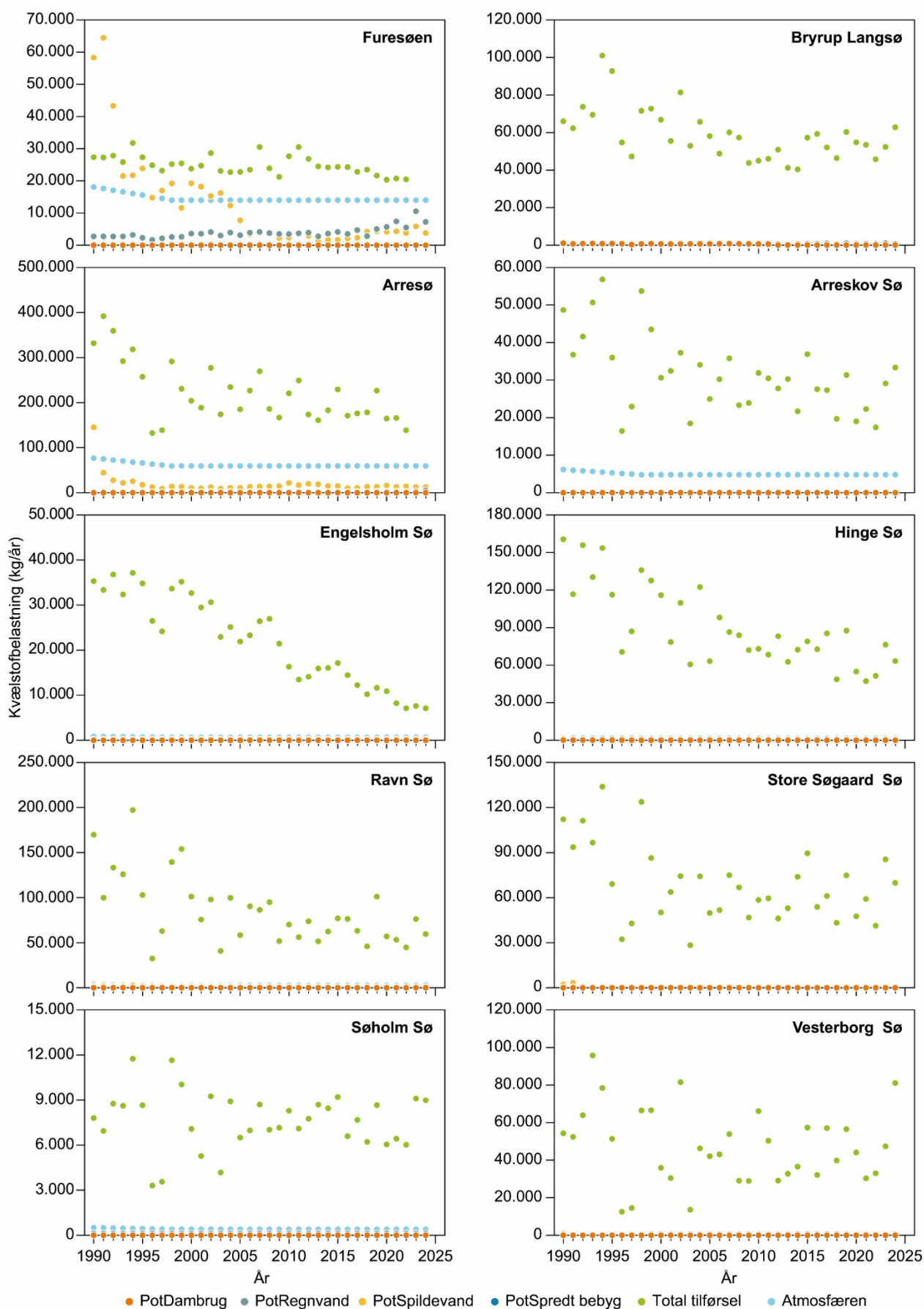


Kvælstoftilbageholdelsen varierer fra år til år (figur 2.23). Den arealspecifikke kvælstoftilbageholdelse afspejler den variation, der er i kvælstoftilførslen, hvor der tilbageholdes mindre kvælstof i de år, hvor der også tilføres mindre mængder kvælstof (figur 2.22 og 2.23), hvilket bl.a. er nedbørsafhængigt.

Figur 2.23 Søernes arealspecifikke tilbageholdelse af totalkvælstof. 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 for de år, hvor der er data fra alle søer.



Figur 2.24 viser det potentielle kvælstofbidrag fra punktkilder i søernes oplande, søens atmosfærebidrag og 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 Furesøen i starten af overvågningsperioden, er belastningen fra punktkilderne generelt så lille, at den kun har mindre betydning for søernes samlede kvælstofbelastning. Det ses endvidere, at atmosfærebidraget er betydeligt til de store søer – Furesøen og Arresø.



Figur 2.24 Den potentielle tilførsel af totalkvælstof 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.

2.5 Fytobenthos

Bentiske kiselalger – IPS-indekset

Bentiske kiselalger er encellede alger, der lever på overfladen af sten, planter og sedimenter. Ved prøvetagningen i søer indsamles de tæt på vandoveroverfladen fra friske neddykkede tagrørsstængler, der vokser i kanten af tagrørsbedet ind mod søens midte (se evt. Johansson og Søndergaard 2024). De bentiske kiselalger udgør sammen med undervandsplanterne et af de fire biologiske kvalitetselementer ("Anden akvatisk flora"), der anvendes til at beskrive den økologiske tilstand i søer. Kiselalger anvendes pga. deres forskellige grader af følsomhed over for miljøforhold kombineret med en omfattende taksonomiske viden om denne gruppe (Kelly m.fl. 2008; Poikane m.fl. 2016). I dette afsnit beskrives udviklingen i data indsamlet på bentiske kiselalger i de af KU-søerne, der tilhører søtype 9 og 10. Det skal bemærkes, at den overordnede økologiske tilstand i en sø baseres på alle tilgængelige biologiske kvalitetselementer. I bilag 1 beskrives kvalitetssikringen af bentiske kiselalgedata fra 2023-2024 (øvrige data er kvalitetssikret tidligere) og de statistiske analyser, der er anvendt i dette afsnit.

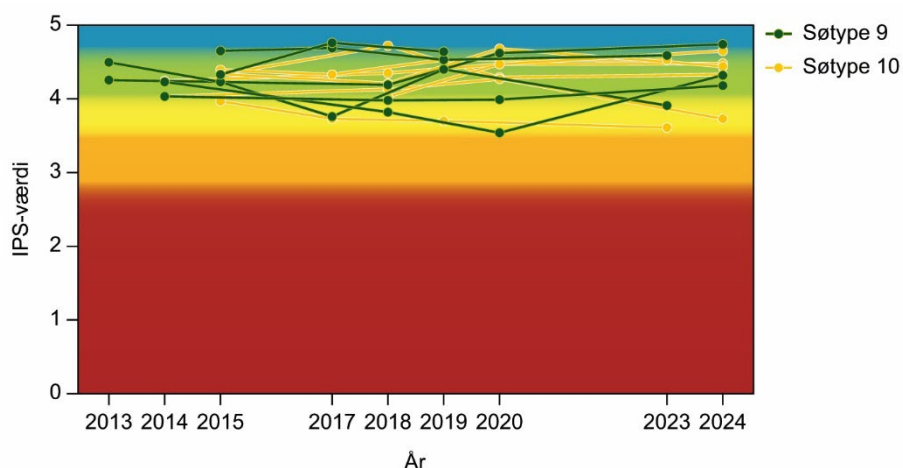
IPS-indekset og udviklingen i KU-søerne

De bentiske kiselalger anvendes til at beregne det såkaldte IPS-indeks (Indice de Polluo-sensibilité Spécifique, CEMAGREF 1982; (se Johansson m.fl. (2019, 2024) for en nærmere beskrivelse af indekset og dets anvendelighed). Tests har vist, at dette indeks er en relevant indikator for den økologiske tilstand af de danske søtyper 9 og 10 samt for koncentrationen af totalfosfor (Johansson m.fl. 2019). Søtype 9 og 10 omfatter alkaline, ferske, ikke-brunvandede søer. Af de i alt 18 KU-søer falder 13 inden for disse to typer.

For at vurdere udviklingen i den økologiske kvalitet i KU-søerne beregnet på baggrund af IPS-indekset er der her anvendt en serie af linear mixed-effects models (LMMs) for perioden 2013-2024. LMMs er velegnede til test af økologiske data over lange tidsperioder (se bilag 1 for en nærmere beskrivelse).

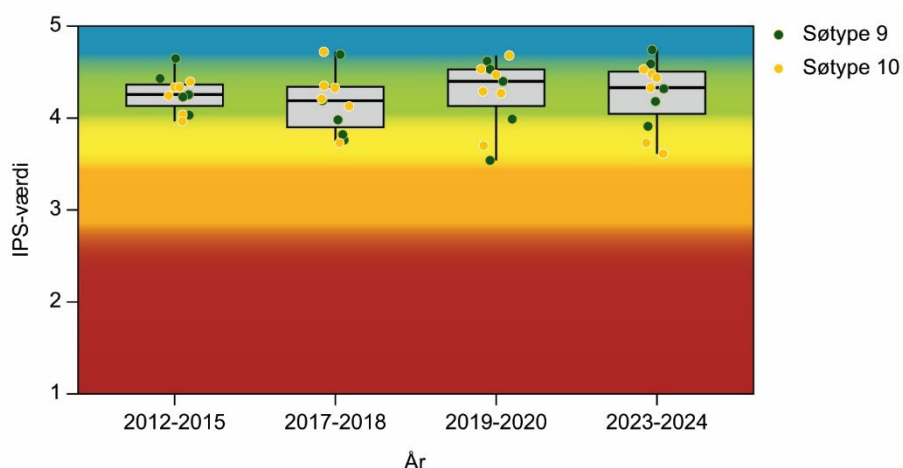
Modellernes resultater viser, at IPS-værdien, samlet set for de 13 KU-søer af type 9 og type 10, er relativt stabil gennem årene i de individuelle søer, og at størstedelen af variationen skyldes forskelle mellem søerne. Som det også fremgår af figur 1, befinder de fleste af de beregnede IPS-værdier sig i den økologiske klasse "god". Enkelte værdier når op i den høje økologiske klasse, mens nogle værdier indikerer moderat økologisk tilstand. Den specifikke effekt af "år" var ikke signifikant (estimat = 0,004, SE = 0,007, $t = 0,57$, $p = 0,57$), hvilket indikerer, at der ikke har været nogen generel tidsmæssig udvikling i indekset i løbet af undersøgelsesperioden (figur 2.25). De individuelle søers udvikling kunne ikke testes på grund af for få data på søniveau.

Figur 2.25. IPS-indekset i KU-søerne for søtype 9 og søtype 10 fra 2013 til 2024. Baggrundsfarverne angiver de forskellige økologiske klasser (rød: dårlig, orange: ringe, gul: moderat, grøn: god, blå: høj).



I figur 2.26 er IPS-værdien vist på tværs af fire perioder på det samme sæt KU-søer af søtype 9 (n= 5) og søtype 10 (n= 6). Figuren omfatter kun de søer, der er undersøgt i alle fire perioder. IPS-værdierne blev sammenlignet via Friedmans test (en ikke-parametisk test af data, som ikke er uafhængige, og som ikke antager normalfordeling). Denne test viser ikke nogen signifikant forskel i IPS-værdien imellem perioderne ($\chi^2 = 1,73$ p = 0,63), hvilket indikerer stabile IPS-værdier i den undersøgte tidsperiode.

Figur 2.26. IPS-indeksets udvikling vist som boxplots med angivelse af de enkelte værdier fra 2013-2024 for KU-søerne af søtype 9 og søtype 10, som er undersøgt i alle fire perioder. Baggrundsfarverne angiver de forskellige økologiske klasser (rød: dårlig, orange: ringe, gul: moderat, grøn: god, blå: høj).

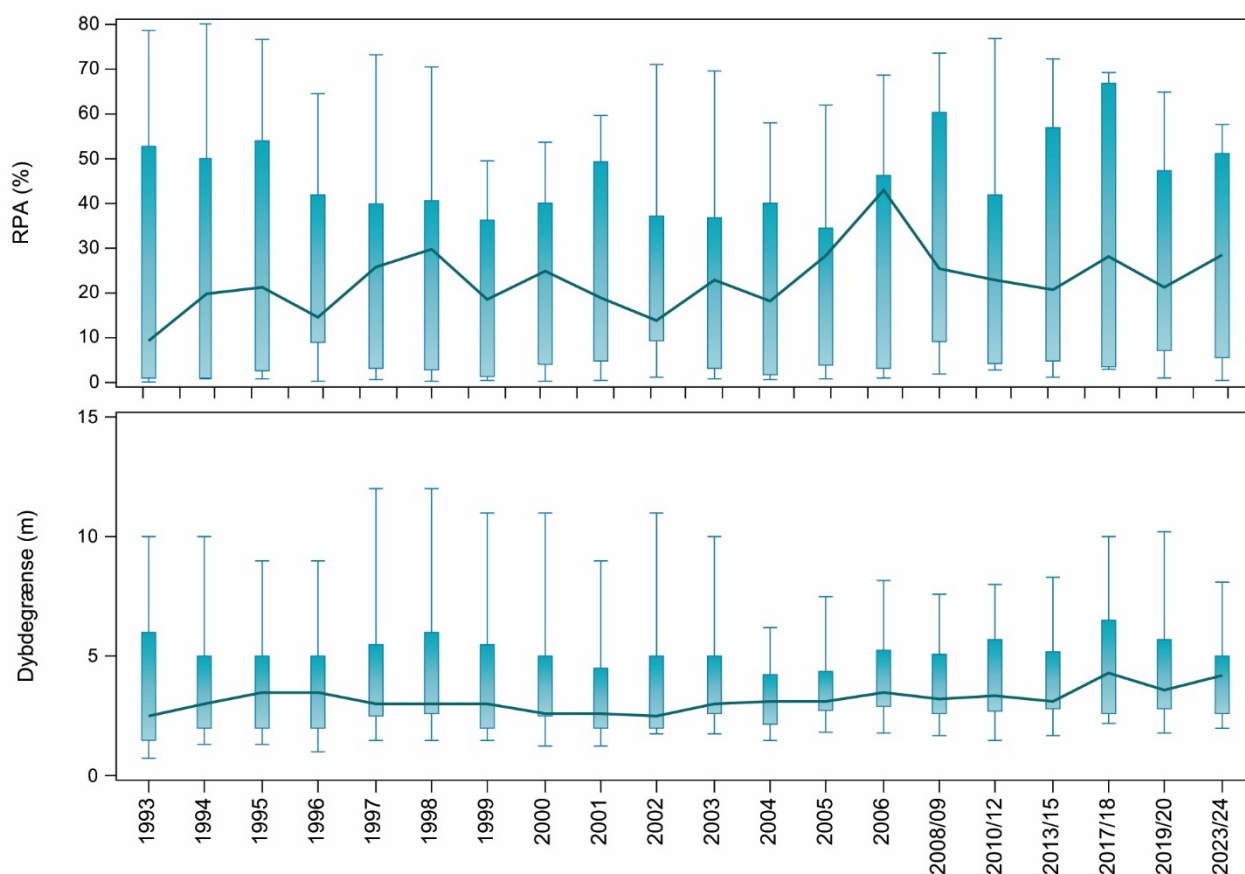


2.6 Undervandsplanter

Undervandsvegetationen i KU-søerne er undersøgt siden 1993/1994, men der er sket ændringer undervejs i antallet af søer og undersøgelsesmetode. Ved undersøgelserne før 2004 blev den enkelte sø således inddelt i delområder, men efter 2004 er undersøgelserne foretaget ved en transektundersøgelse. Undervandsplanternes udbredelse blev frem til 2006 undersøgt årligt i 10 af de nuværende 18 KU-søer, men fra 2007 blev frekvensen sat ned til hvert andet år. Fra 2010 blev den yderligere reduceret til to gange i en seksårig periode, så det falder sammen med undersøgelserne af vandkemi, der foretages hvert andet år i hver sø.

