SØER 2021

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 528 2023

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

SØER 2021

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 528 2023

Liselotte Sander Johansson
Martin Søndergaard
Peter Mejlhede Andersen
Peter Borgen Sørensen

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

AARHUS
UNIVERSITET
DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 528
Titel:	Søer 2021
Forfattere:	Liselotte Sander Johansson, Martin Søndergaard, Peter Mejlhede Andersen, Peter Borgen Sørensen
Institution(er):	Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Marts 2023
Redaktion afsluttet:	Marts 2023
Faglig kommentering:	Torben Linding Lauridsen
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen
Sproglig kvalitetssikring:	Anne Mette Poulsen
Ekstern kommentering	Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/SR528_komm.pdf
Finansiel støtte:	Miljøministeriet
Bedes citeret:	Johansson, L.S., Søndergaard, M., Andersen, P.M. & Sørensen, P.B. 2023. Søer 2021. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 114 s. - Videnskabelig rapport nr. 528 http://dce2.au.dk/pub/SR528.pdf

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning: Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i perioden 2016-2021, og beskriver udviklingen i udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer siden overvågningens begyndelse i 1989. De 180 søer, som indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, er stadigvæk overvejende næringsrige med uklart vand, hvor blågrønalger gennemsnitlig udgør den største andel af algebiomassen. I mange af søerne er der sket forbedringer siden 1989, men den seneste seksårsperiode (2016-2021) viser en forøgelse i indhold af næringsstoffer og klorofyl i forhold til forrige seksårsperiode (2010-2015). Blandt de 10 søer, som indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, og hvor der er veldefinerede massebalancer, er de største ændringer i tilførsel af fosfor sket i begyndelsen i 1990'erne. I hovedparten af de 16 søer, hvor ændringer i planteplanktonet kan vurderes, er der ikke sket nogen signifikante ændringer i planteplanktonets biomasse siden 1989. Miljøfarlige forurenende stoffer er undersøgt i søsedimentet i 85 søer i kontrolovervågningen og 240 søer i den operationelle overvågning. I de fleste søer blev alle metaller, aromatiske kulbrinter og polyaromatiske kulbrinter fundet over detektionsgrænsen. Flere stoffer blev målt i koncentrationer over miljøkvalitetskravet. Pesticider blev målt i vandfasen i otte søer; der blev ikke fundet koncentrationer, der var højere end miljøkvalitetskravet.

Emneord:	Søer, miljøtilstand, overvågning, vandområdeplaner, NOVANA
Layout:	Grafisk Værksted
Foto forside:	Bryrup Langsø, AU Foto
ISBN:	978-87-7156 -744-1
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	114
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som https://dce2.au.dk/pub/SR528..pdf

Indhold

Forord **5**

Sammenfatning **7**
Overvågningsprogrammet 7
Kontrolovervågning af søernes tilstand 8
Kontrolovervågning af søernes udvikling 9
Miljøfremmede stoffer 10
Klima og afstrømning 11

Summary **12**
About the monitoring programme 12
Surveillance monitoring of lake environmental state 13
Surveillance monitoring of lake development 14
Environmentally hazardous substances 15
Climate and runoff 16

1 Undersøgelsesprogrammet **17**
1.1 Historik 17
1.2 Direktiver i overvågningen og afrapportering 18
1.3 Parametre i overvågningen 18
1.4 Fejlanalyser af totalkvælstof og totalfosfor 19
1.5 Søtyper i henhold til vandrammedirektivet 20
1.6 Kontrolovervågning 21
1.7 Operationel overvågning, 659 OP-søer 23
1.8 Kortlægning af habitatnaturtyper i søer 24

2 Kontrolovervågning af søernes tilstand **25**
2.1 Generel karakteristik 25
2.2 Generel tilstand 26
2.3 Vandkemi 27
2.4 Fytoplankton 37
2.5 Vegetation 51
2.6 Fisk 55
2.7 Udviklingstendenser fisk 57

3 Kontrolovervågning af søernes udvikling **62**
3.1 Fytoplankton 1989-2018 62
3.2 Massebalancer i 10 KU-søer 67

4 Miljøfarlige forurenende stoffer **92**
4.1 Miljøfarlige forurenende stoffer i søsediment i kontrolovervågningen og i den operationelle overvågning 92
4.2 Pesticider i vandfasen i den operationelle overvågning 101

5 Klima og afstrømning **104**

6 Referenceliste **108**

Forord

Denne rapport udgives af DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet (DCE), som et led i den landsdækkende rapportering af det Nationale program for Overvågning af VAndmiljøet og NAturen (NOVANA). NOVANA er fjerde generation af nationale overvågningsprogrammer, som med udgangspunkt i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram blev iværksat i efteråret 1988. Nærværende rapport omfatter data til og med 2021.

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

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

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

Denne rapport er udarbejdet af Fagdatacenter for ferskvand, og MST har haft mulighed for at kommentere udkast til rapporten. Rapporten er baseret på data indsamlet af MST. Dette års rapport er som udgangspunkt en opdatering af tidligere års rapporter om søer med data indsamlet i 2021. Massebalancer er beregnet for perioden 1990-2020.

Den seneste rapport er 'Søer 2020' (Johansson m.fl. 2021). Ikke alle indsamlede data bliver rapporteret hvert år, men først når der er et tilstrækkeligt datagrundlag for en rapportering. I år beskrives status og udviklingstendenser for vandkemiske parametre, udvalgte parametre fra fytoplankton-, vegetations- og fiskeundersøgelser i alle søer, som indgår i kontrolovervågningen af tilstand (de 180 KT-søer), primært fra perioden 2004-2021.

Derudover vises status og udvikling for fytoplankton i de søer, som indgår i kontrolovervågning af udvikling (de 18 KU-søer) for perioden 1989-2018.Resultater af massebalanceberegninger og kildeopsplitning præsenteres for udvalgte KU-søer. Endelig vises de seneste resultater af overvågningen af Miljøfarlige forurenende stoffer i søsedimentet og i vandfasen.

Data fra overvågning af arter og naturtyper er ikke med i denne rapport. Afrapporteringen af habitatarten vandranke for 2021 udkommer som netrapportering på Novana.au.dk. Resultater fra overvågningen af de øvrige habitatarter samt fra naturtypeovervågningen blev senest afrapporteret i 2019 i forbindelse med Danmarks rapportering til EU i medfør af habitatdirektivets artikel 17 og fuglebeskyttelsesdirektivets artikel 12. Dette skete i form af et selvstændigt bidrag fra DCE til Miljø- og Fødevareministeriets rapportering til EU (Fredshavn m.fl. 2019).

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenter-rapporter i 'Vandmiljø og natur 2021', som udgives i et samarbejde mellem DCE, GEUS og MST.

Sammenfatning

Overvågningsprogrammet

Overvågningsprogrammet for de danske søer er løbende blev 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 klimatisk relaterede og de menneskeskabte ændringer". Kontrolovervågningen omfatter en overvågning af den generelle tilstand i søer >5 ha (KT-søer, i alt 180 søer) og en overvågning af udviklingen i søer >5 ha (KU-søer, i alt 18 søer), vurderet på baggrund af lange tidsserier. Samlet udgør de 198 søer >5 ha ca. 1/3 af alle danske søer i denne størrelsesgruppe. Derudover foretages der en kontrolovervågning i henhold til habitatdirektivet, som skal give et generelt billede af tilstand og udvikling af de enkelte beskyttede sønaturtyper.

Den operationelle overvågning skal danne baggrund for fastlæggelse af den økologiske tilstandsklasse, kemiske tilstand og indsatsbehov i søer, hvor man er i tvivl om tilstanden. Derudover skal den operationelle overvågning levere data, der dokumenterer effekten af vandområdeplaner, nitrathandlingsprogrammer og andre forvaltningsmæssige tiltag. I perioden 2016-2021 er der hvert år gennemsnitlig foretaget undersøgelser af vandkemi i 95 søer, vegetation i 50 søer og fisk i 11 søer.

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

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

I forhold til implementeringen af EU's vandrammedirektiv og udarbejdelsen af vandområdeplaner arbejdes der i Danmark med 11 forskellige søtyper, der afgrænses i forhold til vanddybde (dyb, lavvandet), kalkholdighed (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 tilstand

Kontrolovervågningen af tilstand omfatter i alt 180 KT-søer, der er undersøgt i perioden 2016-2021. Størstedelen af søerne er relativt små (medianværdien for søareal er 23 ha) og lavvandede (medianværdien for middeldybden er 1,6 m).

Vandkemiske forhold

KT-søerne er gennemgående næringsrige med en medianværdi for totalfosfor (sommermiddel) på 0,085 mg/l og totalkvælstof på 1,5 mg/l. Tilsvarende er søerne gennemgående uklare med en medianværdi for sigtdybde (sommergennemsnit) på 1,1 m og et klorofylindhold med median på 35 µg/l (sommergennemsnit). Blandt de fire mest almindelige søtyper (søtype 9, 10, 11 og 13) er søtype 11 (kalkrig, ikke-brunvandet, lavvandet og saltholdig) den mest næringsrige med en medianfosforkoncentration på 0,169 mg/l og en mediankvælstofkoncentration på 1,76 mg/l. Det er også i søtype 11, at de højeste medianværdier af klorofyl *a* ses (51 µg/l). Den mest næringsfattige blandt de fire hyppigst forekommende søtyper er søtype 10 (kalkrig, ikke-brunvandet, fersk og dyb), hvor medianfosforkoncentrationen er på 0,050 mg/l, og mediankvælstofkoncentrationen er 1,04 mg/l.

I mange af KT-søerne er der, siden overvågningsprogrammets start, nu opnået så lange tidsserier, at det er muligt at vurdere og teste udviklingstendenser for de enkelte søer. Blandt de 71 KT-søer med lange tidsserier ses statistisk signifikante ændringer på 0,1-10 % signifikansniveau for perioden 1989-2021 i indholdet af næringsstoffer, klorofyl og sigtdybde i omkring halvdelen. I langt de fleste tilfælde er der for perioden som helhed tale om positive ændringer forstået sådan, at næringsstof- og klorofylindhold er reduceret, mens sigtdybden er øget. Indholdet af totalfosfor er således reduceret i 38 søer og kun øget i én sø, indholdet af totalkvælstof er reduceret i 34 og øget i tre søer, mens klorofylindholdet reduceret i 37 søer og øget i tre søer.

Hvis der kun ses på udviklingen i de seneste 20 år, er der langt færre søer med signifikante ændringer. Dette skyldes først og fremmest, at der er langt færre søer, hvorfra der er data fra nok år til at teste udviklingen. Blandt de 13 søer, hvorfra der er mindst otte års data, er der for mange af søerne tale om en positiv udvikling forstået på den måde, at næringsstof- og klorofylindhold er reduceret, mens sigtdybden er øget. En sammenligning af de to seneste overvågningsperioder (2010-2015 og 2016-2021) viser, at indholdet af totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl generelt er øget signifikant. Udviklingen er mest signifikant for totalkvælstof og klorofyl, hvor de fleste søer havde højere værdier i perioden 2016-2021 end i perioden 2010-2015. Dette indikerer altså en generel negativ udvikling i søerne gennem de seneste 12 år.

Fytoplankton

For de 180 KT-søer som helhed domineres fytoplanktonet af blågrønalger (cyanobakterier), der gennemsnitlig udgør 52 % af det totale sommergennemsnitlige biovolumen. Den største mængde fytoplankton (udtrykt som medianværdi af biovolumen) blandt de fire søtyper med data fra mindst 10 søer ses generelt i søtype 11 (kalkrig, ikke brunvandet, saltholdig, lavvandet). Det gennemsnitlige biovolumen øges ved øget fosforindhold, mens indholdet af kvælstof især har effekter i de brakke søtyper.

Betragtes udviklingen i KT-søernes biovolumen og sammensætning af fytoplankton på baggrund af data fra 143 søer, som blev undersøgt i begge de

to perioder 2010-2015 og 2016-2021, er der overordnet set tale om beskedne ændringer. I den statistiske test, og hvis man ser på alle søerne under ét, er total biovolumen øget signifikant; for nogle af søerne ses store forskelle mellem de to undersøgelsesperioder. Blandt blågrønalgerne er der både søer, hvor biovolumen er reduceret, og nogle, hvor biovolumen er øget markant fra den første til den anden periode.

Vegetation

Udbredelsen af undervandsplanter i de 180 KT-søer varierer meget – fra uklare søer helt uden planter til lavvandede og klarvandede søer, hvor det meste af bunden er dækket. I den mest almindelige lavvandede søtype (søtype 9) er medianværdien for det plantedækkede areal på 16,7 % og i den mest almindelige dybe søtype (søtype 10) er medianværdien for planternes maksimale dybdegrænse på 3,7 m.

En sammenligning i undervandsplanternes udbredelse fra perioden 2004-2009 til perioden 2016-2021 viser nogen forskel imellem de to perioder. For søtype 9 og 10 er der sket en stigning i det plantedækkede areal, for type 9 i det plantefyldte volumen, mens der for type 9 og 10 og søerne som helhed er sket en forøgelse i dybdegrænsen. Mellem de seneste to seksårs perioder er der ikke sket ændringer i nogen af de anvendte parametre.

Fisk

Hvad angår fisk, så ses det største antal og den største biomasse generelt i den lavvandede, ferske kalkrige søtype (søtype 9), hvor der som medianværdi blev fanget 151 fisk per garn og 4,4 kg per garn. Det er noget højere end den tilsvarende dybe søtype (søtype 10), hvilket formentlig er et udtryk for det lavere næringsstofniveau i de dybe søer.

Der er ingen klare udviklingstendenserne i fiskesamfundene mellem de to seneste undersøgelsesperioder (2010-2015 og 2016-2021). Sammenlignes de to perioder, 2004-2009 og 2016-2021, er der lidt flere signifikante ændringer. I søtype 9 er der eksempelvis sket en signifikant reduktion i både vægten af fangede fisk i oversigtsgarnene, andelen af karpefisk samt den gennemsnitlige individbiomasse. De to sidstnævnte observationer gælder også for søerne som helhed.

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.

Fytoplankton

Det er nu muligt at vurdere udviklingen siden 1989. Generelt varierer både det totale biovolumen og fytoplanktonsammensætningen temmelig meget fra år til år i mange af søerne – det er ikke usædvanligt med en forskel på en faktor 5 eller mere i biovolumen inden for få år. I nogle søer ser der i overvågningsperioden også ud til at være sket et skift i biovolumen.

Statistiske tests for de 16 søer, hvorfra der er data nok, viser, at det totale biovolumen er reduceret signifikant i fem af de 16 søer og øget i én. Hvis der kun

ses over de seneste 20 år, er der en signifikant reduktion i tre søer. I hovedparten af søerne er der således ikke sket nogen signifikante ændringer hverken gennem hele måleperioden (1989-2021) eller de seneste 20 år. De fytoplanktongrupper, som har ændret sig i flest søer, er furealgerne, som er gået signifikant frem i seks søer og signifikant tilbage i tre søer, og mængden af blågrønalger, som er øget i tre søer og reduceret i fire søer.