Udviklingen i undervandsplanternes gennemsnitlige dækningsgrad, det relative plantefyldte volumen og planternes dybdegrænse for alle de 10 søer, som er undersøgt jævnlgt siden 1993, er vist i figur 2.27. Der forekommer betydelige variationer fra år til år, og det er vanskeligt at skelne egentlige udviklingstendenser for perioden og søerne som helhed. Bedømt alene ud fra

medianværdierne er der en stigende tendens i både den gennemsnitlige dækningsgrad og dybdegrænsen. Det lille antal søer, der indgår i figuren, betyder dog, at ændringer i enkelte eller få søer kan få en relativt stor indflydelse på resultaterne. Derudover er de 10 søer både lavvandede og dybe, og det betyder, at figuren omfatter både søer, hvor dækningsgraden kan være meget høj (lavvandede søer), og søer, hvor dækningsgraden af naturlige årsager vanskeligt kan blive høj (dybe søer). Blandt de lavvandede søer kan der være søer, hvor planternes dybdegrænse når søens maksimumsdybde og derved ikke kan øges yderligere, selv om sigtbarheden i vandet og lysforholdene forbedres.



Figur 2.27. Udviklingen i undervandsplanternes dækningsgrad (RPA – relativt plantedækket areal) og dybdegrænse i de 10 søer, hvor der er foretaget årlige planteundersøgelser i perioden 1993-2006. I perioden 2007-2020 er søerne ikke undersøgt årligt, og derfor er perioderne 2008-2009, 2010-2012, 2013-2015, 2017-2018, 2019-2020 og 2023-2024 repræsenteret af én søjle på grafen. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen viser medianværdien. Det skal bemærkes, at der fra 2004 skete et skift i undersøgelsesmetoden.

Resultaterne for de enkelte KU-søer er vist i figur 2.28. Figuren omfatter både de 10 søer, som har været fulgt gennem hele overvågningsperioden, de fem søer, som er undersøgt fra 2004, og de tre søer, som kom med i 2011, dermed i alt 18 søer.

I næsten alle KU-søerne er der betydelige variationer fra år til år i både plantedækket areal og dybdegrænse, men i en del af søerne er der også registreret en signifikant udviklingstendens gennem årene. Dette gælder f.eks. Kvie Sø og Hinge Sø, hvor der siden overvågningsperiodens start har været en meget positiv udvikling i planternes udbredelse, omend tendensen har været negativ ved de seneste undersøgelser (figur 2.28 og tabel 2.12).

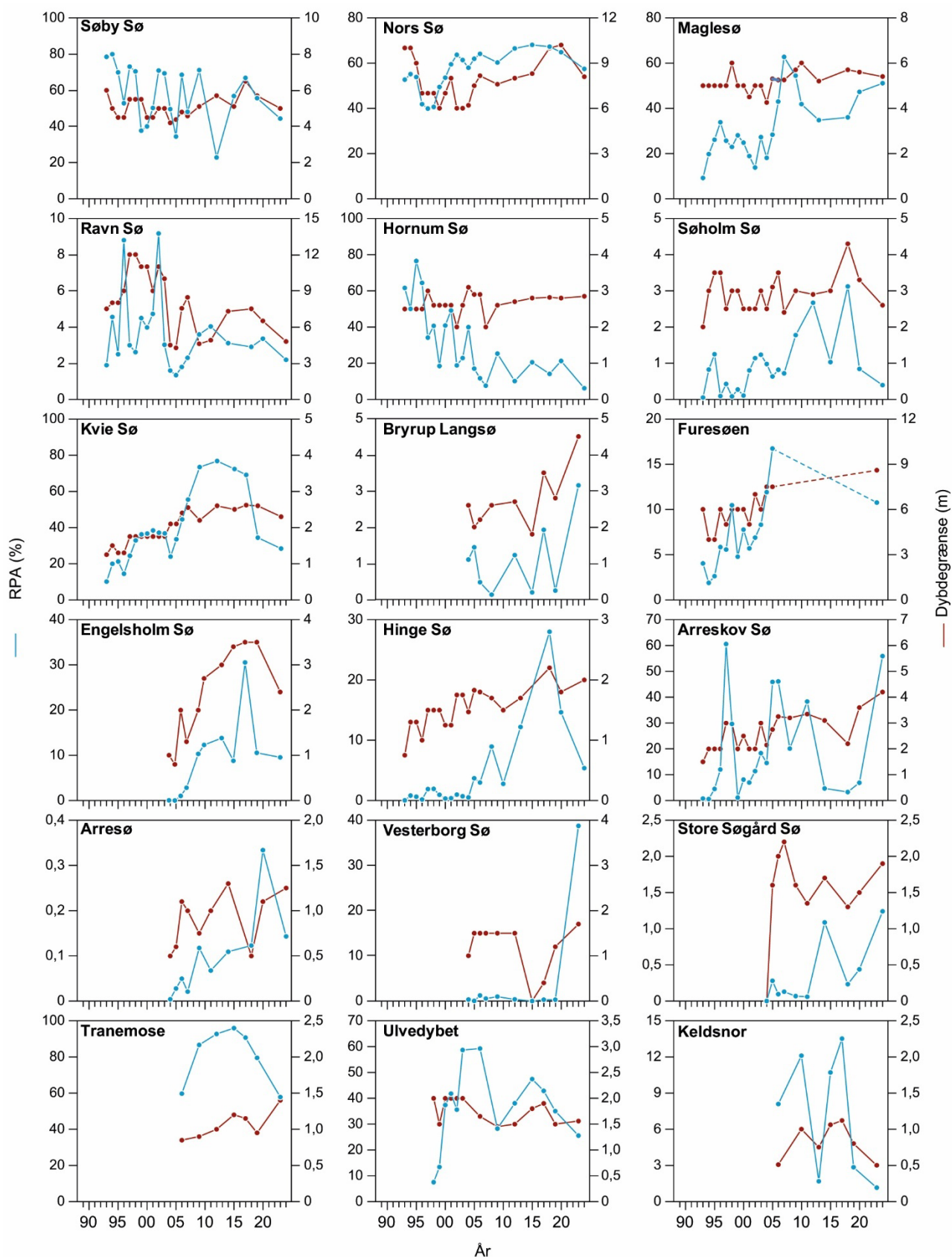
I tabel 2.12 er udviklingen i undervandsplanternes udbredelse testet statistisk i de 16 søer, hvorfra der er data fra mindst otte undersøgelser. Testen er gennemført dels for hele perioden siden 1993, dels for perioden 2005-2023/2024. For hele perioden bekræfter tabellen den overvejende positive udvikling siden overvågningens start i 1993, hvor f.eks. dækningsgraden er øget i syv søer og kun reduceret i to søer – Hornum Sø og Søby Sø. Tilsvarende er dybdegrænsen øget i seks søer og kun reduceret i én sø – Ravn Sø. Hvis der alene ses på den seneste 20-års periode, er der færre søer, hvor der har været signifikante ændringer, men i søer, hvor der er ændringer, er det i de fleste tilfælde gået i retning af større udbredelse, både hvad angår dækningsgrad og planternes dybdegrænse. Bemærk, at der i den statistiske test, ud over det normalt anvendte signifikansniveau på 5 % eller derunder, også er vurderet med et signifikansniveau på 10 %.

Det skal bemærkes, at der er sket indvandring af vandremuslinger til Ravn Sø, Hinge Sø og Bryrup Langsø gennem de seneste 10 år. Disse muslinger er filtratorer, der potentielt renser vandet effektivt for alger. Den medfølgende opklaring er formentlig en væsentlig årsag til den stærkt øgede dybdegrænse i Hinge Sø samt tendensen til en øget dybdegrænse i Bryrup Langsø. I dybere søer må der forventes et længerevarende forsinket respons på vandremuslingen.

Tabel 2.12 Udviklingen i undervandsplanternes dækningsgrad (RPA) og dybdegrænse i KU-søer vist for perioden 1993-2023/2024 og perioden 2005-2023/2024. Der er kun medtaget søer, hvorfra der er mindst otte års data. Markeringer 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.

	RPA		Dybdegrænse	
	1993- 2023/2024	2005- 2023/2024	1993- 2023/2024	2005- 2023/2024
Nors Sø	+	0	0	+
Ulvedybet	0	0	0	0
Hornum Sø	- - -	0	+	0
Hinge Sø	+	0	+	0
Ravn Sø	0	0	- -	0
Bryrup Langsø ¹⁾	*	0	*	+
Søby Sø	- -	0	0	+
Kvie Sø	+	0	+	0
Engelsholm Sø ¹⁾	*	+	*	+
Store Søgård Sø ¹⁾	*	0	*	0
Arreskov Sø	+	0	+	0
Søholm Sø	+	0	0	0
Arresø ¹⁾	*	+	*	0
Furesøen (begge bassiner) ²⁾	+	*	+	*
Maglesø	+	0	+	0
Vesterborg Sø ¹⁾	*	0	*	0
I alt 0	2	11	0	11
I alt +/++/+++ /++++	7	2	6	4
I alt -/-/--- /----	2	0	1	0

¹⁾Ingen tilgængelige data før 2004. ²⁾Undersøgt som én sø i perioden 1993-2005 og i 2023. Søens to bassiner er undersøgt individuelt i perioden 2006-2019. * betyder, at der ikke er tilstrækkeligt datagrundlag (<8 målinger) til en statistisk vurdering.



Figur 2.28. Udviklingen i undervandsplanternes dækningsgrad (RPA) og den maksimale dybdegrænse i KU-søerne. Bemærk forskellig skala på y-akserne.

2.7 Bunddyr

Baggrund og data

Bundlevende smådyr (makroinvertebrater) – eller blot bunddyr – er et af de fire biologiske kvalitetselementer, der i henhold til vandrammedirektivet skal anvendes til at vurdere den økologiske kvalitet af søer. Prøvetagning af bunddyr blev inddraget rutinemæssigt i NOVANA-overvågningsprogrammet i 2017. Den første og – indtil i år – eneste rapportering af data fra bunddyrsundersøgelserne i søer stammer fra 2019 (Johansson m.fl., 2019), hvor der er vist data fra 16 undersøgte KU-søer. Her var der fokus på bunddyrenes generelle biodiversitet baseret på resultaterne fra prøvetagninger fra 2017-2018. Det blev blandt andet vist, at forskellen i biodiversiteten mellem de ferske søer var relativt lille, og at forskellen mellem prøver inden for den enkelte sø generelt var mindre end forskellen mellem de enkelte søer.

Analyser af bunddyr anvendes til at beregne makroinvertebratindekset, som er et udtryk for den økologiske kvalitet af den enkelte sø. Makroinvertebratindekset (Dansk Littoralzone Makroinvertebrat Indeks, DLMI) er sammensat af fire forskellige delelementer (ASPT, H1, EPTCBO og %COP) og beregnes som: $DLMI = (ASPT + H1 + EPTCBO + \%COP) / 4$. ASPT er et indeks, der er udviklet i Storbritannien til vurdering af økologisk tilstand i vandløb. H1 (Hill's 1) er et matematisk udtryk for diversitet og er defineret som $\exp(\text{Shannon-Wiener Indekset})$. EPTCBO er antallet af taksonomiske grupper af døgnfluer (Ephemeroptera), slørvinger (Plecoptera), vårfluer (Trichoptera), biller (Coleoptera), muslinger (Bivalvia) og guldsmede (Odonata), og %COP er den relative hyppighed af biller, guldsmede og slørvinger (se Wiberg-Larsen og Rasmussen, 2020 for nærmere detaljer og forklaringer).

Indekset er udviklet på baggrund af data fra søtype 9 og 10, dvs. kalkrige, ikke-brunvandede, ferske, lavvandede eller dybe søer (Wiberg-Larsen og Rasmussen, 2020; Wiberg-Larsen, 2024). Det betyder, at man ikke nødvendigvis kan forvente, at der opnås retvisende resultater, hvis indekset anvendes på andre søtyper end type 9 og 10.

Ifølge den gældende tekniske anvisning (Wiberg-Larsen, 2024) skal der tages prøver fra fire lokaliteter i hver sø, som analyseres separat. Prøvetagningsstationerne skal i videst muligt omfang være geografisk repræsentative for søen. Det er dog ikke altid præcis de samme stationsplaceringer, som anvendes fra år til år, hvilket fremgår af de i VanDa registrerede utm-koordinater angivet for de enkelte prøvetagningsstationer. De enkelte stationers resultater inden for hver sø er derfor ikke altid sammenlignelige på tværs af prøvetagningsår.