Massebalancer

I 10 af KU-søerne med veldefinerede vandbalancer er det muligt at opgøre næringsstofbalancer og kildeopsplitning. I forhold til tidligere er der anvendt en forbedret opgørelse af vandbalancen samt opdaterede estimater for spredt bebyggelse. Denne opdatering nedskriver generelt bidraget fra spredt bebyggelse, hvilket reducerer den vandføringsvægtede koncentration af kvælstof og fosfor i vandet, der løber til søerne fra punktkilder.

Specielt for fosfor er de største ændringer i tilførslen til søerne sket i begyndelsen af overvågningsperioden. Den relative næringsstoftilbageholdelse i søerne viser store variationer og generelt ingen markante ændringer. Der er dog en mindre fosfortilbageholdelse i begyndelsen af perioden (1990-1994), hvilket tilskrives en respons på en historisk pulje af fosfor, der frigives. Der er en omvendt tendens for kvælstof, hvor tilbageholdelsen er størst først i perioden.

Miljøfremmede stoffer

Sediment

I perioden 2010-2021 er der foretaget undersøgelser af miljøfarlige forurenende stoffer i søsediment indenfor følgende stofgrupper: metaller, aromatiske kulbrinter, phenoler, polyaromatiske kulbrinter (PAH), blødgørere, organotinforbindelser og pesticider. Der er taget prøver i 85 søer i kontrolovervågningen og 240 søer i den operationelle overvågning. I de fleste søer blev alle metaller, aromatiske kulbrinter og PAH fundet over detektionsgrænsen, hvilket også gælder enkelte af blødgørerne (DEHP og diisononylphthalat) og organotinforbindelsen monobutyltin. Resten af stofferne fandtes kun i et mindretal af søerne. Blandt stofferne, hvortil der er fastsat miljøkvalitetskrav (MKK) i sediment, kunne der konstateres koncentrationer, der var højere end MKK for følgende stoffer: bly (12 søer), vanadium (22 søer), summen af methylnaphtalenerne (49 søer), naphtalen (13 søer), nonylphenoler (1 sø) og antracen (115 søer). Der ses generelt ingen forskel i koncentrationsniveauer mellem resultater fra kontrolovervågningen og den operationelle overvågning.

Ved sammenligning af stofkoncentrationerne mellem perioderne 2010-2015 og 2016-2021 ses der en signifikant forskel for zink, monobutyltin og acenaphten, hvor værdierne var højest i den seneste periode, mens det modsatte er gældende for stofferne 4-tert-octylphenol, nonylphenol-mono-ethoxylater og acenaphtylen.

Vand

I årene 2012 og 2020 er der taget prøver af i alt 21 pesticider i søvandet i otte søer indeholdt i den operationelle overvågning. Ni af stofferne blev ikke fundet over detektionsgrænsen i nogen af prøverne. Glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA, 2,6-dichlorbenzamid (BAM) og trichloreddikesyre

(TCA), var de hyppigst forekommende stoffer, idet de blev fundet over detektionsgrænsen i 22-61% af prøverne. Der er fastsat miljøkvalitetskrav for ni af de undersøgte pesticider og der blev ikke fundet tilfælde af koncentrationer højere end miljøkvalitetskravet.

Klima og afstrømning

For Danmark som helhed var årets gennemsnitlige temperatur i 2021 på 8,7 °C, hvilket var den samme temperatur som gennemsnittet for perioden 1990-2020. Januar og februar var koldere i 2021 end gennemsnittet, mens juni og juli var varmere. Den globale indstråling i 2021 var ligeledes som gennemsnittet for perioden 1990-2020. Den gennemsnitlige årlige vindhastighed for hele Danmark var i 2021 4,3 m/s, hvilket er lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2020 (4,9 m/s).

I 2021 kom der på landsplan 744 mm nedbør, hvilket også er på niveau med gennemsnittet for perioden 1990-2020 (762 mm). Der var store variationer over året, og i maj 2021 kom der over dobbelt så meget nedbør (107 mm) som gennemsnittet for perioden 1990-2020. Februar, april og juni 2021 var til gengæld ret tørre sammenlignet med gennemsnittet for 1990-2020. I resten af året var nedbørsforholdene mere normale, bortset fra en relativ våd oktober og tør november. Den arealspecifikke ferskvandsafstrømning var i 2021 på 304 mm, hvilket er 6 % lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2020 (324 mm).

Summary

About the monitoring programme

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

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

The operational monitoring forms the basis for the establishment of the ecological state, the chemical state and the effort required in lakes where you are in doubt about the state. In addition, the operational monitoring provides data documenting the effects of national aquatic environment plans, river basin management plans, nitrate action programmes and other administrative measures. In the period 2016-2021, investigations of water chemical conditions were on average made every year in 95 lakes, of vegetation in 50 lakes and of fish in 11 lakes.

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

The physical-chemical parameters include measurements of the concentrations of phosphorus and nitrogen, chlorophyll *a*, alkalinity, pH, oxygen and temperature profiles, conductivity, colour and Secchi depth. Different groups of environmentally hazardous 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. The biological parameters include studies of submerged macrophytes, fish and phytoplankton as well as benthic invertebrates and phytobenthos.

In connection with implementing the WFD and preparing water plans, Denmark is working with 11 different lake types that are defined by water depth (deep, shallow), alkalinity (high alkalinity/low alkalinity), browning (brown

water, non-brown water) and salinity (fresh, brackish). The presentation of the data in this report mainly follows this classification.

Surveillance monitoring of lake environmental state

The surveillance monitoring of lake environmental state covers a total of 180 KT lakes monitored during the period 2016-2021. The majority of the lakes are relatively small (median lake area 23 ha) and shallow (median depth 1.6 m).

Water chemical conditions

The KT lakes are generally nutrient-rich with a median total phosphorus value (summer mean) of 0.085 mg/l and a median total nitrogen value of 1.5 mg/L. The lakes are generally turbid with a median value of Secchi depth (summer mean) of 1.1 m and a chlorophyll content with a median of 35 µg/L (summer mean). Among the four most common lake types (lake type 9, 10, 11 and 13), lake type 11 (high alkalinity, non-brown water, shallow and saline) is the most nutrient-rich with a median phosphorus concentration of 0.169 mg/L and a median nitrogen concentration of 1.76 mg/L. It is also lake type 11 that has the highest median values of chlorophyll *a* (51 µg/L). The most nutrient-poor among the four most frequently occurring lake types is lake type 10 (high alkalinity, non-brown water, fresh and deep), where the median phosphorus concentration is 0.050 mg/l, and the median nitrogen concentration is 1.04 mg/L.

Since the monitoring programme was initiated, sufficiently long time series have been obtained for many of the KT lakes to allow assessment and testing of the development trends for the individual lakes. Among the 71 KT lakes with long time series, statistically significant changes of 0.1-10% significance level for the period 1989-2021 can be traced in nutrient concentrations, chlorophyll and Secchi depth in around half of the lakes. In the vast majority of cases, the changes during the whole period are positive in that the nutrient and chlorophyll concentrations have declined, while the Secchi depth has increased. The total phosphorus concentrations have thus decreased in 38 lakes and only increased in three lakes, while the chlorophyll concentrations have decreased in 37 lakes and increased in three lakes.

Considering only the development in the past 20 years, there are far fewer lakes with significant changes. This is primarily due to the fact that there are far fewer lakes, from which data are available from a sufficient number of years to test the development. Among the 13 lakes on which there are at least eight years of data, the development is mainly positive, which means that nutrient and chlorophyll concentrations have been reduced, while Secchi depth has increased. A comparison of the last two monitoring periods (2010-2015 and 2016-2021) shows that the concentrations of total phosphorus, total nitrogen and chlorophyll have generally increased significantly. The development is most significant for total nitrogen and chlorophyll, where most lakes exhibited higher values in the period 2016-2021 than in the period 2010-2015. This indicates a general negative development in the lakes during the last 12 years.

Phytoplankton

For the 180 KT lakes as a whole, the phytoplankton is dominated by blue-green algae (cyanobacteria), which average 52% of the total summer average biovolume. The largest amount of phytoplankton (expressed as the median

value of biovolume) among the four lake types with data from at least 10 lakes is generally seen in lake type 11 (high alkalinity, non-brown water, saline, shallow). The average biovolume increases with increasing phosphorus concentrations, while the nitrogen concentrations mainly affect the brackish lake types.

Considering the development of the biovolume and composition of phytoplankton in the KT lakes using data from 143 lakes that were studied in both 2010-2015 and 2016-2021, the changes are generally modest. In the statistical test, and if contemplating all the lakes as a whole, the total biovolume has increased significantly, but for some of the lakes there are major differences between the two study periods. As for blue-green algae, there are both lakes with a reduced biovolume and some with a markedly increased biovolume from the first to the second period.

Vegetation
The distribution of submerged macrophytes in the 180 KT lakes varies greatly – from turbid lakes without plants to shallow and clear-water lakes where most of the bottom is covered. In the most common shallow lake type (lake type 9), the median value for the macrophyte-covered area is 16.7%, and in the most common deep lake type (lake type 10) the median value for the maximum depth limit of the macrophytes is 3.7 metres.

A comparison of the distribution of submerged macrophytes from the period 2004-2009 with the period 2016-2021 shows a big difference between the two periods. For lake types 9 and 10, the plant-covered area has increased, for type 9 the plant-filled volume has increased, while for type 9 and 10 and the lakes as a whole there has been an increase in the depth boundary. Between the last two six-year periods, no changes have occurred for any of the parameters used.

Fish
With regard to fish, the largest number and the largest biomass are generally found in the shallow, fresh, high alkaline lake type (lake type 9), where the median value was 151 fish caught per net and 4.4 kg per net. This is somewhat higher than for the corresponding deep lake type (lake type 10), which presumably reflects the lower nutrient level in the deep lakes.

There are no clear development trends in the fish communities between the two most recent study periods (2010-2015 and 2016-2021). If the two periods 2004-2009 and 2016-2021 are compared, the changes are slightly more significant. In lake type 9, there has been a significant reduction of both the weight of fish caught in the survey nets, the proportion of cyprinids and the average individual biomass. The latter two also apply to the lakes as a whole.

Surveillance monitoring of lake development

The 18 KU lakes included in the monitoring of development, most of which have been followed since 1989, cover a broad spectrum, both in terms of size and depth and the concentrations of nutrients.

Phytoplankton

It is now possible to assess the development since 1989. In general, both the total biovolume and phytoplankton composition vary considerably from year

to year in many of the lakes – it is not unusual to have a difference of a factor of 5 or more in biovolume within a few years. In some lakes, also a change in biovolume seems to have occurred in the monitoring period.

Statistical tests for the 16 lakes, on which sufficient data are available, show that the total biovolume has decreased significantly in five of the 16 lakes and increased in one. If looking only at the past 20 years, there is a significant reduction in three lakes. In the majority of the lakes, no significant changes have occurred either throughout the entire monitoring period (1989-2021) or in the past 20 years. The phytoplankton groups, which have changed in most lakes, are dinoflagellates, which have increased significantly in six lakes and decreased significantly in three lakes, and blue-green algae, which have increased in three lakes and decreased in four lakes.

Mass balances

In ten of the KU lakes with well-defined water balances, it is possible to quantify nutrient balances and source apportionment. Compared to previously, an improved calculation of the water balance has been used as well as updated estimates for scattered dwellings. This update generally led to a reduction of the contribution from scattered dwellings, which decreases the flow-weighted concentrations of nitrogen and phosphorus in the water flowing to the lakes from point sources.

Especially for phosphorus, the most pronounced changes in the nutrient input to the lakes were found in the beginning of the monitoring period. The relative nutrient retention in the lakes demonstrates great variations and generally no significant changes. However, there is a minor phosphorus retention in the beginning of the period (1990-1994), which is attributed to a response to the release of a historical pool of phosphorus. There is an inverse trend for nitrogen, where the retention is greatest in the start of the period.

Environmentally hazardous substances

Sediment

In the period 2010-2021, studies were conducted of environmentally hazardous substances in lake sediment within the following groups: metals, aromatic hydrocarbons, phenols, polyaromatic hydrocarbons (PAH), plasticizers, organotine compounds and pesticides. Samples were taken in 85 lakes in the surveillance monitoring and 240 lakes in the operational monitoring. In most lakes, all metals, aromatic hydrocarbons and PAH were found above the detection limit, which also applies to some of the plasticizers (DEHP and diisononylphthalate) and monobutyltin. The rest of the substances were only found in a minority of the lakes. Among the substances for which environmental quality standards have been set (MKK) for sediment, concentrations higher than MKK were detected for the following: lead (12 lakes), vanadium (22 lakes), the sum of the methylnaphtalenes (49 lakes), naphtalene (13 lakes), nonylphenols (1 lake) and anthracene (115 lakes). There is generally no difference in concentration levels between the results from the surveillance monitoring and the operational monitoring.

When comparing the substance concentrations between 2010-2015 and 2016-2021, a significant difference was seen for zinc, monobutyltin and acenaphtene, where the values were highest in the last period, while the opposite was

the case for the substances 4-tert-octylphenol, nonylphenol-mono-ethoxylate and acenaphtylene.

Water

In the years 2012 and 2020, monthly samples were taken of 21 pesticides in the water of eight lakes in the operational monitoring. Nine of the substances were not found above the detection limit in any of the samples. Glyphosate and its degradation product AMPA, 2.6-dichlorbenzamide (BAM) and trichloracetic ACID (TCA) were the most frequently occurring substances, being found in 22-61% of the samples. Environmental quality standards have been set for nine of the pesticides studied, and no cases of concentrations higher than the environmental quality standards were recorded.

Climate and runoff

For Denmark as a whole, the average temperature of 2021 was 8.7 ^{o} C, which was the same temperature as the average for the period 1990-2020. January and February were colder in 2021 than the average, while June and July were warmer. Global radiation in 2021 was also the same as the average for the period 1990-2020. The average annual wind speed for Denmark as a whole in 2021 was 4.3 m/s, which is lower than the average for the period 1990-2020 (4.9 m/s).

In 2021, precipitation was 744 mm, which is also at the same level as the average for the period 1990-2020 (762 mm). There were major variations during the year, and in May 2021 precipitation was almost twice as high (107 mm) than the average for the period 1990-2020. February, April and June 2021 were, on the other hand, rather dry compared to the average for 1990-2020. The rest of the year, precipitation was more normal, apart from a relatively wet October and a dry November. The area-specific freshwater run-off in 2021 was 304 mm, which is 6% lower than the average for the period 1990-2020 (324 mm).