I dette afsnit giver vi først en kort generel beskrivelse af et samlet datasæt over bunddyrsdata fra alle søer og år i perioden 2012-2023. Dette omfatter også data, der er indsamlet før de rutinemæssige prøvetagninger i KU-søerne begyndte, men hvorfra der findes data med en tilfredsstillende kvalitet (baseret på Prażyńska, 2025). Dernæst præsenteres alene data og beregnede indeksværdier (DLMI) fra de 12 KU-søer, der er af type 9 eller 10, og hvorfra der findes data.

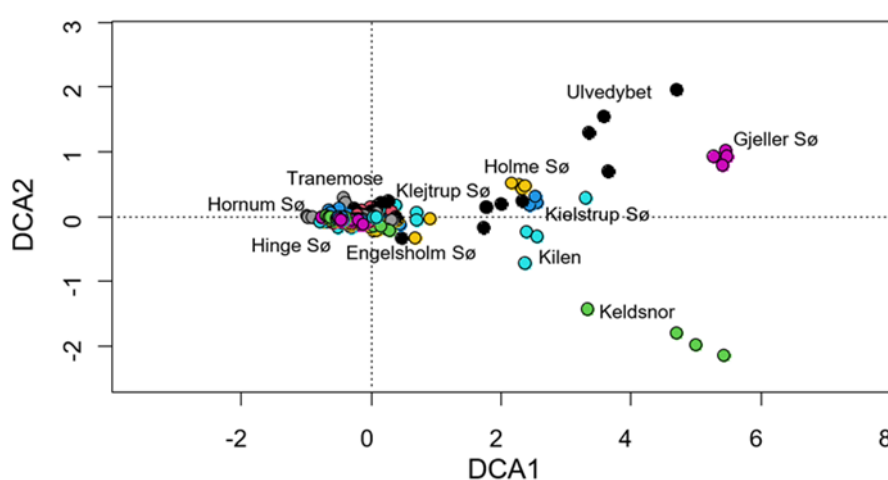
Samlet datasæt

Analysen af det samlede datasæt omfattede i alt 132 søer, hvorfra data er indsamlet i perioden 2012-2023. I de fleste søer var der prøvetagninger fra fire stationer (94 søer), men antallet af stationer varierede mellem én og seks pr.

sø pr. år. I analysen indgik også en række vandkemiske og morfologiske data med fokus på at beskrive, hvad der former bunddyrssamfundene og deres forskelligheder.

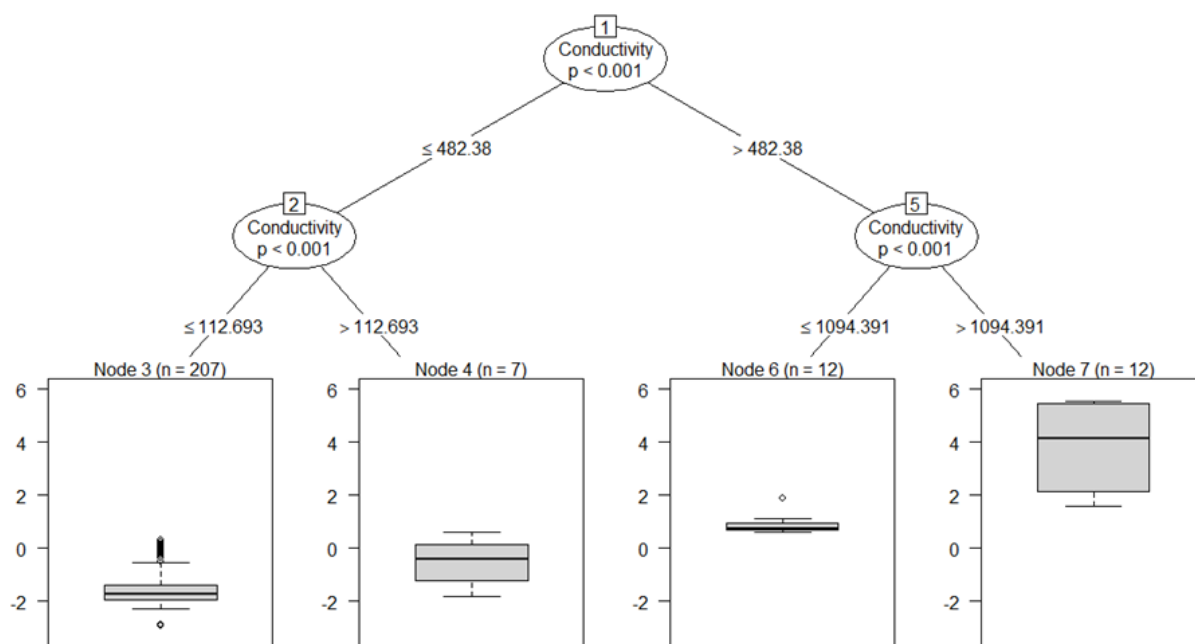
En indledende DCA-analyse, der giver et indtryk af, i hvor høj grad de enkelte søer ligner hinanden – baseret på bunddyrssamfundene – illustrerer tydeligt, hvordan brakvandssøerne (Geller Sø, Ulvedybet, Kielstrup Sø, Keldsnor og Kilen) klart adskiller sig fra de øvrige søer (figur 2.29). Hermed bekræftes det, som allerede konkluderet i Johansson m.fl. (2019), at brakvandssøer adskiller sig fra ferske søer, hvad angår forekomsten af bunddyr. De brakke søer var specielt fattige på individer, taxa og EPTCBO-taxa (døgnfluer, slørvinger, vårfluer, biller, muslinger og guldsmede), ligesom % COP (biller, guldsmede og slørvinger) var lavt. Årsagen er de fysiologisk ”barske” forhold ved skift mellem det ferske og marine miljø, som kun relativt få arter udviklingsmæssigt har været i stand til at tilpasse sig.

Figur 2.29. DCA (Detrended Correspondence Analysis, Hill & Gauch, 1980) analyse baseret på $\log_{10}(x + 1)$ -transformerede litorale bunddyrsdata fra 132 søer, hvorfra der var vandkemiske data fra 116 søer. Fordelingen i diagrammet er baseret på de målte fysisk/kemiske miljøvariable. Hvert punkt repræsenterer en sø et år, hvor hver sø har sin egen farve. Sønavne er angivet, hvor det har været muligt at finde plads. Afstanden imellem punkterne udtrykker, hvor ensartede eller hvor forskellige bunddyrssamfundene er.



I en efterfølgende CITs-analyse (Conditional Inference Trees), der anvender responsvariable fra DCA-analysen (første akse), blev det undersøgt, hvordan miljøvariable kan anvendes til at definere tærskler mellem skift i bunddyrssamfundene (Hothorn m.fl., 2006). Denne analyse viste ligeledes, hvordan brakvandssøerne klart adskiller sig fra de øvrige søer (figur 2.30). Ledningsevnen (conductivity) definerer således alle de fire første grupper af søer i denne analyse. Det første split er ved 482 mS/m, hvilket svarer til en salinitet på godt 2 ‰. Næste split sker ved 113 mS/m, hvilket svarer til ca. 0,5 ‰ i salinitet, og parallelt hermed observeres også et split ved højere salinitet (1094 mS/m), svarende til ca. 5 ‰. Grænsen ved 0,5 ‰ anvendes i den danske søtypologi som grænse mellem de brakke og ferske søtyper. Langt de fleste data stammer fra ferske søtyper.

De hyppigste taxa i den lave kategori af ledningsevne (ferskvandssøer) var ungefødende dyndsnegl (*Potamopyrgus antipodarum*), efterfulgt af ærtemusling (*Pisidium* sp.) og dansemyggelarver (*Chironomini* indet.). De hyppigste taxa i søer med høj ledningsevne (>482 mS/m) var grøn tanglus (*Idotea chelipes*), en art tangloppe (*Microdeutopus gryllotalpa*) og endnu en art tanglus (*Jaera albifrons*).

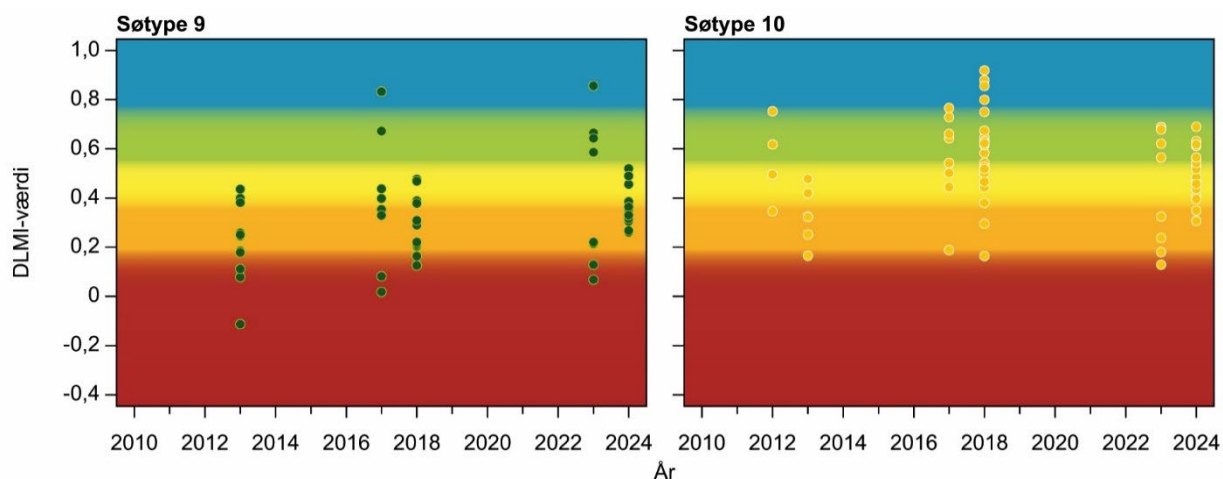


Figur 2.30. Resultater af CITs-analysen, der er baseret på $\log(x+1)$ -transformerede antal bunddyr fra de enkelte taxa. Boxplot-tene viser fordelingen af DCA-scorerne inden for hver gruppe med angivelse af median, kvartiler og outliers (cirkler). DCA-scorer, som ligger tæt på hinanden, indikerer mere ensartede invertebratsamfund, end scorer, der ligger langt fra hinanden. N er antal søår

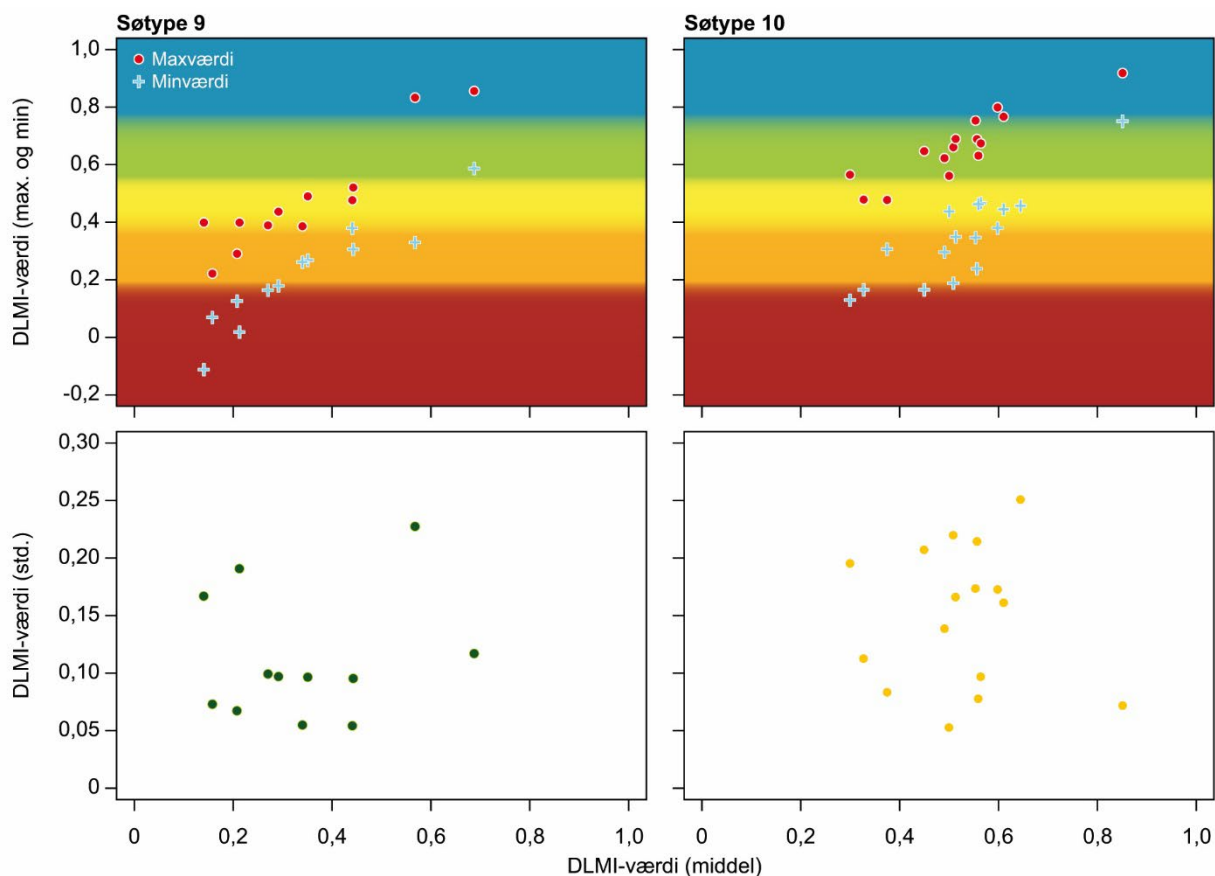
KU-søerne

De beregnede DLMI-indeksværdier fra de enkelte prøvetagningsstationer og år i KU-søerne af type 9 og 10 (i alt 12 søer) dækker hele spændet fra dårlig til høj økologisk tilstand (figur 2.31). De fleste værdier falder i kategorien fra ringe til moderat. Dette gælder både søtype 9 og søtype 10, men der er en tendens til, at værdierne ligger lidt højere i søtype 10, hvilket stemmer godt overens med, at type 10-søerne generelt er lidt mindre næringsrige. De p.t. tilgængelige data giver ikke mulighed for at vurdere udviklingstendenser på baggrund af bunddyrene.

I de fleste af søerne er der en betydelig variation i de beregnede indekssværdier på tværs af prøvetagningsstationerne, som det ses af minimums- og maksimumsværdierne (figur 2.32). Ofte er der en forskel på mindst én økologisk klasse. Dette gælder både søtype 9 og søtype 10. Disse variationer understreger betydningen af flere prøvetagningsstationer for mere sikkert at kunne fastlægge den økologiske klasse for en given sø. Standardafvigelsen i søerne og prøvetagningsstationerne ser ud til at være uafhængig af den gennemsnitlige DLMI-værdi i både søtype 9 og søtype 10. Dette indikerer, at den lokale variation er uafhængig af søtype og eutrofieringsgrad.



Figur 2.31. Beregnede DLMI-værdier fra 12 KU-søer af søtype 9 og søtype 10 fra år med tilgængelige data. Der er i de fleste tilfælde foretaget undersøgelser på fire lokaliteter i de år, hvor søerne er undersøgt. Ikke alle søer er undersøgt hvert år, og ændringer langs tidsaksen kan ikke anvendes til at vurdere udviklingstendenser. Baggrundsfarverne angiver de forskellige økologiske klasser (rød: dårlig, orange: ringe, gul: moderat, grøn: god, blå: høj). Grænserne ligger ved henholdsvis 0,77, 0,56, 0,36 og 0,18.

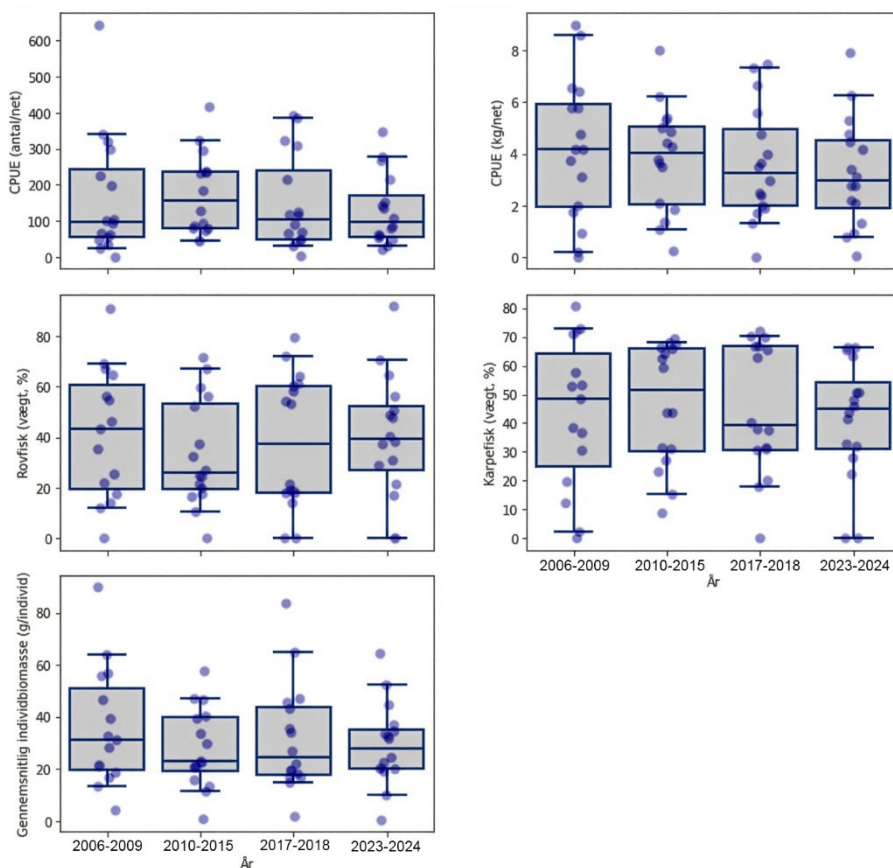


Figur 2.32. Beregnede DLMI-værdier fra KU-søer fra søtype 9 og søtype 10. Øverst er vist de målte maksimums- og minimumsværdier fra den enkelte sø og prøvetagningsår i forhold til den gennemsnitlige DLMI. Baggrundsfarverne angiver de forskellige økologiske klasser (rød: dårlig, orange: ringe, gul: moderat, grøn: god, blå: høj). Grænserne ligger ved henholdsvis 0,77, 0,56, 0,36 og 0,18. Nederst er vist standardafvigelsen (std.) i forhold til den gennemsnitlige DLMI. I de fleste tilfælde er der foretaget undersøgelser på fire stationer pr. år i hver sø.

2.8 Fisk

En oversigt over karakteristika for fiskebestanden i 16 af KU-søerne, som har været fulgt i fire seksårsperioder, hvor der er foretaget undersøgelser, henholdsvis 2006-2009, 2010-2015 og 2017-2018 og 2023-2024, er vist som boxplots i figur 2.33.

Figur 2.33. Fem karakteristika for fiskebestanden i 16 af KU-søerne, som har været fulgt i fire overvågningsperioder siden 2006. Data er vist for CPUE-antal, CPUE-vægt, %karpefisk på vægtbasis, % rovfisk på vægtbasis og gennemsnitlig individbiomasse. (CPUE=Catch Per Unit Effort/fangst pr. garn pr. nat). Data er volumenkorrigerede i forhold til udstrækning af dybdezonerne i søen. CPUE er således den gennemsnitlige volumenkorrigerede fangst pr. net pr. nat. Rovfisk: gedde, aborre og sandart, alle >10 cm. Karpefisk: skalle, brasen og deres hybrider. Søjerne viser 5, 25, 75 og 95 %-fraktiler, de vandrette linjer medianer.

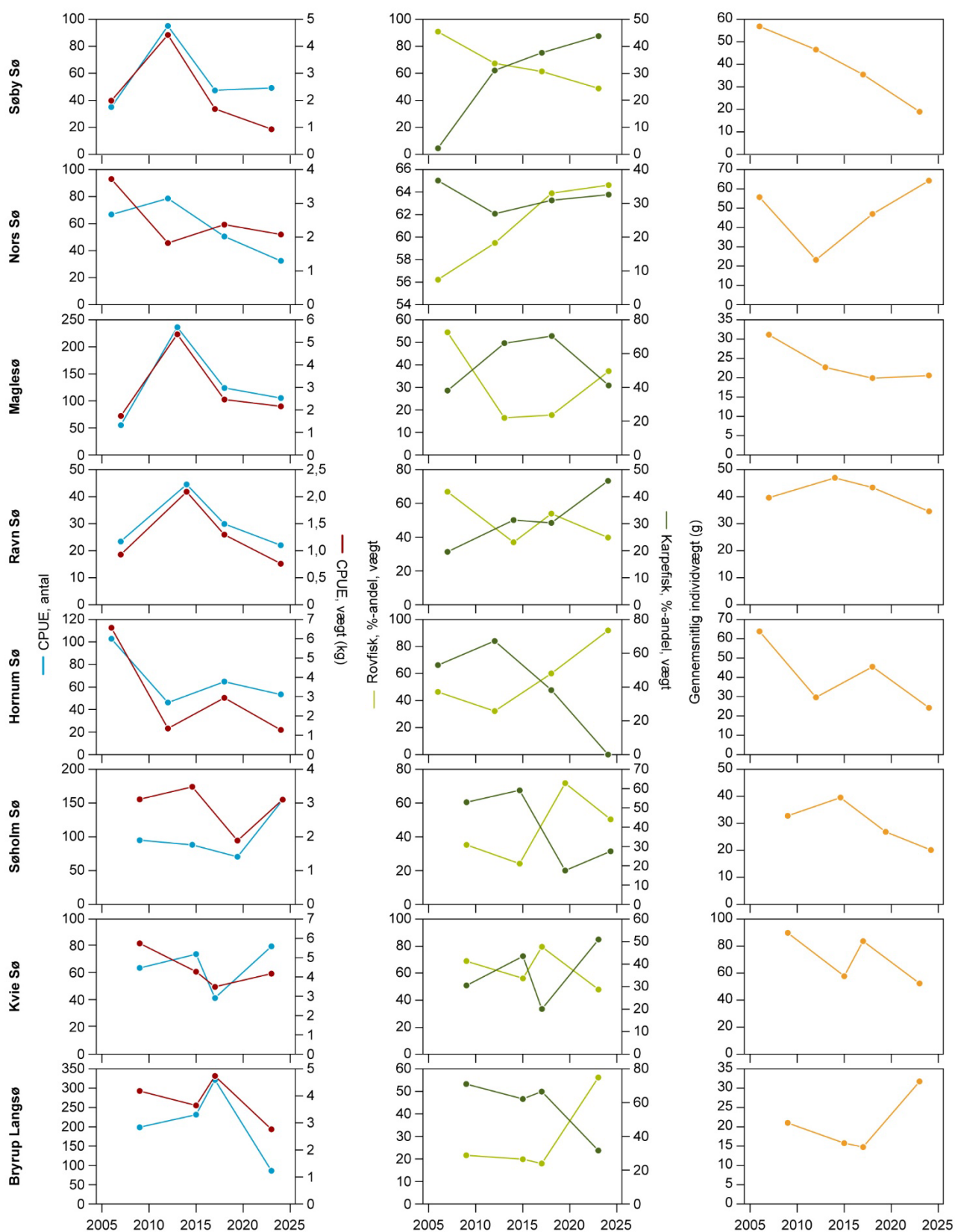


Alle de fem parametre viser store variationer på tværs af søerne og i mindre grad mellem de fire perioder (figur 2.33). Der er en tendens til faldende median for CPUE (Catch Per Unit Effort) på vægtbasis, men der er ingen signifikante ændringer mellem de fire perioder for nogen af de fem karakteristika for fiskesammensætningen på tværs af alle søerne. Der er endvidere en tendens til reduceret fisketæthed, specielt i de mest fiskerige søer, illustreret ved aftagende 75 %- og 95 %-fraktiler.

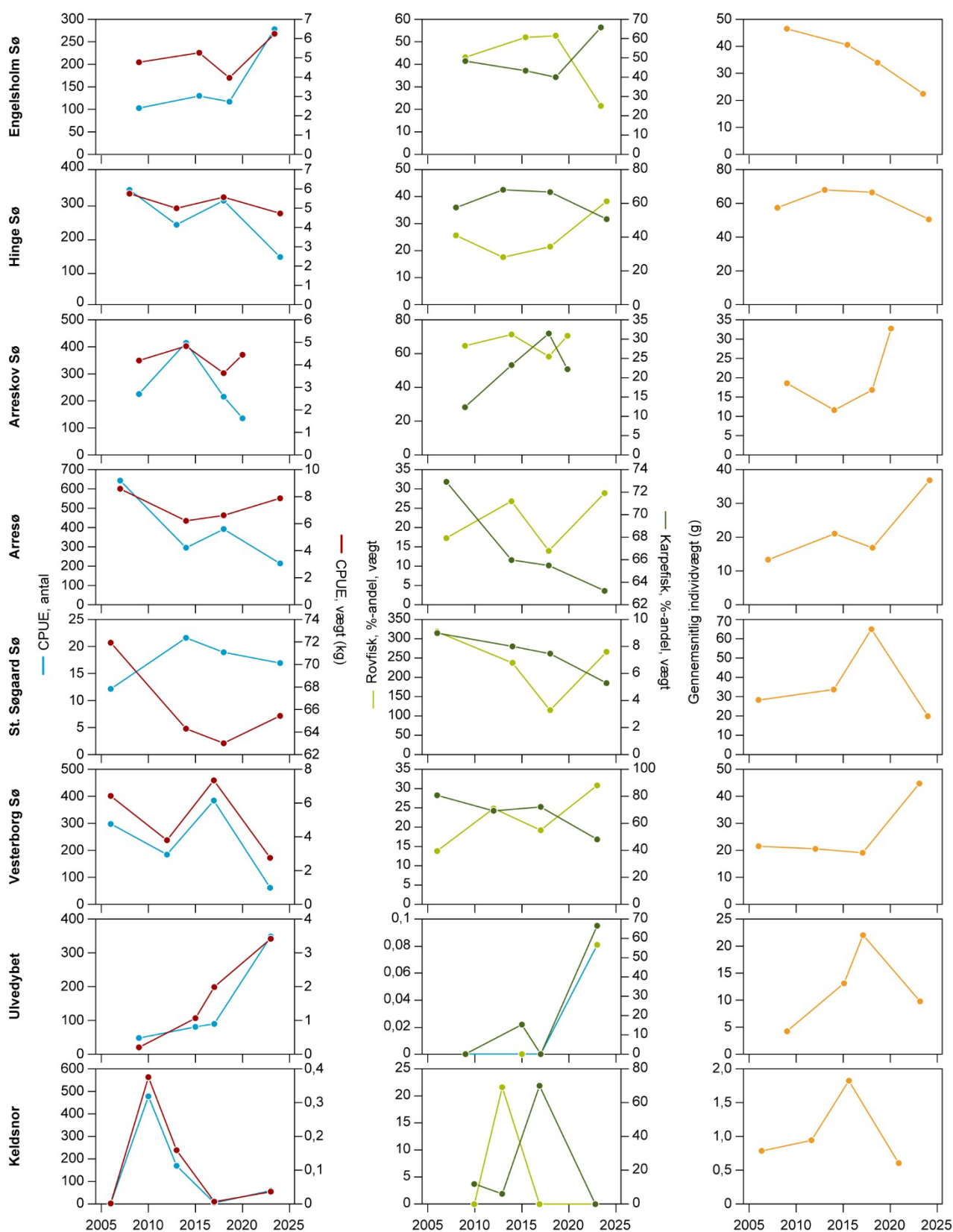
Generelt set er der ikke sket en ændring i fiskenes gennemsnitlige individvægt i KU-søerne som helhed, hvilket ellers kunne frygtes, da man på grund af klimaændringer (varmere klima) kunne forvente en reduktion i denne parameter til ugunst for søernes vandkvalitet (se evt. Johansson m.fl., 2019).

Den procentvise fordeling på karpefisk og rovfisk ændrer sig modsatrettet. Det vil sige, at der enten er dominans af karpefisk (primært skalle og brasen) eller rovfisk (aborre, sandart og gedde). Når andre arter spiller en mere dominerende rolle i søerne, vil de to parametre ikke nødvendigvis ændre sig modsatrettet.