1 Undersøgelsesprogrammet

1.1 Historik

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

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

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

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

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 ha-

bitatdirektivet (Den Europæiske Union 1992). Samtidig overgik overvågningen af naturtyper i søer og arter tilknyttet søer fra programmet for overvågning af arter og natur til søprogrammet.

Fra og med 2011 trådte en ny seksårig NOVANA-periode i kraft, som er videreført i NOVANA-perioden 2016-2021, hvis programindhold opsummeres herunder. Fra 2022 påbegyndtes en ny programperiode, som videreføres i 2023-2027 med væsentlige ændringer i forhold til perioden til og med 2021.

1.2 Direktiver i overvågningen og afrapportering

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

Kontrolovervågningen har til formål at "dokumentere søernes tilstand og den generelle udvikling, herunder de klimatisk relaterede og de menneskeskabte ændringer". Kontrolovervågningen skal endvidere give et generelt billede af tilstand og udvikling af de enkelte sønaturtyper. Kontrolovervågning af arter i søer skal danne baggrund for en vurdering af bevaringsstatus på landsplan af de plante- og dyrearter, som indgår i bilag II og IV i habitatdirektivet (de såkaldte "habitatarter")" (Miljøstyrelsen 2017). Kontrolovervågningen i henhold til vandrammedirektivet omfatter hovedsageligt søer >5 ha (198 stk.), mens kontrolovervågningen i henhold til habitatdirektivet udelukkende omfatter søer <5 ha (420 stk.).

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

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

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

1.3 Parametre i overvågningen

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

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

Søernes bufferkapacitet og forsuringsstatus 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 søtype jf. vandrammedirektivet (se afsnit 1.4).

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

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

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

Til beskrivelse af bevaringsstatus og udbredelse og for at opnå et tilstrækkeligt videngrundlag for søerne i forhold til naturplanerne foretages der 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 1.5-1.7 gives en kort beskrivelse af de enkelte overvågningstyper i søerne. En komplet beskrivelse af overvågningsprogrammet for søer i NOVANA 2017-2021 findes i Miljøstyrelsen (2017).

1.4 Fejlanalyser af totalkvælstof og totalfosfor

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

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

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

1.5 Søtyper i henhold til vandrammedirektivet

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

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

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

1.6 Kontrolovervågning

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

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

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

Kontrolovervågning	Antal søer pr. år (gennemsnit)	Antal søer i en seksårig periode
Økologisk og kemisk tilstand		
Tilstand (søer >5 ha)	30	180
Udvikling (søer >5 ha)	9	18[1)]
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 vegetation og fytobenthos (repræsenteret ved bentiske kiselalger) og hvert sjette år for bunddyr, fytoplankton, fisk og sediment.

Tabel 1.3. Oversigt over antallet af søer >5 ha i kontrolovervågningen af henholdsvis udvikling (KU-søer) og tilstand (KT-søer) i en seksårig overvågningsperiode med 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. Disse tre søer indgår ikke i alle analyser af den generelle udvikling i denne rapport pga. afbrudt tidsserie eller uensartet prøvetagning.

De fysiske og kemiske undersøgelser omfatter i alt 17 vandkemiske og fysiske parametre (se den fulde liste i Miljøstyrelsen 2017). 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 næringsstofdynamikken beskrives detaljeret. De enkelte søers sediment undersøges for totalfosfor, totaljern, tørstof og glødetab hvert sjette år, vegetation og fytobenthos (repræsenteret ved bentiske kiselalger) undersøges hvert tredje år, mens planteplankton (12 prøver pr. år), fisk og bunddyr undersøges hvert sjette år. Miljøfarlige forurenende stoffer (se Miljøstyrelsen 2017) undersøges i KU-søer i sediment og biota (fisk) hvert sjette år.

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

De intensive målinger i KU-søerne giver grundlag for at udarbejde en detaljeret beskrivelse af de enkelte søers økosystem, således at 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 (1989-2021). Mange af dem er undersøgt 7-8 gange eller mere, hvilket gør det muligt at beskrive udviklingen i hver af disse søer med statistisk sikkerhed.

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

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

Kontrolovervågning af habitatnaturtyper i søer

Søer <5 ha

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

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

De målte parametre i kontrolovervågningen af naturtypesøerne <5 ha omfatter kemiske parametre, 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).

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

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

Søer >5 ha

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

1.7 Operationel overvågning, 659 OP-søer

For at tilvejebringe data til brug ved vurdering af tilstanden i søer, der er i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet, og for at opnå datagrundlag til at vurdere den nødvendige indsats er der hvert år i perioden 2016-2021 foretaget undersøgelser af vandkemi i 95 søer, vegetation i 50 søer og fisk i 11 søer (antallet af søer pr. år er gennemsnitligt, og nogle søer er undersøgt to gange i perioden) alle over 5 ha. En del af disse søer er også inkluderet i kontrolovervågningen. Derudover overvåges i gennemsnit pr. år 25 småsøer med et areal på 1-5 ha, hvor vandkemi og vegetation undersøges. Søerne i den operationelle overvågning er udpeget af MST.

Søerne er udvalgt efter følgende kriterier (Miljøstyrelsen, 2017):

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

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

1.8 Kortlægning af habitatnaturtyper i søer

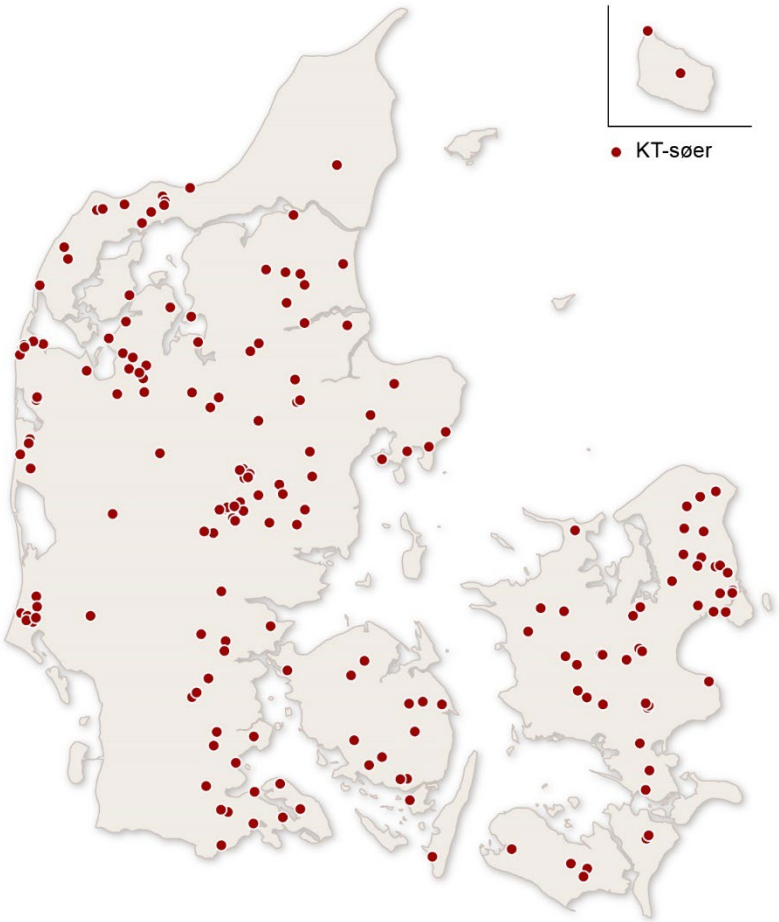
For at sikre et tilstrækkeligt videngrundlag for søerne i forhold til naturplanerne skal der, i henhold til Habitatdirektivet, foretages en kortlægning (dvs. fastlæggelse af naturtype og indsamling af data til tilstandsvurdering) af naturtyper. Gennemsnitligt kortlægges ca. 500 vandhuller og småsøer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

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

2 Kontrolovervågning af søernes tilstand

2.1 Generel karakteristik

Overvågning af de danske søers generelle økologiske og kemiske tilstand omfatter i alt 180 søer (KT-søer) >5 ha, der overvåges over en seksårig periode. Den indeværende overvågningsperiode omfatter årene 2016-2021, og i dette afsnit gives en overordnet status for alle 180 KT-søer med resultater for udvalgte kemiske og biologiske parametre fra den seneste undersøgelse i hver sø. Figur 2.1 viser placeringen af de 180 søer. Præsentationen af data omfatter undersøgelser af vandkemi, fytoplankton, vandplanter og fisk. Det bemærkes, at totalfosforanalyser foretaget i årene fra 2007 til første kvartal 2017 kan være fejlbehæftede, og koncentrationerne kan dermed være underestimerede (se afsnit 1.3). Ud over beskrivelsen af resultater opnået i 2016-2021 gives der et overblik over udviklingen i vandkemiske og fysiske nøgleparametre i den del af KT-søerne, for hvilke der findes et tilstrækkeligt datagrundlag. Endvidere er der foretaget en overordnet sammenligning mellem perioderne 2004-2009, 2010-2015 og 2016-2021 af kemiske og biologiske nøgleparametre.



Figur 2.1. Geografisk placering af de 180 KT-søer.

2.2 Generel tilstand

I tabel 2.1 er der givet en samlet oversigt over udvalgte morfometriske, kemiske/fysiske og biologiske parametre for de 180 KT-søer. Søernes areal spænder fra en nedre grænse på 5 ha op til 1730 ha. Størstedelen er lavvandede søer (medianen for middeldybde er 1,6 m og gennemsnittet 2,4 m), men også dybe søer med en maksimumdybde på op til 30,9 m forekommer. De fleste søer er ferske, men blandt KT-søerne findes også brakvandssøer med ledningsevne op til næsten 4.000 mS/m, svarende til en salinitet på knap 20 ‰. Flertallet af søerne har et forholdsvis højt klorofylindhold (median af sommergennemsnit er 35 µg/L) og en relativt lav sigtdybde (median af sommergennemsnit er 1,1 m).

Fytoplanktons biovolumen udgør et gennemsnit på ca. 17 mm^3/L, mens halvdelen af søerne har et biovolumen på ca. 9 mm^3/L (medianværdien) eller derunder. Som helhed spænder værdierne mellem 0,09 og 306 mm^3/L.

Som gennemsnit har undervandsplanterne en dækningsgrad på ca. 20 % og et plantefyldt volumen på 8,5 %. Halvdelen af søerne har en dækningsgrad på 11,5 % eller derunder, men det dækker over søer, hvor der ingen undervandsplanter er (dækningsgrad = 0), til søer, hvor søbunden er stort set totalt dækket af planter (dækningsgrad = 87 %) (tabel 2.1). Den gennemsnitlige dybdegrænse for undervandsplanterne er 2,4 m. Det skal bemærkes, at denne dybdegrænse kan være påvirket af søens dybde, dvs. dybdegrænsen er i nogle søer begrænset af søens totaldybde.

Tabel 2.1. Oversigt over morfometriske samt vandkemiske og biologiske nøgleparametre (sommerværdier) for samtlige 180 KT-søer i perioden 2016-2021. I 16 af søerne findes der ikke undervandsplanter. Disse søer indgår ikke i resultater for vegetationens dybdegrænse.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Søareal (ha)	96,1	21,8	5	1730	180
Middeldybde (m)	2,4	1,6	0,3	13,7	180
Maksimumdybde (m)	5,3	3,0	0,7	30,9	180
Totalfosfor (mg/L)	0,166	0,085	0,007	1,800	180
Totalkvælstof (mg/L)	1,70	1,45	0,34	5,58	180
Klorofyl *a* (µg/L)	58	35	1	389	180
Sigtdybde (m)	1,4	1,1	0,2	5,7	179[3)]
Alkalinitet (mmol/L)	2,11	2,23	0,003	4,95	179[3)]
Farvetal (mg Pt/L)	43	25	2	606	179[3)]
Konduktivitet (mS/m)	170	41	5	3908	179[3)]
Fytoplankton, biovolumen (mm^3/L)	17,4	8,7	0,09	306	180
Undervandsplanter, dækningsgrad (%)	20,1	11,5	0	86,9	180
Undervandsplanter, plantefyldt vol. (%)	8,5	2,0	0	64,3	178[1)]
Undervandsplanter, dybdegrænse (m)	2,4	1,9	0,3	11,1	164[2)]
Fisk, CPUE-antal (antal/net)	134	102	0	677	180
Fisk, CPUE-vægt (kg/net)	3,6	3,3	0	16,1	180

[1)]For to søer var det ikke muligt at beregne RPV. [2)]Søer uden planter indgår ikke.[3)] For en enkelt sø var datagrundlaget ikke tilstrækkeligt til at beregne statistiske værdier for alle parametre.

2.3 Vandkemi

Vandkemi, status

I tabel 2.2 er en oversigt over næringsstofindhold (totalfosfor og totalkvælstof), klorofyl *a* og sigtdybde i KT-søerne inddelt efter de søtyper, der anvendes i Danmark i forbindelse med vandrammedirektivets implementering (se også kapitel 1). En del af søtyperne er kun repræsenteret ved ganske få søer (f.eks. 1-2 søer af søtyperne 2, 6 og 15, se tabel 1.1 for søtyper), og det er derfor ikke muligt at give en generel vurdering af disse søtyper.

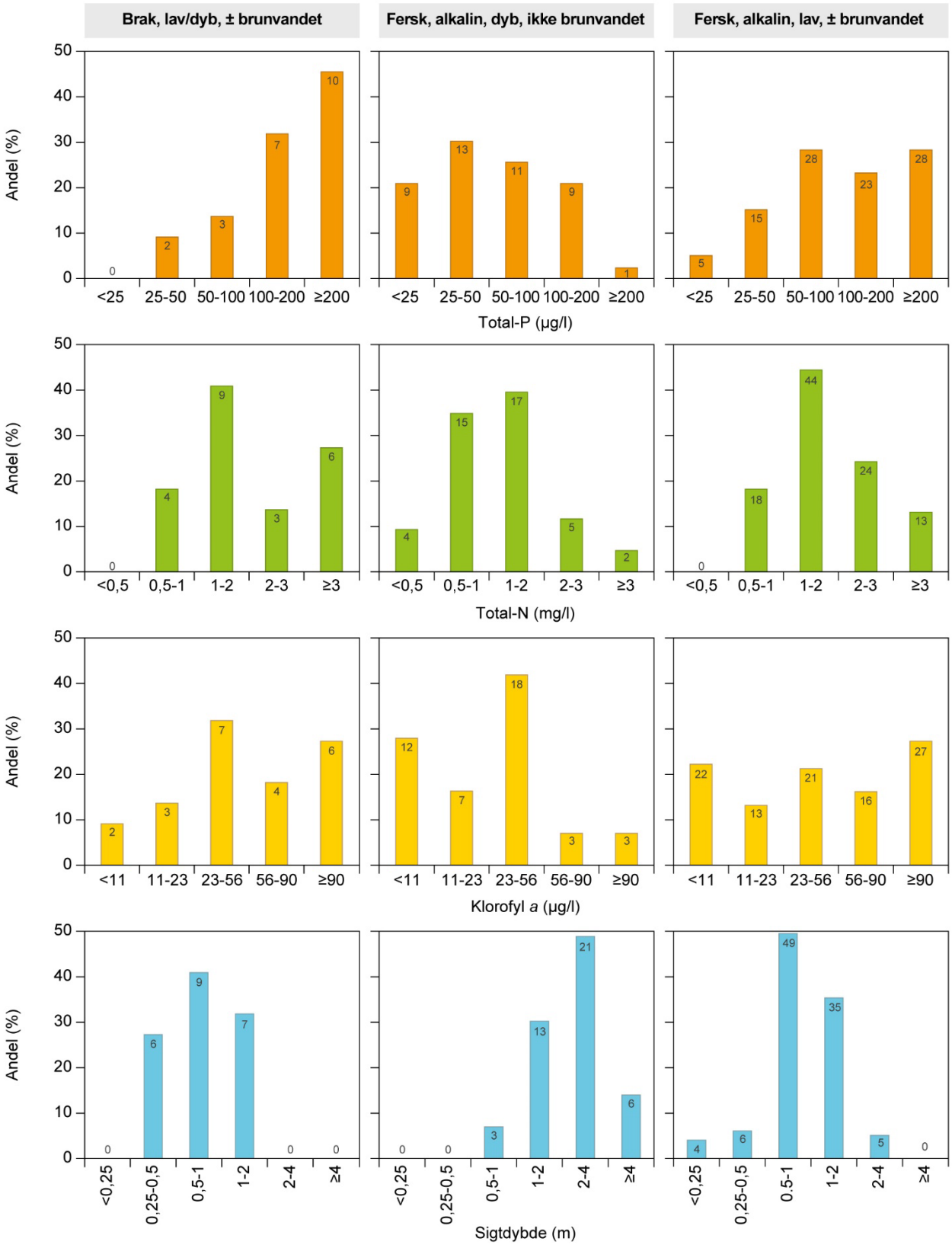
Tabel 2.2. Oversigt over sigtdybde og vandkemiske data fra de 180 KT-søer (sommerværdier) fordelt på ni søtyper (se tabel 1.1 for beskrivelser af de forskellige søtyper), som er undersøgt i perioden 2016-2021. Hvis der er data for flere år, indgår søen kun med det seneste års målinger.

	Totalfosfor (mg P/L)					Totalkvælstof (mg N/L)				
Søtype	**Gns.**	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**N**	**Gns.**	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**N**
1	0,028	0,026	0,011	0,041	6	0,67	0,60	0,56	0,84	6
2	0,024	0,024	0,015	0,032	2	0,52	0,52	0,37	0,68	2
5	0,110	0,103	0,020	0,289	7	1,45	1,57	0,71	2,36	7
6	0,015	0,015	0,015	0,015	1	0,61	0,61	0,61	0,61	1
9	0,180	0,109	0,022	0,956	89	1,86	1,68	0,54	5,33	89
10	0,071	0,050	0,007	0,333	43	1,28	1,04	0,34	4,03	43
11	0,285	0,169	0,030	1,567	20	2,16	1,76	0,73	5,03	20
13	0,349	0,098	0,023	1,800	10	2,12	1,69	0,91	5,58	10
15	0,354	0,354	0,045	0,663	2	2,86	2,86	0,83	4,90	2
	Klorofyl *a* (µg/L)					**Sigtdybde (m)**				
	Gns.	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**N**	**Gns.**	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**N**
1	11	11	1	19	6	2,1	1,8	0,8	4,2	6
2	10	10	6	14	2	4,0	4,0	2,3	5,7	2
5	73	67	5	181	7	0,7	0,6	0,3	1,4	7
6	9	9	9	9	1	2,1	2,1	2,1	2,1	1
9	67	44	2	389	89	1,1	0,9	0,2	3,0	88
10	31	23	4	125	43	2,6	2,1	0,8	5,4	43
11	76	51	3	308	20	0,8	0,8	0,3	1,9	20
13	84	16	3	333	10	0,7	0,6	0,2	1,7	10
15	126	126	12	241	2	0,8	0,8	0,4	1,3	2

Blandt de fire mest almindelige søtyper (søtype 9, 10, 11 og 13) er søtype 11 (kalkrig, ikke-brunvandet, lavvandet og saltholdig) den mest næringsrige med en medianfosforkoncentration på 0,169 mg/L og en mediankvælstofkoncentration på 1,76 mg/L. Det er også i søtype 11, at de højeste medianværdier af klorofyl *a* ses (51 µg/L). I søtype 13 (brunvandet søtype) måles de laveste sigtdybder (medianværdi er på 0,8 m). Det skal understreges, at en sigtdybde i lavvandede søer (f.eks. type 9) skal ses i sammenhæng med søens dybde, da en angiven sigtdybde kan være begrænset af denne og dermed ikke altid sammenlignelig med sigtdybden i dybere søer. Den mest næringsfattige blandt de fire hyppigst forekommende søtyper er søtype 10 (kalkrig, ikke-brunvandet, fersk og dyb), hvor medianfosforkoncentrationen er på 0,050 mg/L, og mediankvælstofkoncentrationen er 1,04 mg/L.

Figur 2.2 viser KT-søernes fordeling på fem kategorier af næringsstofkoncentrationer og klorofylindhold og seks kategorier af sigtdybde (i alle tilfælde sommergennemsnit). For at koncentrere datamængden er de mest almindelige søtyper delt ind i tre søtypegrupper: brakke, kalkrige og lavvandede søer

(søtype 11 og 15), ferske, kalkrige, dybe, ikke-brunvandede søer (søtype 10) og ferske, kalkrige, lavvandede søer (søtype 9 og 13). De kalkfattige (lavalkaline) søer (type 1, 2, 5 og 6) er dermed udeladt i denne figur. Også her fremgår det, at de brakke søer generelt er de mest næringsrige, hvor næsten alle søer har et højt indhold af totalfosfor (20 ud af 22 har et fosforindhold over 0,05 mg/L) og klorofyl *a* (17 ud af 22 søer har et klorofylindhold over 23 µg/L). Derimod er gruppen af de dybe, kalkrige søer generelt de mindst næringsrige med et lavere indhold af klorofyl *a* og en større sigtdybde (vær dog opmærksom på, at sigtdybden kan være begrænset af søens dybde i de øvrige to grupper). Blandt de lavvandede, kalkrige søer er der relativt mange i de højeste fosfor- og klorofylkategorier, men for kvælstofkoncentrationer og sigtdybde er der flest søer i midten af spektret.



Figur 2.2. Den procentuelle fordeling af søer opdelt i tre søtypegrupper: brakke (søtype 11 og 15), ferske, alkaline, dybe (søtype 10) og ferske, alkaline, lavvandede (søtype 9 og 13) – se også tekst. Inden for hver søtypegruppe er søerne fordelt på fem kategorier (tidsvægtede sommergennemsnit) af totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl *a* og seks kategorier for sigtdybde. Tallet i de enkelte søjler angiver det absolutte antal af søer i hver kategori.

Vandkemi, udviklingstendenser

I mange af KT-søerne er der, siden overvågningsprogrammet påbegyndtes, nu opnået så lange tidsserier, at det er muligt at vurdere og teste udviklingstendenser for de enkelte søer. I henhold til den statistiske test (Mann-Kendall, se bilag 1), der anvendes, skal der normalt foreligge data fra mindst otte år, for at denne vurdering kan foretages. For perioden 1989-2021 opfylder 71 KT-søer dette kriterium for totalfosfor, totalkvælstof, sigtdybde og klorofyl *a*. Vurderes udviklingen alene over de seneste 20 år (2002-2021), opfylder kun 13 søer kriteriet. Resultaterne af disse analyser kan ses i tabel 2.3 og 2.4. Hovedparten af søerne med lange tidsserier udgøres af søtype 9 og søtype 10.

I 37-41 søer af de 71 KT-søer med lange tidsserier ses statistisk signifikante ændringer på 0,1-10 % signifikansniveau for perioden 1989-2021 i indholdet af næringsstoffer, klorofyl og sigtdybde. I langt de fleste tilfælde er der tale om positive ændringer forstået sådan, at næringsstof- og klorofylindhold er reduceret, mens sigtdybden er øget (tabel 2.3 og 2.4 og figur 2.3). Indholdet af totalfosfor er således reduceret i 38 søer og kun øget i én sø, mens indholdet af totalkvælstof er reduceret i 34 og øget i tre søer. I overensstemmelse hermed er klorofylindholdet reduceret i 37 søer og øget i tre søer, mens sigtdybden er øget i 38 søer og mindsket i tre søer. Set over hele overvågningsperioden er der således generelt tale om signifikante ændringer i over halvdelen af søerne og i næsten alle tilfælde i positiv retning, dvs. mindsket koncentration af næringsstoffer og klorofyl samt øget sigtdybde.

Hvis der kun ses på udviklingen i de seneste 20 år, er der langt færre søer med signifikante ændringer. Dette skyldes først og fremmest, at der er langt færre søer, hvorfra der er data fra nok år til at teste udviklingen vha. den valgte metode. De fleste KT-søer er kun undersøgt hvert sjette år, så det bliver vanskeligere at se udviklingstendenser over kortere perioder. Hvis der kun indsamles data hvert sjette år, vil det således kræve 48 år, og hvis der indsamles data hvert tredje år, vil det kræve 24 år at teste for udviklingstendenser med denne metode. Blandt de 13 søer, hvorfra der er mindst otte års data, er der i det fleste tilfælde tale om en positiv udvikling, forstået på den måde, at næringsstof- og klorofylindhold er reduceret, mens sigtdybden er øget. Således er indholdet af totalfosfor reduceret i otte af de 13 søer, men kun øget i én. Indholdet af totalkvælstof er reduceret i tre og ikke øget i nogen. For indholdet af klorofyl er der tale om signifikant mindskede koncentrationer i seks søer og ingen med øget indhold, mens sigtdybden er øget i fire og mindsket i én sø.

De procentvise andele af søer, hvor totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* og sigtdybde er henholdsvis reduceret, uændret eller forøget for de to perioder 1989-2021 og 2002-2021, ses i figur 2.3.

Tabel 2.3. Udviklingen (sommergennemsnit) i indholdet af totalfosfor og totalkvælstof i perioden 1989-2021 samt for perioden 2002-2021 i de KT-søer, som er undersøgt i mindst otte år og testet ved Mann Kendall. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. Testen her er altså ud over det normalt anvendte signifikansniveau på 5 % eller derunder også vurderet med et signifikansniveau på 10 %. Hvis der ikke har været nogen signifikant ændring, er det angivet med et 0. Type angiver søtype anvendt i vandområdeplanerne (jf. tabel 1.1). Antal år angiver, hvor mange år der er data fra. For enkelte søer mangler den ene parameter i et enkelt år. Hvis antallet af år ikke er angivet, er er antallet <8.

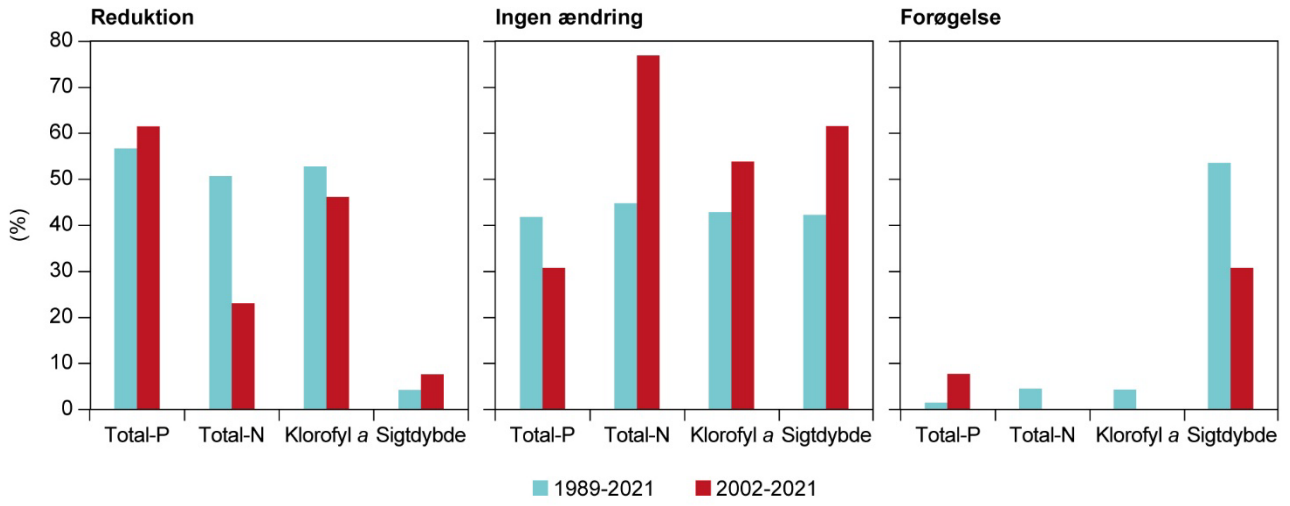
Sønr.	Sønavn	Type	Antal år 1989-2021	Total-fosfor	Total-kvælstof	Antal år 2002-2021	Total-fosfor	Total-kvælstof
1200003	Legind Sø	9	9	0	0			
1400006	Madum Sø	1	12	0	+			
1500013	Udbyover Sø	9	14	0	0			
1600002	Ferring Sø	11	18	- -	0			
1600006	Kilen	11	15	- - -	- -			
1600037	Skør Sø	1	9	0	+			
1800014	Klejtrup Sø	9	10	0	0			
1800016	Hærup Sø	9	8	0	0			
1800018	Fussing Sø	10	9	- -	0			
2000026	Stubbergård Sø	9	8	0	0			
2100016	Lyngsø	9	9	- - -	- - -			
2100264	Karl Sø	9	9	0	- -			
2100276	Torup Sø	10	19	0	- - -	9	-	- -
2100280	Brassø	10	8	- - -	-			
2100282	Hald Sø	10	24	- - - -	0	11	- -	0
2101053	Vedsø Nonbo	10	9	- - -	- -			
2101054	Vedsø Rindsholm	10	8	- - -	-			
2100293	Ørnsø	10	18	- - - -	- - - -			
2100326	Hylke Sø	10	8	0	- -			
2200016	Byn	13	8	0	0			
2300013	Tillerup Sø	9	9	0	-			
2500020	Hampensø	10	8	- -	0			
2500039	Rørbæk Sø	10	18	- - - -	- - - -			
2500043	Nørresø, v/Ringkøbing	9	9	0	- -			
2600013	Lading Sø	9	12	0	0			
3000001	Fåresøen	5						
3000005	Holm Sø	1	23	0	0	10	-	0
3000088	Ål Præstesø	1	9	0	-			
3200005	Fårup Sø	10	20	-	- - - -			
3300004	Randsfjord	9	8	0	0			
3400006	Dons Nørresø	9	15	- - -	- - -			
3400010	Skærsø	9	17	- -	- -			
3600005	Søgård Sø, Jylland	9	23	- - - -	- - - -	10	0	0
3700016	Rygbjerg Sø	10	9	0	0			
3700017	Stevning Dam	9	8	- - -	0			
3800005	Jels Nedersø	10	7-8	0	0			
3800006	Jels Oversø	9	13	- -	- - -			
4100003	Kettingnor	11	12-13	-	-			
4100006	Nordborg Sø	10	7	-	0			
4100008	Varnæs Skovsø	11	7	0	0			
4200001	Hostrup Sø	9	11	- -	0			
4400002	Fjellerup Sø	9	8	0	0			
4400005	Hjulby Sø	9	7	0	-			
4500006	Dallund Sø	9	14	-	-			