I en udvidet vurdering af fiskenes rolle bør der foretages vurderinger på søniveau (figur 2.34).



Figur 2.34. Figuren fortsættes



Figur 2.35. Ændringer i fiskesamfundene i overvågningsperioden 2006-2024 i KU-søerne. Venstre: CPUE, antal og CPUE, vægt. Midt: Rovfisk og karpefisk i % af totalbiomasse, højre: fiskenes gennemsnitlige individvægt.

Der ses generelt store variationer fra år til år i fiskebestanden, når man betragter udviklingen i de enkelte søer (figur 2.34). I flere af søerne ses også markante ændringer gennem de fire måleperioder. Dette gælder f.eks. den gennemsnitlige individvægt i Søby Sø, der er reduceret fra 57 g/individ til 19 g/individ.

fra 2006 til 2023. En tilsvarende reduktion i individvægt forekommer i Hornum Sø. I en anden af de næringsfattige søer, Nors Sø, ses et fald i både CPUE-vægt og CPUE-antal, mens procentandelen af rovfisk er øget. Et fjerde eksempel er Ulvedybet, hvor alle fem parametre er øget markant – især i det sidste måleår, 2023. Det beskedne antal måleår gør det dog ikke muligt at teste, om der er sket statistisk signifikante ændringer i de enkelte søer.

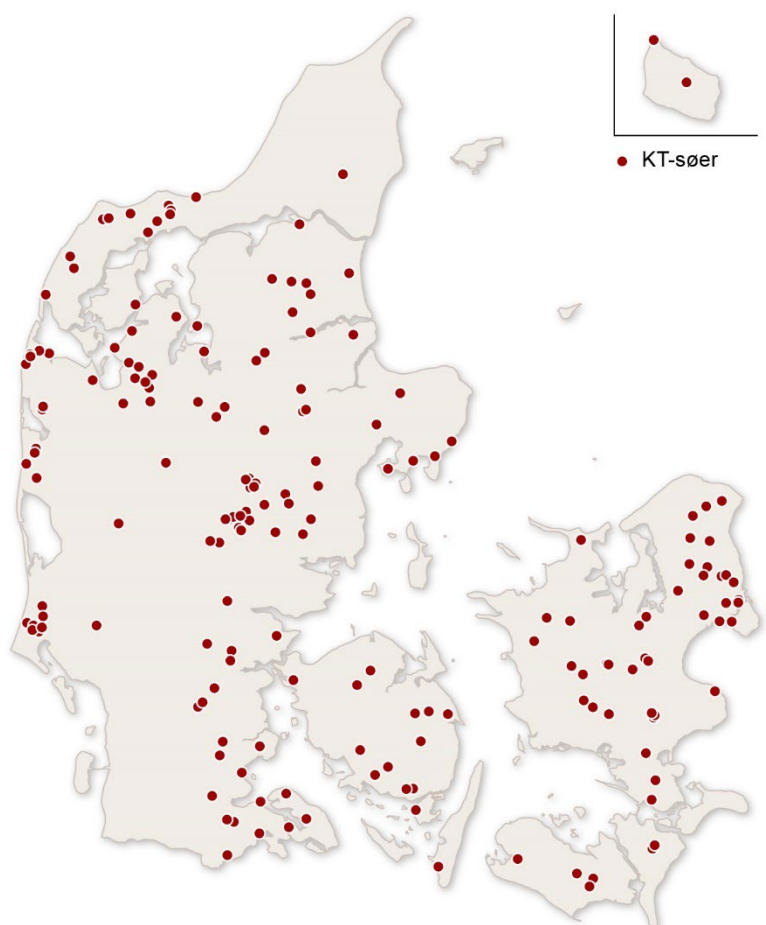
3 Kontrolovervågning af søernes tilstand

3.1 Generel karakteristik

Overvågning af de danske søers generelle tilstand omfatter i alt 180 søer (KT-søer) >5 ha, der overvåges i seksårsperioder. Perioden, der beskrives i dette afsnit, omfatter årene 2019-2024 og inkluderer data fra alle 180 søer. Her gives en overordnet status for KT-søerne med resultater for udvalgte fysisk-kemiske og biologiske parametre fra den seneste undersøgelse. Figur 3.1 viser placeringen af de 180 KT-søer. Præsentationen af data omfatter undersøgelser af vandkemi, sigtdybde og vandplanter.

Ud over beskrivelsen af resultater opnået i perioden 2019-2024 gives der et overblik over den tidlige udvikling i fysisk-kemiske nøgleparametre i de KT-søer, for hvilke der findes et tilstrækkeligt datagrundlag. Analyser af udviklingen omfatter også en overordnet sammenligning mellem seksårsperioderne 2001-2006, 2007-2012, 2013-2018 og 2019-2024 af fysisk-kemiske nøgleparametre og vegetationsparametre. Det bemærkes, at totalfosforanalyser foretaget i årene fra 2007 til første kvartal 2017 kan være fejlbehæftede, og at koncentrationerne dermed kan 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, fysisk-kemiske og vegetationsparametre for de 180 KT-søer. Søernes areal spænder fra en nedre grænse på 5 ha op til 1738 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 mere end 3000 mS/m, svarende til en salinitet på knap 20 ‰. Flertallet af søerne har et forholdsvis højt klorofylindhold (median af sommergennemsnit er 32,1 µg/L) og en relativt lav sigtdybde (median af sommergennemsnit er 1,1 m).

Undervandsplanternes dækningsgrad (dvs. andelen af søbunden, som er dækket af planter), varierer fra 0 (søer uden planter) til 85,4 % (tabel 3.1). Gennemsnitsværdien for plantedækningsgraden er 19 %, og halvdelen af søerne har en dækningsgrad på 7,4 % eller derunder. Den gennemsnitlige dybdegrænse for undervandsplanterne er 2,1 m. Det skal bemærkes, at dybdegrænsen i nogle søer er begrænset af søens totaldybde.

Tabel 3.1. Oversigt over morfometriske samt fysisk-kemiske og biologiske nøgleparametre (sommergennemsnit) for 180 KT-søer i perioden 2019-2024. Hvis der er data for flere år, indgår søen med et gennemsnit. Se fodnoter.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Søareal (ha)	96,6	21,9	5	1738	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)	0,166	0,090	0,007	1,842	180
Totalkvælstof (mg/L)	1,66	1,37	0,34	7,14	180
Klorofyl <i>a</i> (µg/L)	57,4	32,1	1,1	333	180
Sigtdybde (m)	1,4	1,1	0,2	5,7	180
Alkalinitet (mmol/L)	2,10	2,10	0,003	4,56	180
Farvetal (mg Pt/L)	41	24	1,7	606	180
Konduktivitet (mS/m)	161	39	5,4	3325	177 ¹⁾
Undervandsplanter, dækningsgrad (%)	19	7,4	0	85,4	180 ²⁾
Undervandsplanter, dybdegrænse (m)	2,1	1,6	0	11,1	180 ²⁾

1) For enkelte af søerne var datagrundlaget ikke tilstrækkeligt til at beregne statistiske værdier.

2) En enkelt sø er undersøgt senest i 2018.

3.3 Vandkemi

Vandkemi, status

Tabel 3.2 viser 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. kun 1-2 søer i søtyperne 2, 6 og 15, se tabel 1.1), og det er derfor ikke muligt at give en generel vurdering af disse.

Tabel 3.2. Oversigt over sigtddybe og vandkemiske data fra de 180 KT-søer (sommergennemsnit) fordelt på ni søtyper (se tabel 1.1 for en beskrivelse af de forskellige søtyper), som er undersøgt i perioden 2019-2024. Hvis der for en given sø findes data for flere år, indgår søen med et gennemsnit af disse.

Sø- typer	Totalfosfor (mg/L)					Totalkvælstof (mg/L)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	0,035	0,033	0,011	0,057	6	0,78	0,68	0,56	1,20	6
2	0,024	0,024	0,015	0,033	2	0,51	0,51	0,37	0,66	2
5	0,109	0,090	0,022	0,289	7	1,37	1,30	0,61	2,36	7
6	0,027	0,027	0,027	0,027	1	0,49	0,49	0,49	0,49	1
9	0,177	0,113	0,022	0,956	89	1,83	1,55	0,49	7,14	89
10	0,070	0,054	0,007	0,424	43	1,14	0,94	0,34	3,12	43
11	0,294	0,185	0,044	1,567	20	2,14	1,87	0,61	5,03	20
13	0,346	0,119	0,021	1,842	10	2,22	1,43	0,79	5,58	10
15	0,354	0,354	0,045	0,663	2	2,86	2,86	0,83	4,90	2

Sø- typer	Klorofyl <i>a</i> (µg/L)					Sigtddybe (m)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	11	9	1	24	6	2,1	1,6	0,7	4,2	6
2	14	14	6	22	2	4,0	4,0	2,4	5,7	2
5	71	43	3	181	7	0,7	0,5	0,3	1,4	7
6	8	8	8	8	1	1,9	1,9	1,9	1,9	1
9	68	46	2	307	89	1,1	0,9	0,2	3,0	89
10	28	24	3	106	43	2,4	2,1	1,0	5,4	43
11	78	56	2	308	20	0,8	0,7	0,3	1,8	20
13	65	15	5	333	10	0,8	0,7	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-brunvand, lavvand og saltholdig) den mest næringsrige med en mediankoncentration af totalfosfor på 0,185 mg/L og en mediankoncentration af totalkvælstof på 1,87 mg/L. Det er også i søtype 11, at den højeste medianværdi af klorofyl *a* forekommer (56 µg/L). De laveste sigtddyber (medianværdi 0,5 m) ses i søtype 5 (brunvandede, kalkfattige søer), hvor lysets nedtrængning i vandet, ud over algerne og suspenderet stof, også hæmmes af humusstoffer. Det understreges, at sigtddyben 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 sigtddyben i dybere søer.

De laveste næringsstofkoncentrationer blandt de fire hyppigst forekommende søtyper findes i søtype 10 (kalkrig, ikke-brunvand, fersk og dyb), hvor medianfosforkoncentrationen er på 0,054 mg/L, og mediankvælstofkoncentrationen er 0,94 mg/L.

Vandkemi, udviklingstendenser

Udviklingen på tværs af KT-søerne er undersøgt ved at sammenstille data fra de fire seneste seksårsperioder. Langt størstedelen af KT-søerne er undersøgt for fysisk-kemiske parametre og sigtddybe i alle fire perioder. Sammenligningen mellem de forskellige seksårige perioder er vist som boxplots i figur 3.2 (se figurtekst for nærmere forklaring).

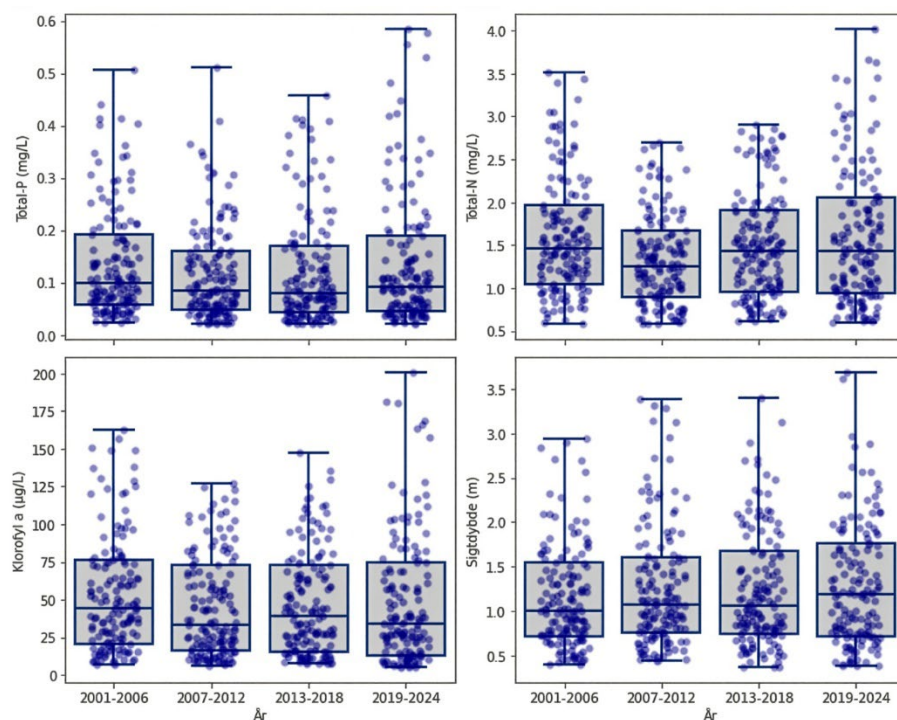
Der er testet for signifikante ændringer for alle fire parametre (totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* og sigtddybe) mellem alle perioderne (tabel 3.3). Til test af forskellene er der, hvis data er normalfordelt, anvendt *parret t-test*, og hvis

data ikke er normalfordelt, er *Wilcoxon signed rank test* anvendt. Se bilag 1 for en nærmere beskrivelse.

For totalkvælstof ses et signifikant fald fra perioden 2001-2006 til 2007-2012, men efterfølgende sker der en signifikant stigning fra perioden 2007-2012 til både perioden 2013-2018 og perioden 2019-2024 (tabel 3.3). For totalfosfor ses ligeledes et fald fra 2001-2006 til 2007-2012, samt til 2013-2018. Som for kvælstof forekommer der senere, fra 2013-2018 til 2019-2024, en signifikant stigning. For klorofyl og sigtdybde er der tale om mindre signifikante ændringer – et fald i klorofyl fra 2001-2006 til 2007-2012 og en stigning i sigtdybden fra 2001-2006 til 2007-2012 og 2013-2018.