4500007	Langesø	10	18	- - - -	- - - -	8	0	-
4500008	Nørresø, Fyn	9	16	+ +	0	8	+ + +	0
4600005	Søbo Sø, Fyn	10	15	0	0			
4700008	Hvidkilde Sø	9	15	0	0			
4700011	Ollerup Sø	9	8	0	-			
4800003	Gurre Sø	9	9	0	0			
5000001	Bagsværd Sø	9	23	- - - -	- - - -	10	- -	0
5000025	Bastrup Sø	10	18	0	0			
5000026	Lyngby Sø	9	10	- -	0			
5200005	Østrup-Gundsømagle Sø	9	23	- - - -	- - - -	10	- - -	- -
5200013	Sønder Sø	10	17	- - - -	- -			
5300018	Damhussøen	9	24-25	- -	0	12-13	0	0
5300025	Peblingesø	9	25	- - - -	- - -	15	- - - -	0
5300027	Skt. Jørgens Sø sydbassin	10	20-21	- - -	- - -	13-14	0	0
5300036	Gentofte Sø	9	8	- - -	0			
5300041	Vallensbæk Sø	9	8	0	- -			
5500002	Tissø	10	25	-	- -	12	- -	0
5700020	Tystrup Sø	10	16	- - -	- -			
5800001	Borup Sø	9	20	- - - -	- - - -			
5800004	Kimmerslev Sø	10	9	- -	- - -			
6000010	Hulemose Sø	9	9	-	0			
6100001	Virket Sø	10	10	- - -	- -			
6100002	Mølle Sø	10	9	0	+ +			
6200002	Nakskov Indrefjord	11	9	- - -	0			
6400001	Hejrede Sø	9	19	- - - -	0			
6400003	Røgbølle Sø	9	14	- - - -	0			
6400004	Maribo Søndersø	9	22	0	- -	9	- -	0
I alt +/++/+++/++++				1	3		1	0
I alt -/--/---/----				39	34		8	3

Tabel 2.4. Udviklingen (sommergennemsnit) i indholdet af klorofyl *a* og sigtdybde i perioden 1989-2020 samt for perioden 2000-2020 i de KT-søer, som er undersøgt i mindst otte år. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. Testen her er altså ud over det normalt anvendte signifikansniveau på 5 % eller derunder også vurderet med et signifikansniveau på 10 %. Hvis der ikke har været nogen signifikant ændring, er det angivet med et 0. Type angiver søtype anvendt i vandområdeplanerne (jf. tabel 1.1). Antal år angiver, hvor mange år der er data fra. For enkelte søer mangler den ene parameter et-tre år. Hvis antallet af år ikke er angivet, er antallet <8.

Sønr.	Sønavn	Type	Antal år 1989-2021	Klorofyl	Sigtdybde	Antal år 2002-2021	Klorofyl	Sigtdybde
1200003	Legind Sø	9	9	0	0			
1400006	Madum Sø	1	12	0	- -			
1500013	Udbyover Sø	9	11-14	-	0			
1600002	Ferring Sø	11	17-18	- -	0			
1600006	Kilen	11	15	- -	+ + + +			
1600037	Skør Sø	1	9	0	0			
1800014	Klejtrup Sø	9	10	0	0			
1800016	Hærup Sø	9	8	- -	+ + +			
1800018	Fussing Sø	10	9	- - -	0			
2000026	Stubbergård Sø	9	8	0	0			
2100016	Lyngsø	9	9	0	0			
2100264	Karl Sø	9	9	0	0			
2100276	Torup Sø	10	18-19	0	0	9	0	+ +
2100280	Brassø	10	8	- -	+ +			
2100282	Hald Sø	10	24	- - - -	+ +	11	- -	0
2101053	Vedsø Nonbo	10	9	- -	+ +			
2101054	Vedsø Rindsholm	10	8	- - -	+ + +			
2100293	Ørnsø	10	18	- -	0			
2100326	Hylke Sø	10	8	- -	0			
2200016	Byn	13	8	0	0			
2300013	Tillerup Sø	9	8-9	+	+			
2500020	Hampensø	10	8	- -	+			
2500039	Rørbæk Sø	10	18	- - - -	+ +			
2500043	Nørresø, v/Ringkøbing	9	9	0	+			
2600013	Lading Sø	9	12	0	+ +			
3000001	Fåresøen	5	8		- -			
3000005	Holm Sø	1	21-23	- - -	0	10	0	- -
3000088	Ål Præstesø	1	9-10	- - -	+ +			
3200005	Fårup Sø	10	20	- - -	+ + + +			
3300004	Randsfjord	9	8	0	+			
3400006	Dons Nørresø	9	15	- - - -	+ + +			
3400010	Skærsø	9	16-17	-	0			
3600005	Søgård Sø, Jylland	9	23	- - - -	+ + + +	10	0	0
3700016	Rygbjerg Sø	10	10	0	0			
3700017	Stevning Dam	9	8	0	+			
3800005	Jels Nedersø	10	8-9	+	- -			
3800006	Jels Oversø	9	13	- -	+ +			
4100003	Kettingnor	11	12-14	0	+ +			
4100006	Nordborg Sø	10	8	0	0			
4100008	Varnæs Skovsø	11	8	0	0			
4200001	Hostrup Sø	9	11	0	0			
4400002	Fjellerup Sø	9	11	0	0			
4400005	Hjulby Sø	9	9	- -	0			
4500006	Dallund Sø	9	16	-	+			
4500007	Langesø	10	18	0	+ + + +	8	- -	0
4500008	Nørresø, Fyn	9	19	0	+ + + +	8	0	0
4600005	Søbo Sø, Fyn	10	19	+	+ +			

4700008	Hvidkilde Sø	9	19	0	++			
4700011	Ollerup Sø	9	11	--	++			
4800003	Gurre Sø	9	9	0	0			
5000001	Bagsværd Sø	9	23	---	+++	10	0	++
5000025	Bastrup Sø	10	18	-	++			
5000026	Lyngby Sø	9	10	0	0			
5200005	Østrup-Gundsømagle Sø	9	23	----	++++	10	--	+
5200013	Sønder Sø	10	17	----	+++			
5300018	Damhussøen	9	23-25	0	0	11-13	0	0
5300025	Peblingesø	9	26	----	++++	15-16	---	+
5300027	Skt. Jørgens Sø Syd-Bassin	10	19-21	--	+++	12-14	0	0
5300036	Gentofte Sø	9	8	0	0			
5300041	Vallensbæk Sø	9	8	-	0			
5500002	Tissø	10	25	--	++++	12	-	0
5700020	Tystrup Sø	10	16	0	0			
5800001	Borup Sø	9	20	----	++++			
5800004	Kimmerslev Sø	10	9	-	++			
6000010	Hulemose Sø	9	9	0	+			
6100001	Virket Sø	10	10	-	0			
6100002	Mølle Sø	10	9	0	0			
6200002	Nakskov Indrefjord	11	9	0	0			
6400001	Hejrede Sø	9	19	----	++++			
6400003	Røgbøllesø	9	14	--	+			
6400004	Maribo Søndersø	9	22	----	++++	9	--	0
I alt +/++/+++/++++				3	38		0	4
I alt -/--/---/----				37	3		6	1



Figur 2.3. Den procentvise andel af KT-søer med mindst otte års data, hvor indholdet af totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl *a* samt sigtdybde statistisk set er reduceret, uændret eller øget (10 % signifikansniveau). Der er vist data, som omfatter henholdsvis perioden 1989-2021 (i alt 71 søer) og perioden 2002-2021 (i alt 13 søer).

Resultaterne beskrevet ovenfor indikerer, som det også er vist tidligere for KU-søerne (f.eks. Johansson m.fl. 2020), at de største ændringer i søernes tilstand er sket i løbet af 1990'erne. For at vurdere, hvordan den overordnede udvikling har været inden for den seneste 12-årsperiode, er de samlede resultater i KT-søerne for den seneste seksårige periode (2016-2021) sammenlignet med den forrige seksårsperiode (2010-2015). Langt størstedelen af KT-søerne er undersøgt for vandkemiske parametre og sigtdybde i begge perioder. Der er testet for signifikante ændringer for alle søer tilsammen og

for de enkelte søtyper for de fire parametre (totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* og sigtdybde), og resultaterne ses i figur 2.4 og tabel 2.5. Til test af forskellene er der, hvis data er normalfordelt, anvendt parret t-test, og hvis de ikke er normalfordelt, er Wilcoxon signed rank test anvendt. Se bilag 1 for nærmere beskrivelse.

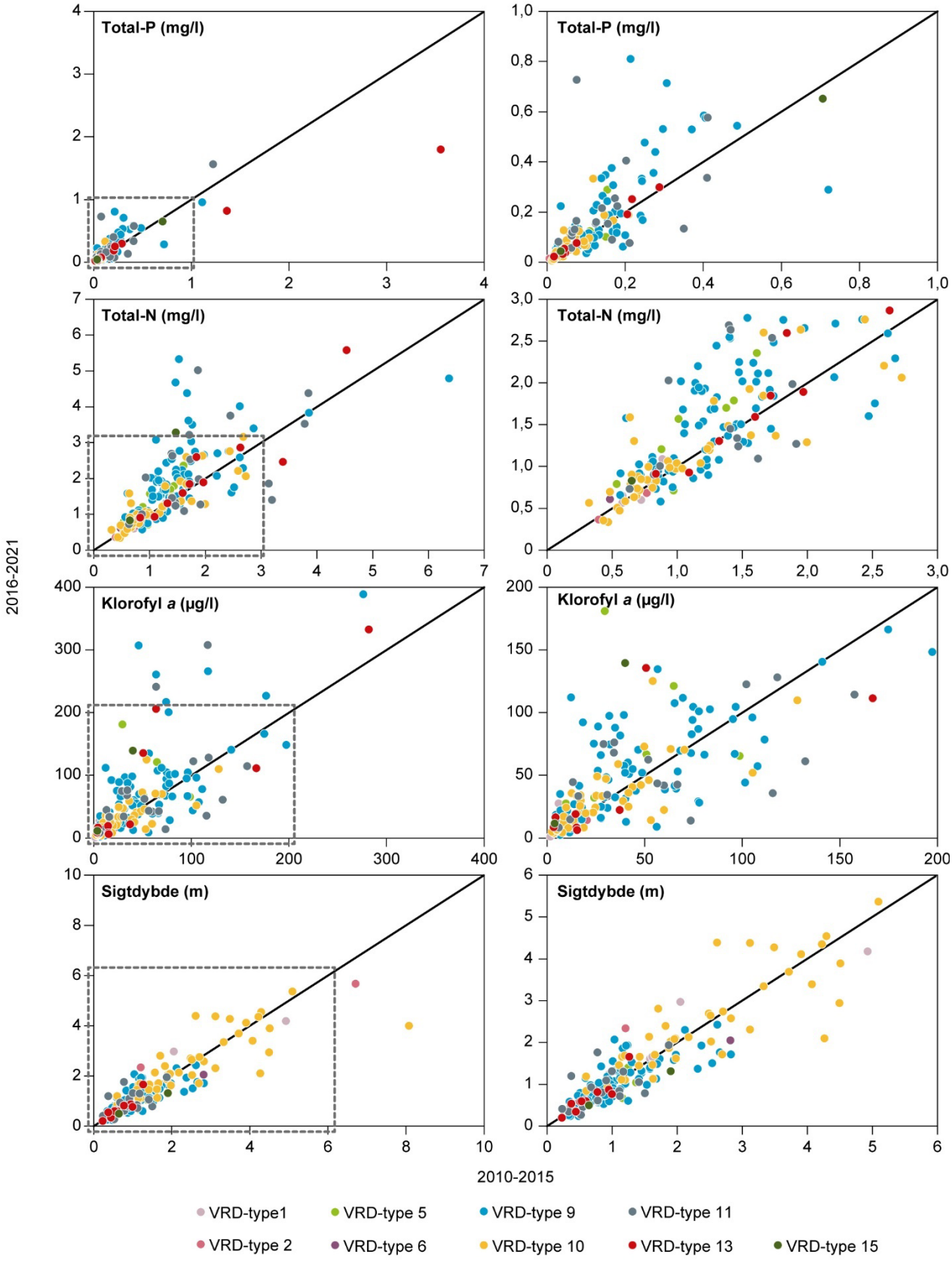
Sammenligningen på tværs af alle søtyper viser, at indholdet af totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl er øget signifikant fra perioden 2010-2015 til 2016-2021. Udviklingen er mest signifikant for totalkvælstof og klorofyl, hvor de fleste søer havde højere værdier i perioden 2016-2021 end i perioden 2010-2015. Flere af søerne med totalkvælstofkoncentrationer mellem 1 og 2 mg/L i 2010-2015 havde eksempelvis i perioden 2016-2021 næsten dobbelt så høje koncentrationer. For sigtdybden er der ikke tale om signifikante ændringer. Hvis man ser på de individuelle søtyper, er der kun statistisk signifikante ændringer i søtype 9, hvor både fosforkoncentrationen, kvælstofkoncentrationen og indholdet af klorofyl er øget.

De generelle forbedringer, der generelt sås i de søer, der blev undersøgt i begyndelsen af overvågningsperioden, er altså ikke fortsat frem til den seneste seksårs periode (2016-2021). De seneste resultater viser tværtimod tendenser til en negativ udvikling.

Årsagen til de generelt stigende næringsstofkoncentrationer og klorofylindhold er ikke undersøgt nærmere. Mulige årsager kunne være ændringer i udledningen og transporten af stofferne i søens opland, herunder også effekten af klimatiske ændringer. Årsagen til, at der primært ses signifikante ændringer i søtype 9, kan være, at der er flest søer i denne søtype, så signifikante ændringer lettere ses. Det kan ikke udelukkes, at fejlanalyserne og eventuel underestimering af totalfosforkoncentrationen i perioden 2010-2015 også kan spille ind.