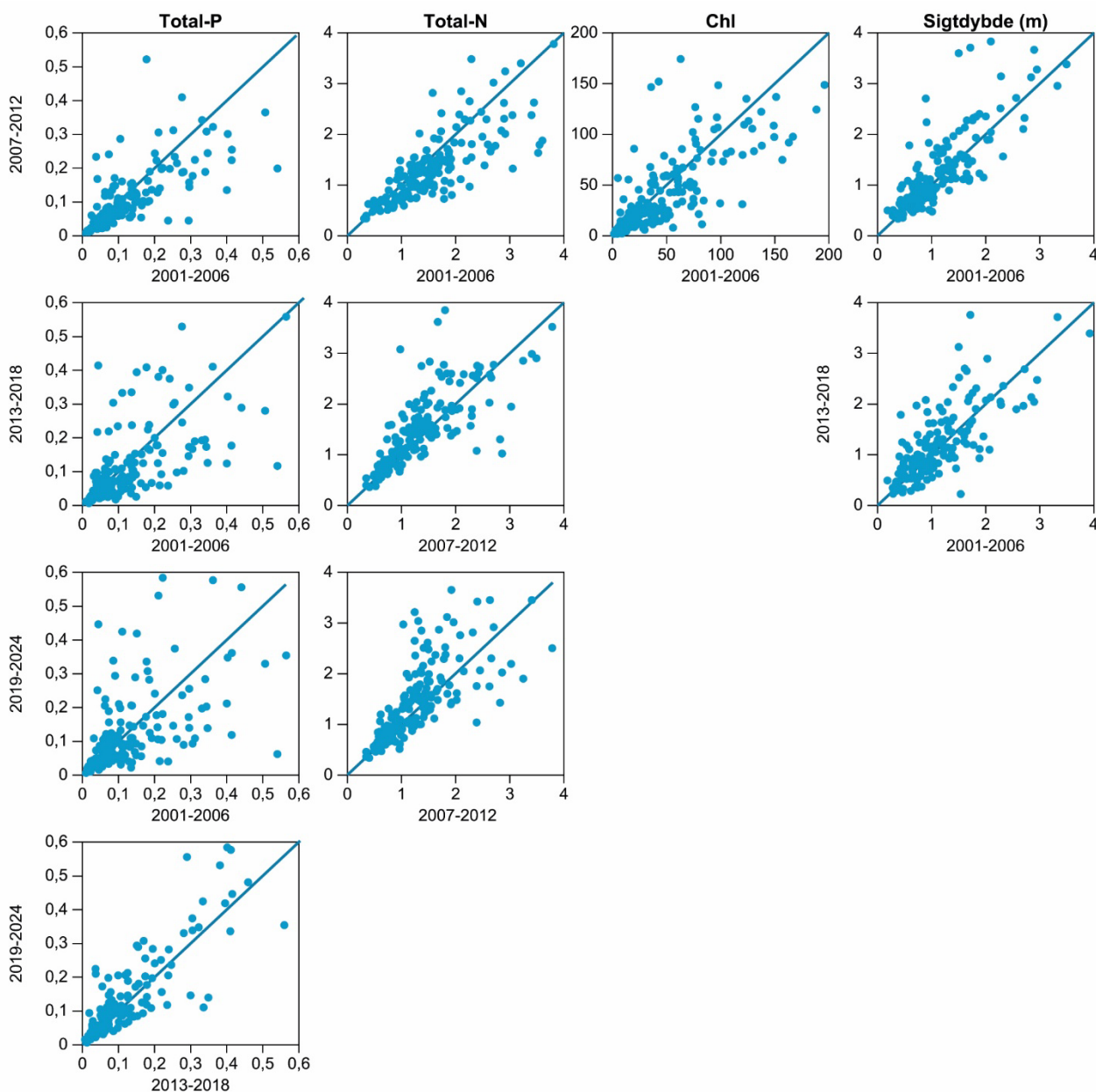
Resultaterne for forskelle i sommergennemsnittet mellem to perioder ved den anvendte statistiske test er sammenlignet parvist for hver sø og ikke mellem søerne i hver seksårsperiode som helhed. Dette betyder, at det kan være svært eller evt. ikke muligt at se signifikante forskelle mellem to perioder i boxplotterne. Desuden kan de værdier, for hvilke der ses de største forskelle, være udelukket fra boxplottene, da plottene kun viser op til 95 %-fraktilen. Sammenligninger af perioder med signifikante ændringer er udover i figur 3.2 særskilt illustreret med scatterplots i figur 3.3.

Figur 3.2. Kemiske parametre (sommermiddel) fra de 169 søer undersøgt i de fire seksårsperioder 2001-2006, 2007-2012, 2013-2018 og 2019-2024. Hvert punkt repræsenterer en sø. Boxe med whiskers viser 5, 25, 75 og 95 %-fraktiler, de vandrette linjer medianer. Værdier, der ligger over 95 %-percentilen og under 5 %-fraktiler, er ikke medtaget i figuren, men inkluderet i de statistiske tests.



Tabel 3.3 Resultat af sammenlignende statistiske tests (p-værdier) af sommergennemsnit af vandkemiske nøglevariable (totalfosfor og totalkvælstof) samt en biologisk (klorofyl a) og en fysisk (sigtdybde) nøglevariabel for de søer, der er blevet undersøgt i de fire seks-årsperioder: 2001-2006, 2007-2012, 2013-2018 og 2019-2024. Kun signifikante forskelle ($p < 0,05$) er vist. Signaturen (+) angiver, at værdien er øget, mens (-) angiver en reduktion.

P-værdier, totalfosfor (TP)			
	2001-2006	2007-2012	2013-2018
2001-2006			
2007-2012	<0,001(-)		
2013-2018	<0,001 (-)		
2019-2024	0,02 (-)		<0,001 (+)
P-værdier, totalkvælstof (TN)			
	2001-2006	2007-2012	2013-2018
2001-2006			
2007-2012	<0,001 (-)		
2013-2018		<0,001 (+)	
2019-2024		<0,001 (+)	
P-værdier, klorofyl a (Chla)			
	2001-2006	2007-2012	2013-2018
2001-2006			
2007-2012	<0,01(-)		
2013-2018			
2019-2024			
P-værdier, sigtdybde			
	2001-2006	2007-2012	2013-2018
2001-2006			
2007-2012	0,05(+)		
2013-2018	0,04(+)		
2019-2024			



Figur 3.3. Plots over de parvise tidsperioder, hvor der er signifikante forskelle i indholdet af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* samt sigtdybde. Hvert punkt repræsenterer én sø. Hvis den enkelte sø er undersøgt mere end én gang i den samme periode, er der anvendt et gennemsnit. Linjen angiver 1:1-værdier, dvs. punkterne på denne linje udtrykker for status quo. Hvis et punkt ligger over 1:1-linjen, er der sket en forøgelse, og hvis et punkt ligger under 1:1-linjen, er der sket en reduktion. Resultater af statistiske tests er vist i tabel 3.3.

Årsagen til de generelt stigende næringsstofkoncentrationer i de seneste perioder er ikke undersøgt nærmere. Mulige årsager kan være øget udledning og transport af næringsstoffer fra søernes oplande, eventuelt kombineret med en effekt af klimatiske ændringer. Det kan ikke udelukkes, at fejlanalyserne og eventuel underestimering af totalfosforkoncentrationen i perioden 2007-2016 også kan spille ind mht. stigningen i totalfosfor i den efterfølgende periode.

3.4 Undervandsplanter

Undervandsplanter, status

Kontrolovervågningen af undervandsplanter i perioden 2019-2024 omfattede i alt 180 søer. En oversigt over to nøgleparametre (det plantedækkede areal i procent af søarealet (relativt plantedækket areal – RPA) og planternes maksimale dybdegrænse i hver af de ni søtyper er givet i tabel 3.4. Nogle af søtyperne – især de kalkfattige søer (søtype 1-6) – er kun repræsenteret ved ganske få søer, hvorfor det ikke er muligt at anvende data til at udtale sig generelt om disse søtyper.

Data, der beskriver dybdegrænsen, er først og fremmest relevant for de dybe søtyper, fordi planterne i de lavvandede søtyper oftere vil kunne vokse helt ud til søens maksimale dybde end i de dybe søer. Dermed vil dybdegrænsen kunne begrænses af søens dybde. På samme måde kan man ikke forvente, at RPA 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. I de brunvandede søer kan lysnedtrængningen være begrænset pga. humusstoffer.

Tabel 3.4. Oversigt over nøgleparametre for undervandsplanter fra søerne omfattet af kontrolovervågning af tilstand fordelt på ni søtyper (se tabel 1.1 for en nærmere beskrivelse), undersøgt i perioden 2019-2024.

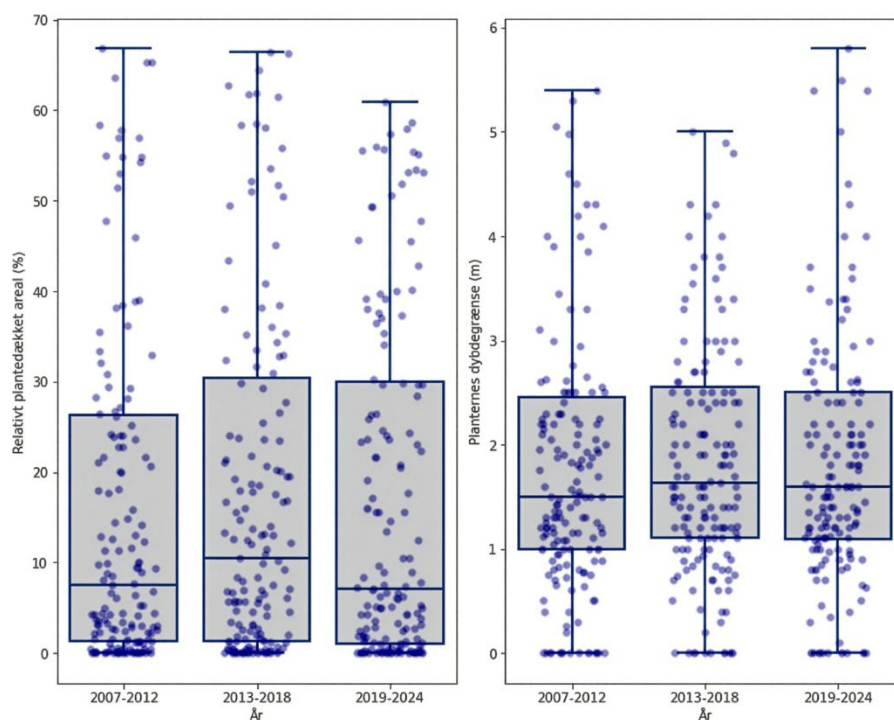
Søtype	Relativt plantedækket areal – RPA (%)					Dybdegrænse (m)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	39,5	38,8	15,6	65,9	6	2,5	2,0	1,0	5,4	6
2	28,1	28,1	0,5	55,6	2	4,2	4,2	2,8	5,5	2
5	6,1	2,1	0	24,0	7	0,7	0,7	0	1,4	7
6	0,2	0,2	0,2	0,2	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1
9	23,5	14,5	0	85,4	89	1,6	1,5	0	5	89
10	8,7	4,3	0	75,2	43	4,1	3,3	0	11,1	43
11	18,0	9,7	0	79,7	20	1,1	1,1	0	2,7	20
13	21,4	18,8	0	58,6	10	1,0	0,9	0	2,2	10
15	25,0	25,0	20,2	29,8	2	1,8	1,8	1,0	2,6	2

Generelt varierer de to målte parametre markant inden for de enkelte søtyper. I mange af søtyperne dækker RPA eksempelvis en gradient fra 0 % (ingen undervandsplanter) til langt over 50 %, og dybdegrænsen går fra 0 til ca. 11 m i søtype 10. I den mest almindelige lavvandede søtype (søtype 9) er medianværdien for RPA 14,5 %. Dette betyder, at i hovedparten af de lavvandede søer er kun en mindre del af arealet dækket af planter.

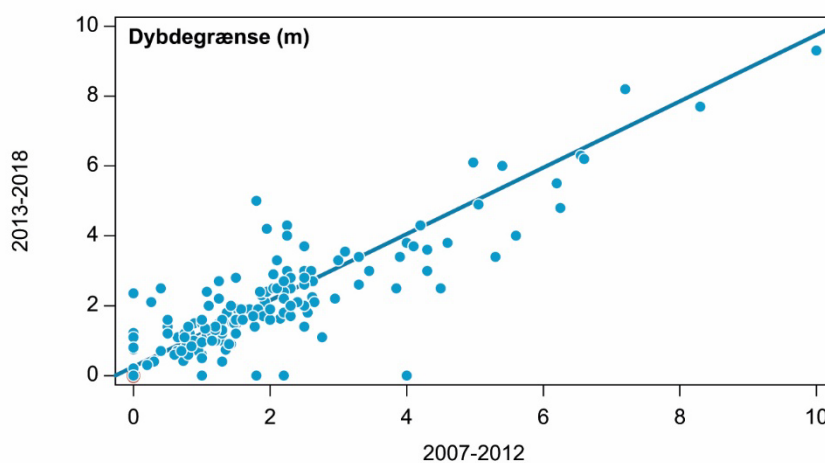
Undervandsplanter, udviklingstendenser

Figur 3.4 illustrerer det plantedækkede areal og dybdegrænsen i tre seksårsperioder. Der er ingen signifikante ændringer i RPA, når man sammenligner de tre seksårsperioder parvist. Den eneste signifikante ændring i de to parametre er en stigning i dybdegrænsen ($p=0,02$) fra 2007-2012 til 2013-2018. Samme test er anvendt som for vandkemi, beskrevet i afsnit 3.3. For at tydeliggøre data for dybdegrænsen i disse to perioder er de vist i et scatterplot i figur 3.5. Der ser ud til at være en tendens til, at det primært er søer med en relativt lav dybdegrænse, der udviser en stigning i RPA. Omvendt var RPA-værdien lavere i perioden 2013-2018 end i 2007-2012 i næsten alle søer med en dybdegrænse på ca. 4 m eller derover.

Figur 3.4. Boxplots, der illustrerer forskellen i henholdsvis planternes dækningsgrad (RPA) og planternes dybdegrænse mellem de tre seksårsperioder 2007-2012, 2013-2018 og 2019-2024 for KT-søerne. Samlede plots er vist for 167 gennemgående søer. Boxe med whiskers viser 5, 25, 75 og 95 %-fraktiler, de vandrette linjer medianer.



Figur 3.5. Sammenligning mellem undervandsplanternes dybdegrænse (m) i de to perioder 2007-2012 og 2013-2018. Hvert punkt repræsenterer én sø. Hvis den enkelte sø er undersøgt mere end én gang i den samme periode, er der anvendt et gennemsnit. Linjen angiver 1:1-værdier, dvs. punkter på denne linje udtrykker status quo. Hvis et punkt ligger over 1:1-linjen, er der sket en forøgelse fra perioden 2007-2012 til perioden 2013-2018 i den givne sø, og hvis et punkt ligger under 1:1-linjen, er der sket en reduktion. Statistiske tests viser, at der generelt er en stigning i dybdegrænsen mellem de to perioder.



4 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, hvorfor der vil være en tendens til, at stoftilbageholdelsen i søerne i procent af tilførslen vil være relativt mindre end i "tørre" år.

Temperaturen påvirker direkte en bred række af processer (f.eks. søernes temperaturlagdeling, fiskenes gydetidspunkt, organismernes vækst, algevæksten, tidspunktet for undervandsplanternes fremspiring og henfald, 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 nødvendigt, når resultaterne fra søovervågningen skal tolkes. Der kan også være tale om mere generelle og vedvarende klimaforandringer, såsom generelle ændringer i temperatur og nedbørsmønstre, som kan påvirke søernes tilstand.

Klimadata vist i dette afsnit er tilvejebragt via DMI's GRID-data (<http://no-vana.dmi.dk>). Temperaturdata, global indstråling og vinddata er baseret på data fra 20x20 km kvadrater, mens nedbørsdata er baseret på 10x10 km kvadrater. Disse data benævnes "grid-værdier", og for alle parametre er grids'ene "klippet" ved kystlinjen og derefter beregnet for arealet inden for kystlinjen. For datagrundlag og beregningsmetoder af ferskvandsafstrømningen henvises til Thodsen m.fl. (2025).

I dette kapitel gives der en kort oversigt over de klimatiske forhold i 2024 sammenlignet med perioden 1990-2023.

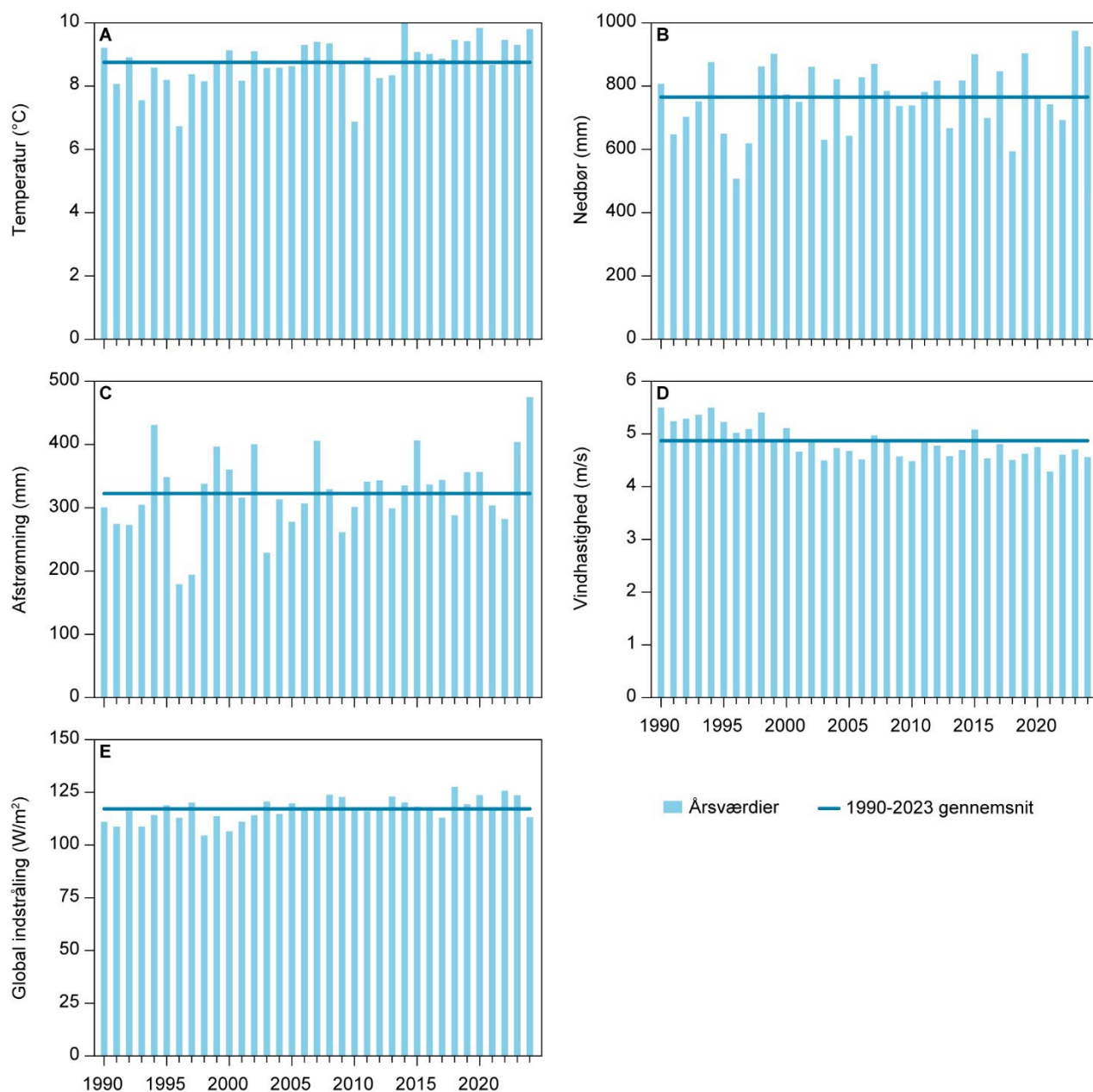
4.1 Temperatur og global indstråling

For Danmark som helhed var årets gennemsnitlige temperatur i 2024 på 9,8 °C, hvilket var 0,5 °C højere end i 2023 (9,3 °C), og markant højere end gennemsnittet for perioden 1990-2023 (8,7 °C) (figur 4.1A). Januar 2024 var koldere end gennemsnittet for perioden 1990-2023, mens alle øvrige måneder var på eller over gennemsnittet (figur 4.2A).

Den gennemsnitlige årsværdi af den globale indstråling varierede kun lidt fra år til år (figur 4.1E). I 2024 var den lidt mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2023. Dette skyldes, at indstrålingen i marts, april, juni og juli var noget lavere end gennemsnittet, mens indstrålingen i de øvrige måneder var omtrent gennemsnitlig (figur 4.2E).

4.2 Nedbør

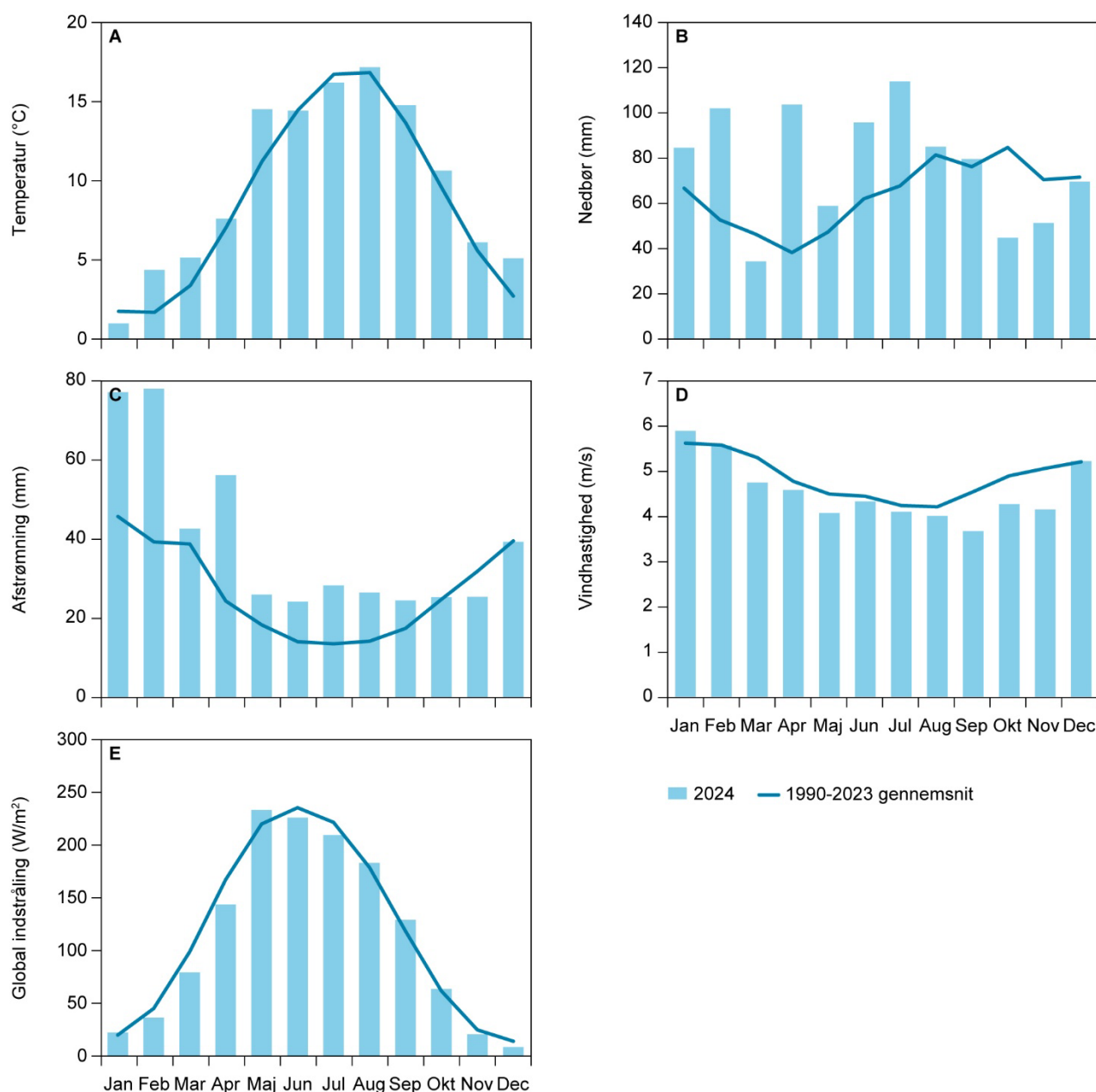
I 2024 kom der 927 mm nedbør, hvilket er 21 % mere end gennemsnittet for perioden 1990-2023 (765 mm) og den næsthøjeste årlige nedbør for perioden 1990-2024 (figur 4.1B). Der var store variationer hen over året, og i januar, februar, april, juni og juli 2024 kom der meget nedbør i forhold til de månedlige gennemsnit for perioden 1990-2023, mens marts, oktober og november var meget tørre (figur 4.2B).



Figur 4.1. Gennemsnitlige årsværdier for lufttemperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) for Danmark fra 1990 til 2024. Data for temperatur, vindhastighed, nedbør og global indstråling er baseret på DMI's data. Angående afstrømning se Thodsen m.fl. (2025). Desuden er gennemsnittet for hele Danmark for perioden 1990-2023 indlagt.

4.3 Afstrømning

I 2024 var den årlige arealspecifikke ferskvandsafstrømning 476 mm, hvilket er den højeste årlige værdi registreret siden 1990. Afstrømningen var 48 % større end gennemsnittet for perioden 1990-2023 (322 mm) (figur 4.1C). Kun i november var afstrømningen mindre end gennemsnittet for perioden 1990-2023 (figur 4.2C). Den rekordhøje afstrømning i 2024 skyldes formentlig ikke kun megen nedbør i 2024 – specielt i januar/februar (figur 4.2B), men også et efterslæb fra den rekordhøje nedbør i efteråret/december 2023. Øget afstrømning kan føre til øget næringsstoftransport fra søernes oplande og dermed højere koncentrationer.



Figur 4.2. Månedsværdier for temperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) i 2024 samt gennemsnittet for perioden 1990-2023. Data fra hele Danmark for temperatur, vindhastighed, nedbør og global indstråling er baseret på DMI's data. Angående afstrømning se Thodsen m.fl. (2025).

4.4 Vindforhold

Den gennemsnitlige årlige vindhastighed for hele Danmark var i 2024 på 4,6 m/s, hvilket er lidt lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2023 (4,9 m/s) (figur 4.1D). De månedlige vindhastigheder for første halvdel af 2024 var på niveau med gennemsnittet for perioden 1990-2023, mens efteråret 2024 var mindre blæsende end gennemsnittet for perioden 1990-2023 (figur 4.2D). En reduceret vindhastighed betyder i lagdelte søer en forstærket stratificering og kan have betydet en forlænget stratificeringsperiode og dermed en svagt forsinket efterårsopblanding i dybe søer.

5 Referenceliste

Bjerring, R., Johansson, L.S., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Lauridsen, T.L., Kjeldgaard, A., Sortkjær, L., Windolf, J. & Bøgestrand, J. 2013. Søer 2013. NO-VANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 84 s. - Videnskabelig rapport fra 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.

Cemagref (1982). Etude des méthodes biologiques d'appréciation quantitative de la qualité des eaux. Rapport. Q.E., Lyon-A.F. Bassion Rhône Méditerranée Corse 218.

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., Johansson L.S., Dahl K., Christensen J.P.A., Kjær C, Elmeros M., Mortensen R.M., Møller J.D., Heldbjerg H., Sveegaard S., Galatius A., Brunbjerg A.K., Boel M., Strandberg M.T., Hansen R.R. & Alnø A.B. (2025). Bevaringsstatus for naturtyper og arter – 2025. Habitatdirektivets Artikel 17-rapportering. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 51 s. Videnskabelig rapport nr. 673

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.

Hill, M.O., Gauch, H.G. (1980). Detrended correspondence analysis: An improved ordination technique. *Vegetation* 42, 47-58. <https://doi.org/10.1007/BF00048870>.

Hothorn, T., Hornik, K., Zeileis, A. (2006). Unbiased Recursive Partitioning: a Conditional inference framework. *Journal of Computational and Graphical Statistics*, 15(3), 651-674. <https://doi.org/10.1198/106186006x133933>.

Johansson, L.S., Søndergaard, M., Larsen, S.E. & Bjerring, R. (2019). Udvikling af biologisk indeks for fytobenthos i danske søer, Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 98 s. - Videnskabelig rapport nr. 324.