Sammenligningen af de kemiske parametre og sigtdybden mellem de tre seksårsperioder, hvorfra der nu er data, kan illustreres ved boxplots, som vist i figur 2.5. Som for de øvrige præsentationer i denne rapport er resultaterne baseret på sommergennemsnit i de enkelte søer.

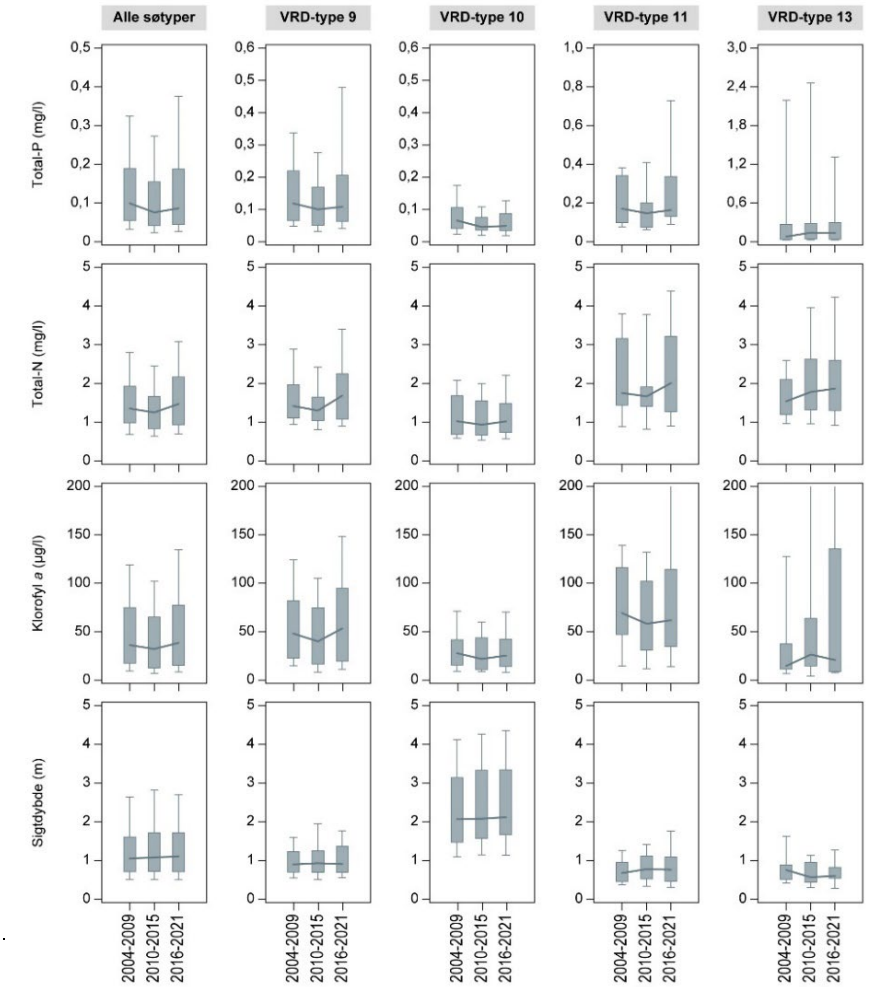
Statistiske tests, der sammenligner perioden 2004-2009 med 2016-2021, er ligeledes vist i tabel 2.5. Disse viser, at ingen af de fire parametre for søerne som helhed har ændret sig statistisk signifikant mellem disse to perioder. Blandt søtyperne er den eneste signifikante ændring sket i søtype 10, hvor indholdet af totalfosfor er reduceret.



Figur 2.4 Sammenligning af sommergennemsnit mellem de to perioder 2010-2015 og 2016-2021 for totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* samt sigtdybde fordelt på søtyper (beskrivelserne af de enkelte søtyper fremgår af tabel 1.1). Hvert punkt repræsenterer én sø. Hvis den enkelte sø er undersøgt mere end én gang i den samme periode, er der anvendt et gennemsnit. Højre panel vises en forstørrelse af de laveste værdier. Linjen angiver 1:1 værdier, dvs. punkter på denne linje viser status quo. Hvis et punkt ligger over 1:1-linjen, er der sket en forøgelse fra perioden 2010-2015 til perioden 2016-2021 i den givne sø og omvendt, hvis et punkt ligger under 1:1-linjen.

Tabel 2.5. Resultat af statistiske tests (p-værdier) af sammenligning af sommergennemsnit af kemiske nøglevariable (totalfosfor og totalkvælstof) samt en biologisk (klorofyl) og en fysisk (sigtdybde) nøglevariabel for de søer, der blev undersøgt i de tre seneste seksårsperioder: 2004-2009 (periode 1), 2010-2015 (periode 2) og 2016-2021 (periode 3). Der er testet for forskelle mellem periode 1 og 3 og mellem periode 2 og 3. Kun signifikante forskelle (p<0,05) er vist. (+) angiver, at værdien er øget (-) viser en reduktion. Antal søer angiver det totale antal søer for hver søtype, som kan variere lidt mellem parametrene. Der er kun vist tests for søtyper, hvor der indgår data fra mindst fem søer.

Søtype	Antal søer		Total-P		Total-N		Klorofyl *a*		Sigtdybde	
	Periode 1-3	Periode 2-3	Periode 1-3	Periode 2-3	Periode 1-3	Periode 2-3	Periode 1-3	Periode 2-3	Periode 1-3	Periode 2-3
1	5	6	-	-	-	-	-	-	-	-
2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-
5	7	7	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-
9	87	89	-	0,033 (+)	-	<0,001(+)	-	0,002(+)	-	-
10	42	43	0,020 (-)	-	-	-	-	-	-	-
11	18	20	-	-	-	-	-	-	-	-
13	10	10	-	-	-	-	-	-	-	-
15	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-
Alle søer	176	180	-	0,014 (+)	-	<0,001(+)	-	<0,001(+)	-	-



Figur 2.5. Boxplots, der fra oven illustrerer forskellen i henholdsvis totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* og sigtdybde mellem de tre seksårige perioder 2004-2009, 2010-2015 og 2016-2021 for KT-søerne. Der er vist plots for alle søer tilsammen og for de fire søtyper med flest data. Kun typer, hvortil der kan henføres mere end 10 søer er medtaget. Hver box med whiskers viser median, 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Statistiske test er vist i tabel 2.5

2.4 Fytoplankton

I dette afsnit præsenteres data fra de fytoplanktonundersøgelser, der er foretaget i perioden 2010-2021 i KT-søerne, som følges over en turnusperiode på

seks år. Status er vist ved at anvende data fra 179 søer fra perioden 2016-2021 samt Brassø, som blev undersøgt i 2011, dvs. i alt 180 søer. Den seneste udvikling i fytoplanktonsamfundet er vurderet ved at sammenligne data fra de søer, som er undersøgt i begge af de to seneste seksårsperioder, dvs. perioderne 2010-2015 og 2016-2021. Dette omfatter i alt 143 søer. Udviklingen siden 1989, da overvågningsprogrammet blev påbegyndt, er vurderet for udvalgte parametre i de søer, hvor der har været regelmæssige prøvetagninger. Udviklingen er vurderet både over 10-årsperioder, der omfatter 35 søer, og seksårsperioder, hvor det er muligt at anvende 19 gennemgående søer.

Ved præsentationen af data er der lagt vægt på at vise den overordnede status og udvikling. Dette betyder blandt andet, at der er foretaget en gruppering af fytoplanktontaxa (primært arter, men også højere taksonomiske niveauer) i grupper. Grupperne er de klassiske: blågrønalger, grønalger, kiselalger etc. Hver af disse grupper omfatter én eller oftest flere taksonomiske klasser. Således består f.eks. gruppen blågrønalger af klassen Cyanophyceae, grønalger består af klasserne Chlorophyceae, Pleurastrophyceae, Ulvophyceae, Trebouxiophyceae, Conjugatophyceae, Klebsormidiophyceae, Mesostigmatophyceae, Zygnematophyceae, Chlorodendrophyceae, Prasinophyceae, Charophyceae og Pedinophyceae, og gulalger består af klasserne Chrysophyceae, Bicosoecophyceae, Dictyochophyceae, Phaeothamniophyceae og Synurophyceae. Se også Teknisk Anvisning S14 - *Planteplankton – oparbejdning af prøver* (Johansson & Søndergaard 2011).

En del grupper omfatter kun få klasser, og ved oparbejdningen af fytoplanktonprøverne kan det være umuligt at foretage en bestemmelse til niveauet "klasse" eller derover, men kun til et lavere taksonomisk niveau, f.eks. "række". Af disse årsager er der i en sidste gruppe "øvrige" samlet taxa inden for følgende klasser: Raphidophyceae, Craspedophyceae, Ebriophycceae, Eustigmatophyceae, Nephroselmidophyceae, Prymnesiophyceae, Xanthophyceae, Coccolithophyceae og de lavere niveauer Plantae, Flagellat, Protozoa, Zoomastigophora, Eubacteria, Litostomatea, Bacteria, Choanoflagellatea og Nanoflagellat. "Øvrige" er dermed en meget heterogen sammensat gruppe, og der må specielt tages forbehold over for data fra denne gruppe ved sammenligninger.

Ved præsentationen er der flere steder også anvendt en inddeling i søtyper. Her er der anvendt den inddeling, der bruges i forbindelse med fastlæggelsen af søtyper jf. vandrammedirektivet og udarbejdelsen af vandområdeplaner (se tabel 1.1). Flere af søtyperne er kun repræsenteret af få søer, så de gennemsnitlige resultater fra disse søtyper vil være meget præget af disse få søer og skal tages med forbehold.

Fytoplankton, status

Samlet biovolumen og dominerende grupper

Mængden af fytoplankton opgøres oftest i enheden "biovolumen". Dette er begrundet i metoden for opgørelsen, hvor der ud fra én til flere målte dimensioner og en taxonspecifik volumenformel sammen med tætheden af det pågældende taxon beregnes et samlet biovolumen pr. vandvolumen, oftest angivet i mm^3/l. En nærmere forklaring findes i Johansson og Søndergaard (2011).

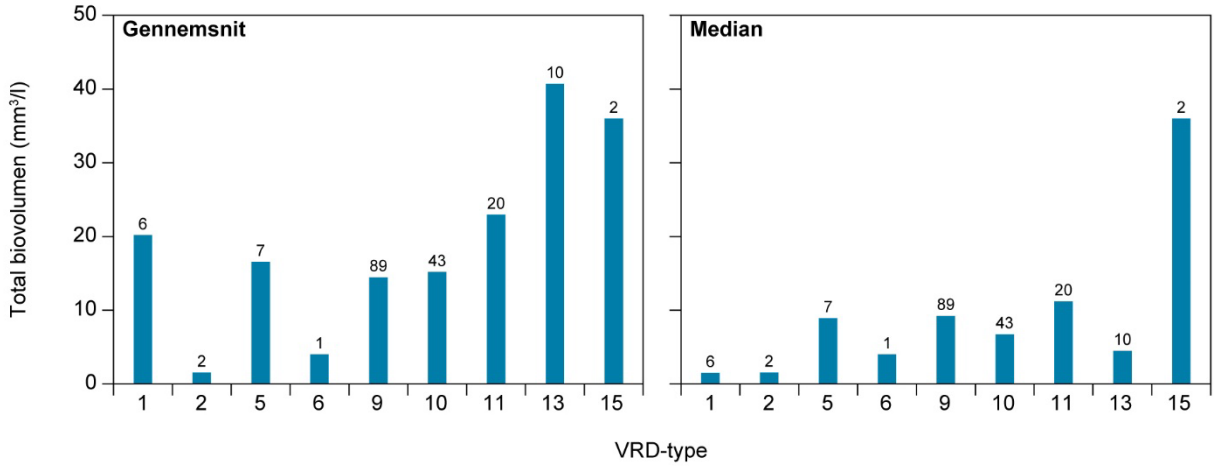
I tabel 2.6 er der givet en oversigt over det samlede biovolumen af alger og de enkelte algegruppers biovolumen i de 180 KT-søer, der er undersøgt i perioden 2016 til 2021. Som det ses, er der blandt de 180 søer meget store forskelle i det samlede biovolumen, varierende fra minimumsværdier på 0,09 mm^3/l til maksimumsværdier på 306 mm^3/l. Det er især blågrønalger, der kan opnå et højt biovolumen, hvor der ses et biovolumen op til 302 mm^3/l, men også furealger og kiselalger kan opnå betydelige værdier. Medianværdierne er for alle grupper lavere end gennemsnitsværdierne og for nogle af grupperne end dog meget lavere end gennemsnitsværdierne. Det antyder, at nogle (i nogle tilfælde kun få) søer med meget højt biovolumen trækker gennemsnittet op. Gennemsnitlig udgør blågrønalgerne den højeste andel af det samlede biovolumen, nemlig 52 %, mens kiselalger udgør den næsthøjeste værdi med 23 %.

Tabel 2.6. Total sommergennemsnitligt biovolumen (mm^3/l) og de enkelte algegruppers biovolumen i de 180 KT-søer, der er undersøgt i perioden 2016-2021. Den nederste række viser, hvor stor en gennemsnitlig procentuel del af det samlede biovolumen de enkelte grupper udgør.

	Total-biomasse	Blågrøn-alger	Rekyl-alger	Fure-alger	Gul-alger	Kisel-alger	Øje-alger	Grøn-alger	Øvrige
Antal Søer	180	180	180	180	180	180	180	180	180
Minimum	0,09	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Maximum	305,6	301,8	6,2	36,9	5,3	164,3	5,8	39,9	110,1
Gennemsnit	17,4	9,03	0,5	1,2	0,1	4,03	0,06	1,30	1,2
Median	8,7	1,2	0,3	0,09	0,00	0,40	0,00	0,25	0,04
Gennemsnit (%)		52,0	2,7	6,7	0,7	23,2	0,4	7,50	6,8

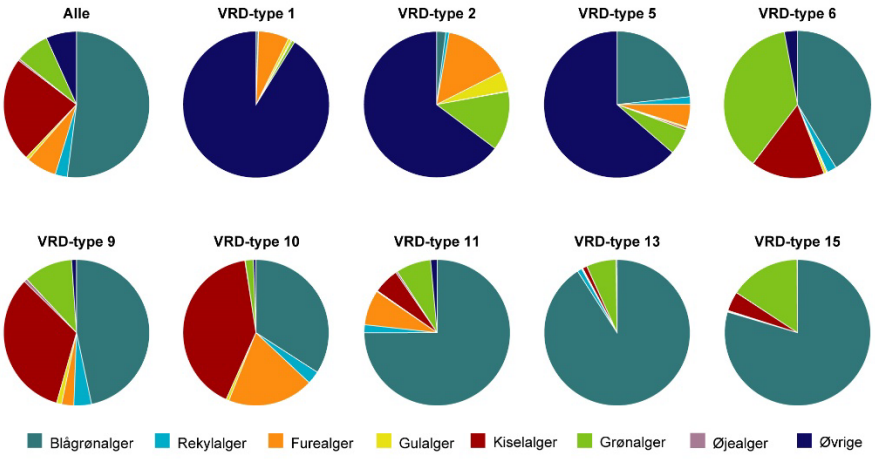
Biovolumen og sammensætning i forskellige søtyper

Det sommergennemsnitlige biovolumen opgjort som gennemsnit og medianværdi af de enkelte 180 KT-søer, der er undersøgt i perioden 2016 til 2021 i de forskellige søtyper, er vist i figur 2.6. Som det fremgår, er der store forskelle både i gennemsnittet og medianværdier, og for flere af søtyperne er der kun data fra få søer. Dette gælder eksempelvis søtype 6 (kalkfattig, brunvandet, fersk, dyb), hvor der kun er data fra én sø, og søtype 2 (kalkfattig, ikke brunvandet, fersk, dyb) og 15 (kalkrig, brunvandet, saltholdig, lavvandet), hvor der kun er data fra to søer. Blandt de fire søtyper med data fra mindst 10 søer ses de højeste gennemsnitlige biovolumener i søtype 13 (kalkrig, brunvandet, fersk, lavvandet) og de højeste medianværdier i søtype 11 (kalkrig, ikke brunvandet, saltholdig, lavvandet). Værdierne for søtype 13 kan være påvirket af enkelte eller få søer, fordi der kun indgår 10 søer ved beregningerne.



Figur 2.6 Det totale biovolumen (mm³/l) af fytoplankton vist for søtyperne anvendt i forbindelse med vandrammedirektivet. Til venstre er det totale biovolumen vist som gennemsnit af de enkelte søers sommergennemsnit og til højre som medianværdi. Tallene over søjlerne angiver antallet af søer, som indgår i beregningen.

Sammensætningen af fytoplanktonet inddelt i algegrupper for KT-søerne samlet og for de enkelte søtyper i perioden 2016-2021 er vist i figur 2.7. Også denne figur afspejler store forskelle mellem de forskellige søtyper. For søerne samlet (øverste lagkagefigur, til venstre) domineres det sommergennemsnitlige biovolumen af blågrønalger, der udgør lidt over halvdelen af det samlede biovolumen, mens kiselalgerne udgør omkring 25 %. Den resterende del udgøres især af furealger og grønalger.



Figur 2.7. Gennemsnitlig fordeling af de forskellige algegrupper af det samlede biovolumen blandt alle KT-søer og de enkelte søtyper jf. vandrammedirektivets typeinddeling. For antal søer se figur 2.6. For søtyper se tabel 1.1.

Ser man på de enkelte søtyper individuelt, ser billedet for sammensætningen i næsten alle tilfælde noget anderledes ud. Søtype 9 er den type, der ligner sammensætningen for søerne samlet set mest, men det er også for denne type, at de fleste data findes (89 ud af 180 søer), så det er ikke overraskende. Tre af de kalkfattige (lav-alkaline) søtyper (søtype 1, søtype 2 og søtype 5) er kendetegnet ved, at "øvrige" udgør en stor del af det samlede biovolumen. "Øvrige" udgøres især af alger fra klassen Raphidophyceae (slimalger), der blandt andet omfatter slægten *Gonyostomum* (se også tabel 2.7). Denne slægt kan optræde i store mængder, og for badende kan den give en fedtet fornemmelse på huden (se f.eks. Rebild Kommunes hjemmeside). Fra Sverige er det rapporteret, hvordan slægten *Gonyostomum* har bredt sig i de senere år, hvilket blandt andet tillægges stigende temperaturer (Rengefors m.fl. 2020). I søtype 11, søtype 13 og 15 udgør blågrønalger langt hovedparten af biovolumen, ikke mindst i søtype 13, hvor de er totalt dominerende og udgør 91 % af det samlede volumen.

Dominerende arter/taxa

De fem procentuelt og volumenbaseret mest dominerende arter/taxa inden for hver af algegrupperne og i de forskellige søtyper er vist i tabel 2.7. Eftersom tabellen er lavet med baggrund i alle de forekommende taxa blandt de 180 KT-søer, domineres den af data fra søtype 9 og 10. De betyder også, at når man efterfølgende begynder at inddele i de forskellige grupper af fytoplankton, så vil mange af de dominerende taxa, som defineres på baggrund af det samlede datasæt, også findes i søtype 9 og 10. I søtype 9 forekommer således 32 ud af de 40 vigtigste taxa, mens der i de sjældne søtyper 2 og 6 kun forekommer 7-10 af de vigtigste arter. Tabellen er dog med til at illustrere de forskelle, der er imellem de forskellige søtyper; eksempelvis er gulalger, rekylalger og "øvrige" (bl.a. slægten *Gonyostomum*) vigtige grupper blandt søtype 1 og 2. De hyppigst registrerede taxa blandt de dominerende taxa er *Cryptomonas* og *Rhodomonas lacustris*, som begge tilhører gruppen rekylalger.

Tabellen giver også et indblik i, hvordan den taksonomiske detaljeringsgrad ved beregningen af biovolumen varierer meget, når man kommer ned under klasseniveau. Eksempelvis indberettes data fra to grupper af furealger: thekate (pansrede) og athekate (nøgne). I andre indberetninger anvendes en helt overordnet gruppering af flagellater, hvis disse ikke kan identificeres til nogen specifik klasse og derfor benævnes autotrof eller fagotrof.

Tabel 2.7. Udbredelsen på baggrund af biovolumen af de fem vigtigste taxa inden for hver algegruppe blandt de enkelte søtyper jf. vandrammedirektivets typeinddeling. Et kryds indikerer, at arten/slægten er vigtig for en given søtype. Tabellen er fremkommet ved for hver sø at beregne, hvor stor en %-del et taxon udgør af søens samlede biovolumen. For det samlede datasæt af 180 KT-søer udvælges de fem taxa inden for hver algegruppe, som opnår den højeste summerede score. Det er typisk taxa, som er til stede i mange søer og ofte udgør en stor %-del af søernes biovolumen. En tilsvarende beregning laves for de enkelte søtyper, hvorefter det er markeret, om et taxon med høj score for en given søtype er blandt de fem taxa med den største summerede score. Analysen er lavet for de algegrupper, som traditionelt er anvendt. I kolonnen længst til højre er angivet, i hvor mange søer de pågældende taxa er registreret.

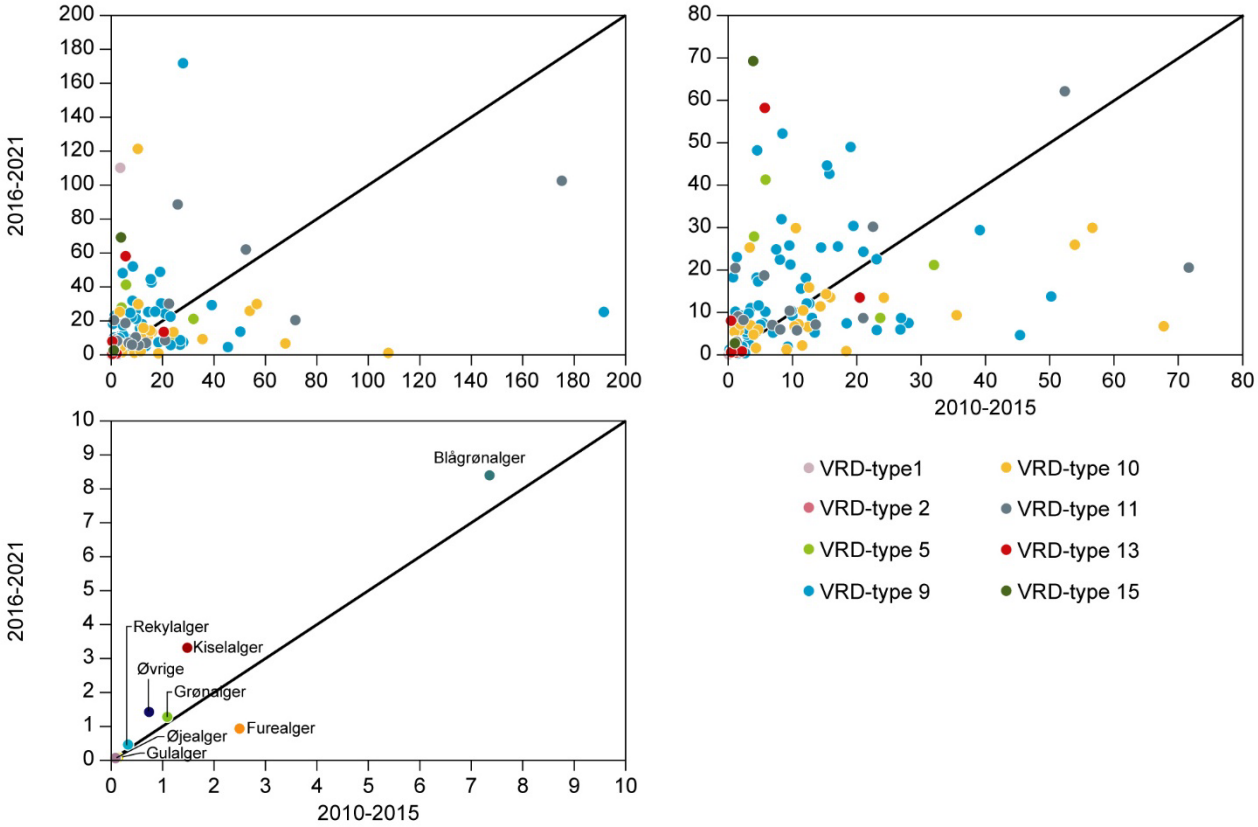
Algegruppe	**Taxa/art**	Søtype									Antal søer
		1	2	5	6	9	10	11	13	15	
Blågrønalger	*Microcystis* sp.					x	x		x		45
	Chroococcales	x		x				x	x	x	75
	Dolichospermum flos-aquae					x	x		x		33
	Aphanizomenon flos-aquae					x	x				18
	Dolichospermum sp.	x				x	x			x	46
Furealger	*Ceratium hirundinella*					x	x		x		56
	Ceratium furcoides		x	x		x	x				22
	Thekate furealger (pansrede)	x		x	x	x	x	x	x	x	43
	Gymnodinium sp.	x		x							11
	Athekate furealger (nøgne)	x	x	x		x	x		x		28
Grønalger	*Scenedesmus* sp.					x		x	x	x	72
	Chlorococcales	x		x				x	x	x	48
	Spirogyra sp.					x		x	x		5
	Botryococcus	x				x					9
	Pandorina morum						x				17
Gulalger	*Ochromonas* sp.		x	x		x	x	x	x		27
	Chrysophyceae			x		x				x	6
	Dinobryon cylindricum	x									1
	Uroglena americana	x				x	x				5
	Chromulina sp.	x	x	x		x		x	x		21
Kiselalger	*Biddulphiales*		x		x	x	x	x	x	x	80
	Fragilaria crotonensis						x	x			33
	Asterionella formosa				x	x	x		x		57
	Aulacoseira granulata					x	x				51
	Aulacoseira sp.						x				18
Rekylalger	*Cryptomonas* sp.	x	x	x	x	x	x	x	x	x	153
	Rhodomonas lacustris		x	x	x	x	x	x	x	x	135
	Cryptophyceae	x	x			x	x	x	x	x	46
	Cryptomonadales	x		x		x	x	x	x		42
	Plagioselmis nannoplanctica					x					11
Øjealger	*Euglena* sp.					x	x	x	x	x	22
	Trachelomonas sp.				x	x	x		x		11
	Phacus sp.			x		x		x			7
	Trachelomonas volvocina					x					1
	Lepocinclis sp.					x					2
Øvrige	*Gonyostomum semen*	x	x	x			x		x		11
	Flagellat	x	x	x	x	x	x	x	x	x	80
	Chrysochromulina parva					x	x	x			44
	Flagellat autotrof					x	x	x			20
	Flagellat fagotrof					x		x			10

Fytoplankton – den seneste udvikling

Udviklingen i KT-søernes biovolumen og sammensætning af fytoplankton er vurderet på baggrund af data fra 143 søer, som blev undersøgt i begge de to perioder 2010-2015 og 2016-2021. Der indgår ikke det samme antal søer som ved de tilsvarende analyser for vandkemi. Dette skyldes, at fytoplanktonanalyser først blev inkluderet i kontrolovervågningen i 2011.

Overordnet set er der tale om beskedne ændringer. På materialet som helhed ligger der søer både over og under 1:1-linjen, når de to perioder sammenlignes (figur 2.8). Der ses en tendens til, at biovolumenet i søerne generelt ligger lidt højere i perioden 2016-2021, og i enkelte søer er der sket en markant ændring, men der er stor variation omkring 1:1-linjen. I den statistiske test, og hvis man ser på alle søerne under ét, er det totale biovolumen øget signifikant, og det samme er biovolumen af rekylalger, mens gruppen af øvrige alger er gået tilbage (tabel 2.8). Blandt de enkelte søtyper er der en signifikant øgning af det totale biovolumen i søtype 9, hvor volumenet af blågrønalger øges, mens gruppen af øvrige alger er gået tilbage.