Johansson, L.S., Søndergaard, M., Sørensen, P.B., Nielsen, A., Jeppesen, E., WibergLarsen, P. & Landkildehus, F. (2019). Søer 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 98 s. - Videnskabelig rapport nr. 354. <http://dce2.au.dk/pub/SR354.pdf>.

Johansson, L.S., Søndergaard, M., Larsen, S.E. & Bjerring, R. (2019). Udvikling af biologisk indeks for fytobenthos i danske søer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 98 s. - Videnskabelig rapport nr. 324. <http://dce2.au.dk/pub/SR324.pdf>.

Johansson, L.S. (2024). Prøvetagning af bentiske kiselalger i søer. Teknisk anvisning TA S18 Version 2. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. https://ecos.au.dk/fileadmin/ecos/Fagdatacentre/Ferskvand/TA_S18_ProevetagningBentiskeKiselalgerSoeerVer2.pdf

Johansson, L.S., Søndergaard, M. & Pacheco, J.P. (2024). Søer 2023. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 67 s. Videnskabelig rapport nr. 631.

Kelly, M.G., King, L., Jones, R.I., Barker, P.A. & Jamieson, B.J. (2008). Validation of diatoms as proxies for phytobenthos when assessing ecological status in lakes. *Hydrobiologia* 610: 125-129.

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.

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

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 (2023). NOVANA Det nationale overvågningsprogram for vandmiljø og natur 2023-27. 188 s. ISBN: 978-87-7038-556-5. <https://www2.mst.dk/-Udgiv/publikationer/2023/09/978-87-7038-556-5.pdf>

Poikane, S. (Ed.), Kelly, M., Ács, E., Bertrin, V., Bennion, H., Borics, G., Burgess, A., Denys, L., Ecke, F., Kahlert, M., Karjalainen, S.M., Kennedy, B., Marchetto, A., Morin S., Picinska-Fałtynowicz, J., Phillips, G., Schönfelder, I., Schönfelder, J., Urbanič, G., van Dam, H. & Zalewski, T. (2014). Water Framework Directive Intercalibration Report. Lake phytobenthos ecological assessment methods, European Commission Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability.

Prażyńska, M. (2025). Defining ecological thresholds for littoral macroinvertebrates in Danish lakes. Afsluttende internshiprapport fra Radboud Universiteit, Holland. Undervejs.

Sørensen, P.B. (2025). Model for søbelastning af kvælstof og fosfor. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 24 s. – Fagligt notat nr. 2025 | 18

Sørensen P.B. & Nielsen, A. (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>

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

Thodsen m.fl. (2025). Vandløbsøkologi 2024. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Videnskabelige_rapporter_600-699/SR682.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.

Wiberg-Larsen, P. & Rasmussen, J.J. (2020). Revised Danish macroinvertebrate index for lakes - a method to assess ecological quality. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 42 pp. Scientific Report No. 373. <https://dce2.au.dk/pub/SR373.pdf>.

Wiberg-Larsen, P. (2024). Bunddyr (makroinvertebrater) i bredzonen af søer. Teknisk anvisning TA S17 Version 3. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi [Technical guidelines in Danish] <https://ecos.au.dk/fileadmin/ecos/Fagdatacentre/Ferskvand/TAS17BunddyrSoer V3.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 (2023).

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-, minimums- og maksimumsværdier og i nogle tilfælde også ved 5/10, 25, 75 og 90/95 %-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, så hver dag i perioden får en værdi for den enkelte parameter, og sommergennemsnittet beregnes på baggrund af disse estimerede dagsværdier. 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 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 datoen 31. december af samme værdi som den sidste måling i året. Herefter sker der en interpolering, således at hver dag 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 på enkeltøsniveau 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 mellem to seksårs perioder

Data for de enkelte parametre er i nogle tilfælde logaritmetransformeret, og vha. *Shapiro-Wilk*-testen er det undersøgt, 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.

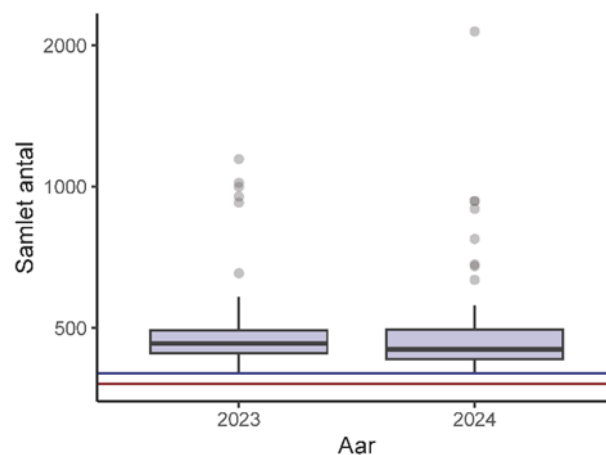
Statistiske analyser vedr. bentiske kiselalger

For at undersøge den tidsmæssige udvikling i økologisk tilstand målt ved anvendelse af indekset IPS (Indice de Polluosensibilité Spécifique), blev der udført en serie af *linær mixed-effect models* (LMMs) på data fra KU-søerne af type 9 og 10, undersøgt i perioden 2013-2024. Denne modeltype er velegnet til analyse af longitudinelle økologiske data (gentagne indsamlinger af observationer af de samme miljømæssige variable over lange tidsperioder for at analysere udviklingen i et økosystem), fordi den tager højde for gentagne målinger af ikke-uafhængige variable i søer og samtidig tillader variation i baseline forholdene. LMM er også i stand til at håndtere uensartede datasæt med et varierende antal observationer pr. station og for år med manglende observationer. Ved at inkludere både "fixed" og "random" effects, giver modellen et robust estimat af den gennemsnitlige tidsmæssige ændring i IPS på tværs af søer og accepterer den naturlige heterogenitet mellem dem. I anvendelsen af LMM var "år" inkluderet som en "fixed effect" til test af tidsmæssig ændring i IPS, mens "vandområdenummer" blev inkluderet som en "random effect" for at tage højde for gentagne målinger i KU målstationerne: $IPS \sim Aar + (1|VandomraadeNr)$.

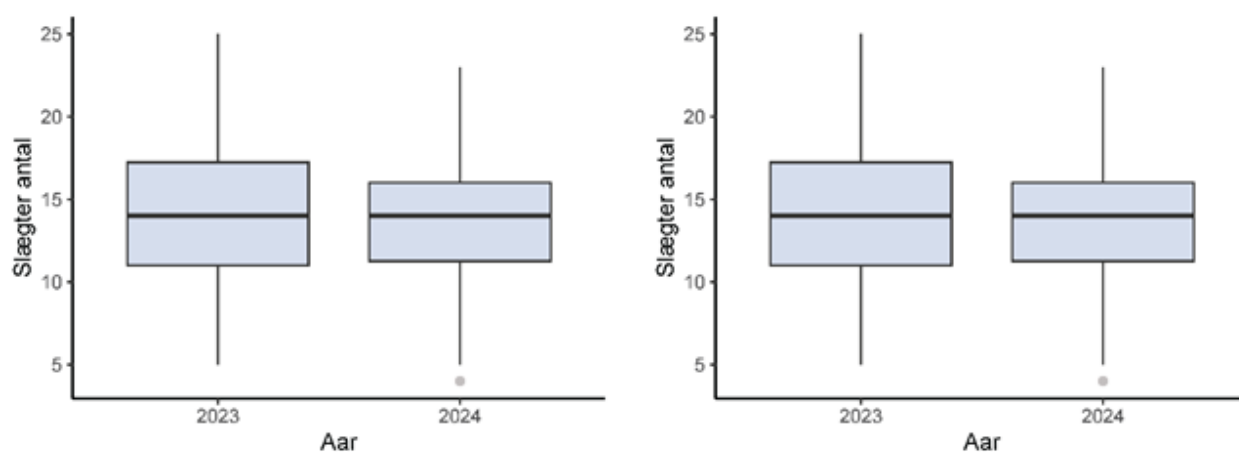
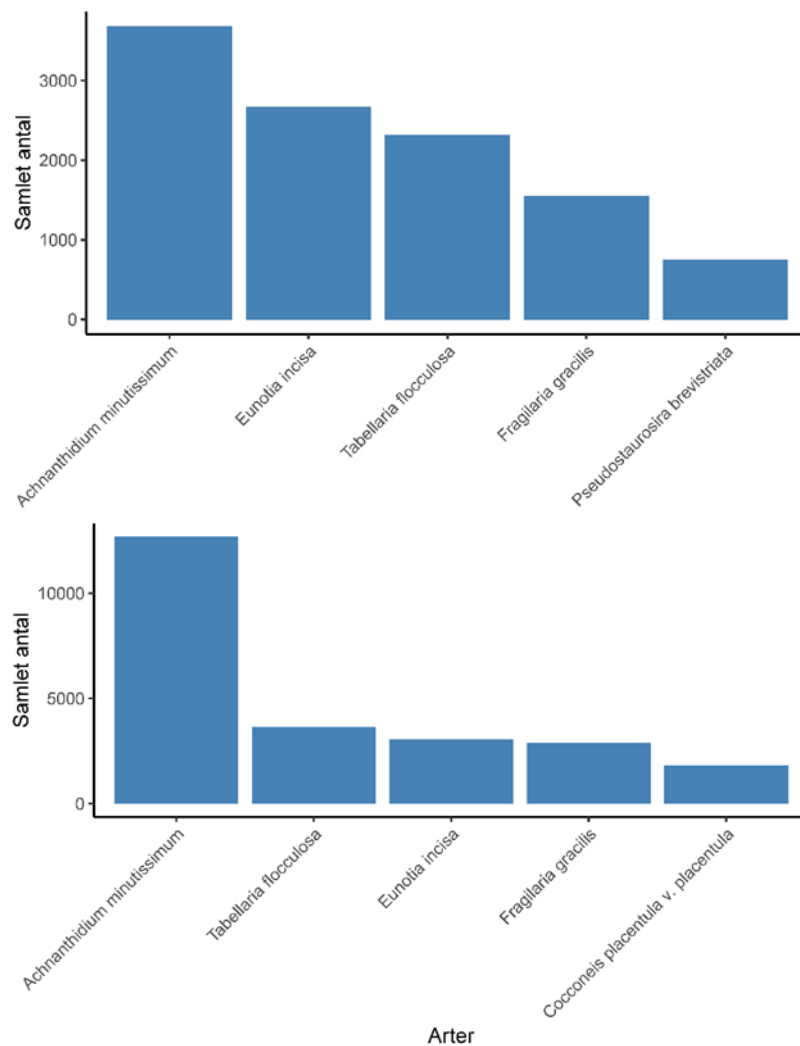
Kvalitetssikring af bentiske kiselalger i søer, indsamlet i 2023 og 2024

Kvalitetssikringen af data for bentiske kiselalger inkluderede data fra 68 søer undersøgt i 2023 og 42 søer i 2024. Det gennemsnitlige antal af optalte kiselalgeskaller pr. prøve var 522 og tællertallet var højere end 400 i alle prøver. Der var ingen signifikant forskel i antallet af skaller pr. prøve mellem 2023 og 2024 (figur B1). Prøver med højt tællertal, potentielt anset som outliers ($> Q3 + 1,5 \times \text{interquartile range}$, $n=7$ for 2023 og $n=8$ for 2024) var karakteriseret ved en dominans af én-få arter. Især *Achnanthes minutissimum* udgør ofte en stor del af kiselalgerne i danske søer (figur B2). Se også Johansson m.fl. (2024). Antallet af fundne taxa pr. år var ikke signifikant forskelligt og lå på samme niveau som for perioden 2013-2022 (Johansson m.fl. 2024).

Figur B1. Antallet af kiselalgeskaller optalt i 2023 (68 søer) og 2024 (42 søer). Den blå linie viser antallet (400), som iflg. den tekniske anvisning skal opnås, den røde linje indikerer tolerancetærsklen på 380 talte individer.



Figur B2. Forekomsten af dominerende arter i prøver med højt tælleantal (øverst) og for alle prøver i perioden 2023-2024.



Figur B3. Antallet af identificerede arter (venstre) og slægter (højre) blandt bentiske kiselalger i 2023 og 2024.

Automatisk beregnede data og kvalitetssikring, generelt.

Data indsamlet i NOVANA er registreret i databasen VanDa og er kvalitetssikret af SGAV og DCE. Desuden er vegetationsparametrene RPA (Relativt Plantedækket Areal) og fiskeundersøgelsesparameteren CPUE (Catch Per Unit Effort) beregnet i VanDa.

En beskrivelse af kvalitetssikringsprocessen for data i VanDa, foretaget af SGAV, kan ses i de datatekniske anvisninger på [AU Ecoscience - Fagdatacenter for ferskvand](#). Beskrivelser af kvalitetssikring foretaget af DCE er beskrevet i et særskilt notat, der findes på ovennævnte link.

SØER 2024

NOVANA

Rapporten beskriver udviklingen i udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer siden overvågningens begyndelse i 1989 og giver en status for den nationale sø-overvågning i perioden 2019-2024. De 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling (KU-søer), dækker et bredt spektrum, både hvad angår størrelse og dybde og indholdet af næringsstoffer. 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 sigtddyben, men primært i løbet af 1990'erne, og ændringerne har efterfølgende været små. Sommergennemsnittet af klorofylkoncentrationen er i perioden 1989-2023/2024 som helhed reduceret signifikant i syv af de 18 KU-søer, mens den er øget i tre søer. Som medianværdi var klorofylindholdet som sommergennemsnit for de 18 KU-søer i 2023/2024 på 25 µg/L. De 180 søer, som indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand (KT-søerne), er gennemgående næringsrige og med uklart vand. Den gennemsnitlige sigtddybde om sommeren er som medianværdi på 1,1 m. I mange af søerne forbedredes tilstanden i løbet af 1990'erne, men de seneste seksårsperioder viser tegn på en forøgelse i indholdet af næringsstoffer. Udbredelsen af undervandsplanter i de 180 KT-søer varierer meget – fra uklare søer helt uden planter til klarvandede søer, hvor det meste af bunden er dækket. For KT-søerne som helhed er der ingen signifikante ændringer i det plantedækkede areal siden 2007.

ISBN: 978-87-7648-005-9

ISSN: 2244-9981