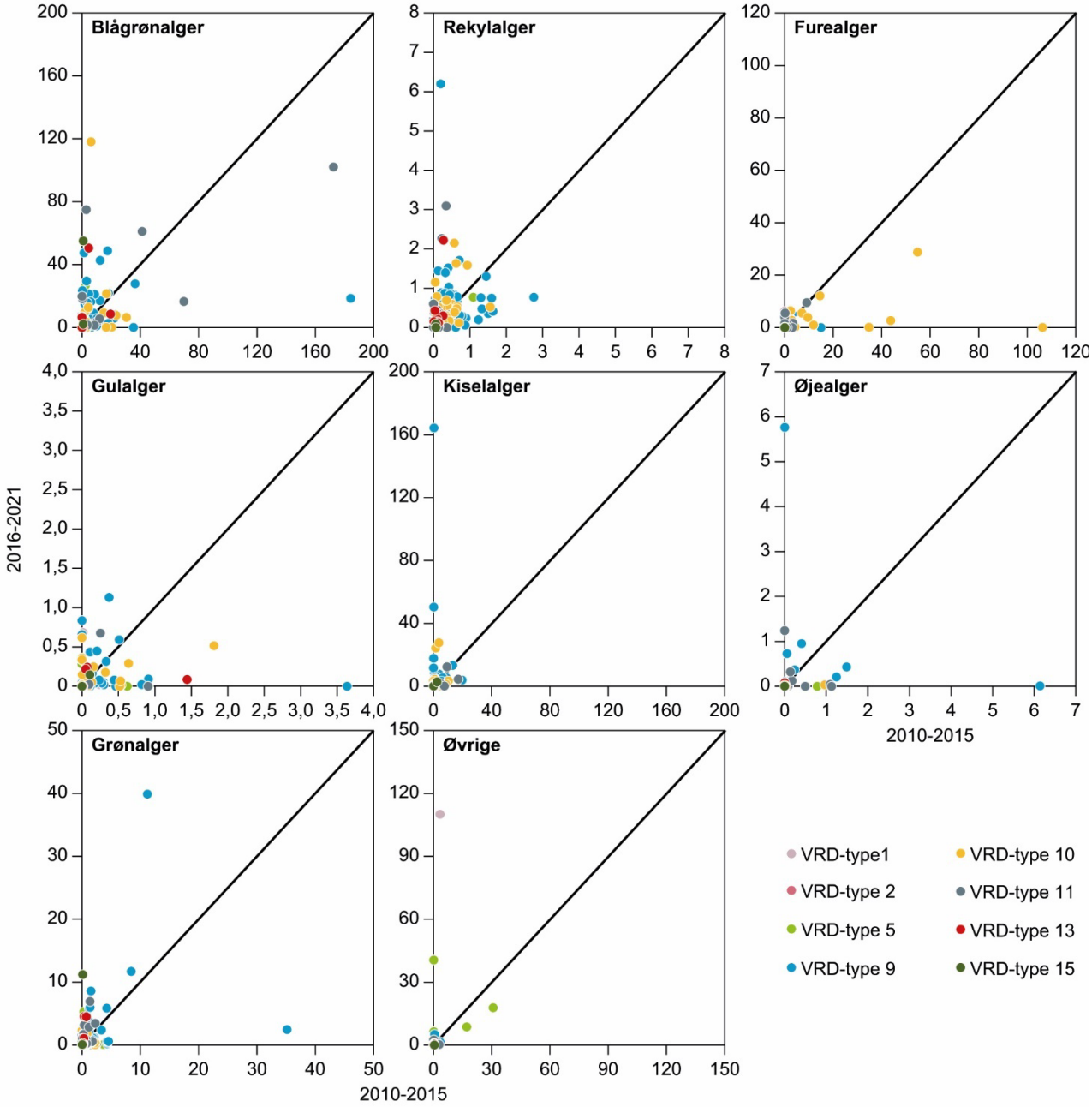
Sammenligning af de enkelte algegruppers biovolumen i KT-søerne mellem de to perioder er vist i figur 2.9. Det generelle billede er også her, at der kun er tale om mindre ændringer, selv om der blandt nogle af søerne ses store forskelle mellem de to undersøgelsesperioder. Eksempelvis er der blandt nogle af søerne store forøgelser fra 2010-2015 til 2016-2021 i andelen af rekylalger. Blandt blågrønalgerne er der både søer, hvor biovolumen er reduceret, og nogle, hvor biovolumen er øget markant fra den første til den anden periode. Statistiske tests er vist i tabel 2.8.



Figur 2.8. Udviklingen i fytoplanktonets biovolumen (mm^3/l) ved sammenligning af perioden 2010-2015 (x-akse) og perioden 2016-2021 (y-akse) i de 143 KT-søer, som er undersøgt i begge perioder. Punkter tæt på 1:1-linjen viser ringe forskel mellem de to perioder. Øverste højre figur viser et udsnit af øverste venstre figur. Nederst: Det gennemsnitlige biovolumen på tværs af søer fordelt på grupper af fytoplankton. De forskellige punktfarver angiver de forskellige søtyper jfr. vandrammedirektivet.

Tabel 2.8. Resultat (p-værdier) af parret t-test (hvis data er normalfordelt) eller Wilcoxon signed rank test (hvis data ikke er normalfordelt) ved sammenligning af fytoplanktonbiovolumen (mm^3/l, sommergennemsnit) for de 143 søer, som blev undersøgt i begge perioder 2010-2015 og 2016-2021. Testen er vist for alle søer samlet samt for de enkelte grupper og opdelt i søtyper (svarende til figur 2.8). (-) angiver, at biovolumenet er reduceret fra den første til den sidste periode, mens (+) angiver en forøgelse. Værdier er kun vist, hvis de er signifikante (p<0,05)

Søtype	Antal søer	Total biovolumen	Blågrøn-alger	Rekyl-alger	Fure-alger	Gul-alger	Kisel-alger	Øje-alger	Grøn-alger	Øvrige
Alle	143	0,01 (+)		0,03 (+)						<0,001 (-)
1	6									
2	2									
5	6									
9	71	0,01 (+)	0,04 (+)							<0,001 (-)
10	32									
11	16									
13	8									
15	2									



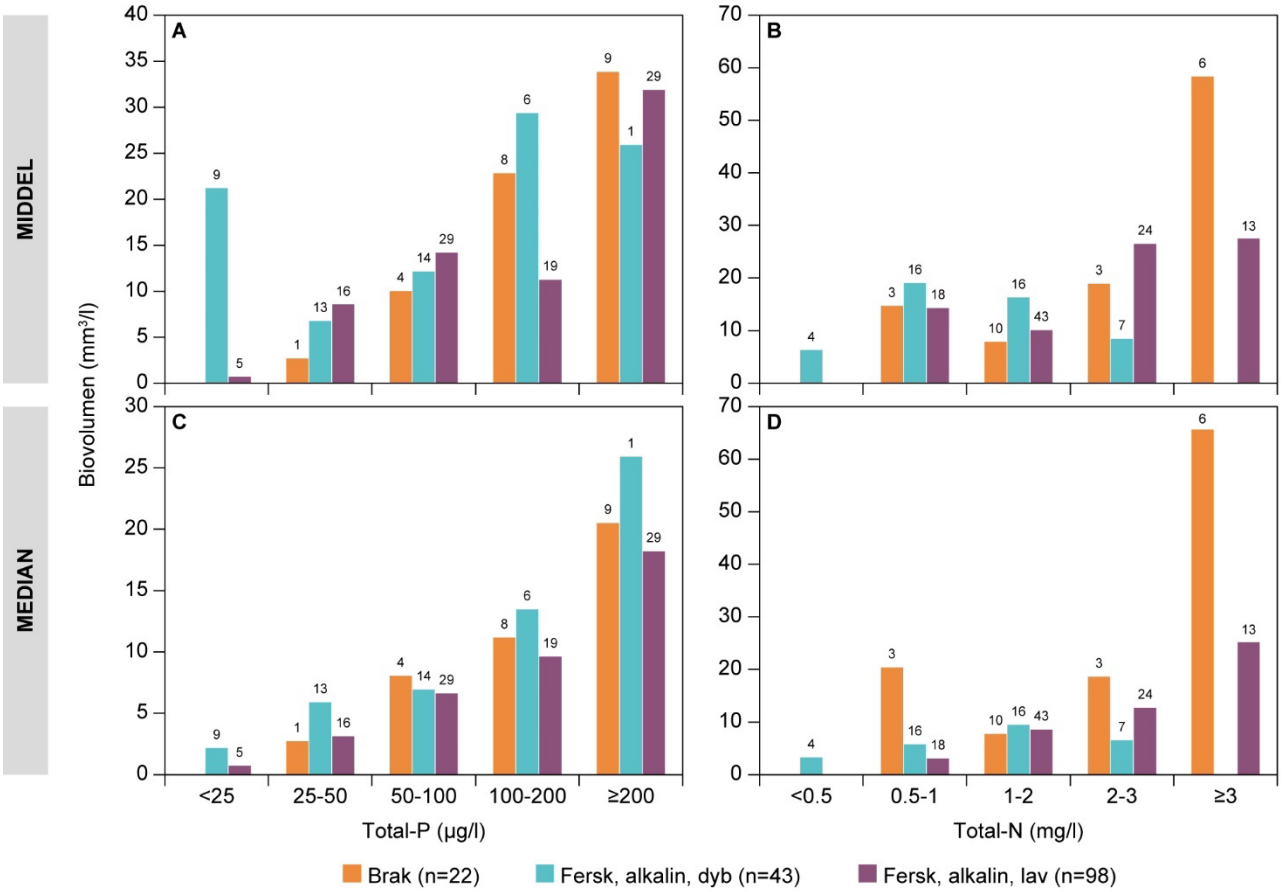
Figur 2.9 Ændringer i algegruppernes biovolumen (mm³/l) i de 143 KT-søer mellem de to undersøgelsesperioder 2010-2015 (x-akse) og 2016-2021 (y-akse). Punkter tæt på 1:1-linjen viser ringe forskel mellem de to perioder. De forskellige søtyper jf. vandrammedirektivets inddeling er vist med forskellige punktfarver.

Fytoplankton – sammenstillinger

I dette afsnit er data vedr. fytoplanktonets biovolumen og sammensætning i KT-søerne sammenstillet med øvrige data fra søerne. For at koncentrere datamængden og dermed gøre det muligt bedre at vurdere ændringer langs eksempelvis en næringsstofgradient er søtyperne slået sammen til kun tre søtypegrupper:

1. Brakke, kalkrige, lavvandede, ikke-brunvandede og brunvandede søer (søtype 11 og 15)
2. Ferske, kalkrige, dybe, ikke-brunvandede søer (søtype 10)
3. Ferske, kalkrige, lavvandede, ikke-brunvandede og brunvandede søer (søtype 9 og 13).

De kalkfattige (lavalkaline) søer (type 1, 2, 5 og 6) er dermed udeladt i figur 2.10 og figur 2.11. Samlingen af flere søtyper under ét kan være med til at mudre billedet noget, eksempelvis for gruppe 3, der indeholder både brunvandede og ikke brunvandede søer.



Figur 2.10 Sommergennemsnitlig biovolumen (middel øverst og median nederst) blandt tre søtypegrupper og i forhold til søernes indhold af totalfosfor og totalkvælstof inddelt i kategorier. Tallene over hver søjle angiver antallet af søer, som indgår i beregningen.

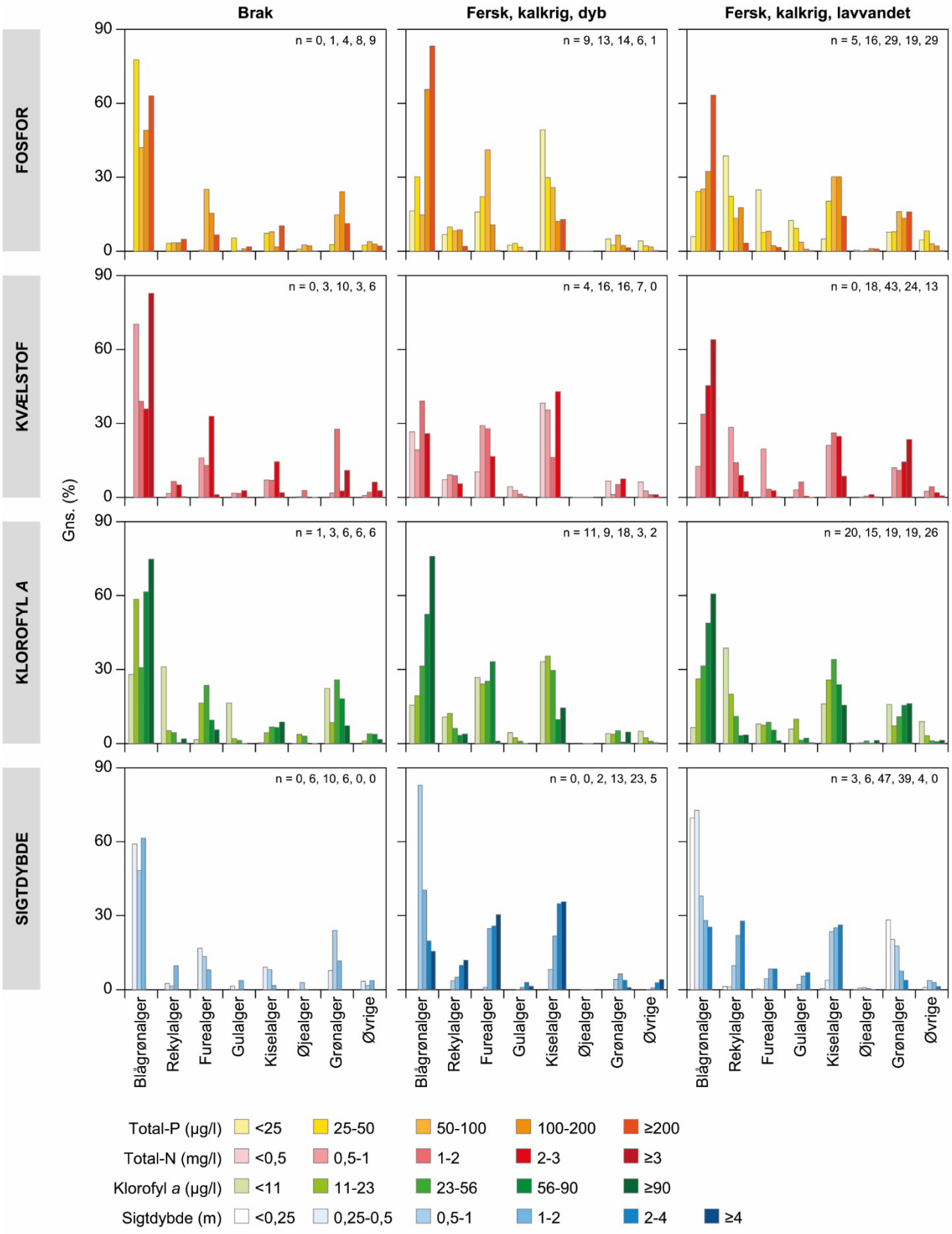
I figur 2.10 er det vist, hvordan sommerbiovolumen som gennemsnit og medianværdier af fytoplankton ændres langs en næringsstofgradient (totalfosfor- og totalkvælstofkategorier) for de tre søtypegrupper. I forhold til det gennemsnitlige biovolumen kommer den forventede effekt af øget fosforindhold til udtryk i alle tre gruppe af søtyper. I forhold til indholdet af totalkvælstof er det især i de brakke søtyper, at der ses et højere biovolumen ved stigende kvælstofindhold. Dette peger på – som også set i andre analyser – at kvælstof især kan have betydning for mængden af fytoplankton i de brakke søer, hvor der lettere opstår kvælstofbegrænsning. Medianværdierne viser lignende effekter ved øget næringsstofindhold med klare effekter af øget fosforindhold for alle tre søtypegrupper. For medianværdierne er der også her effekter af øget kvælstofindhold i især brakvandstyper, men også i nogen grad i den ferske, kalkrige, lavvandede søtypegruppe.

I figur 2.11 vises de enkelte algegruppers andel af det samlede biovolumen langs gradienter i næringsstofindhold, klorofyl *a* og sigtdybde. Det overordnede billede er – som også vist tidligere – at blågrønalger udgør en stor andel af det samlede biovolumen. Dette gælder for alle tre søtypegrupper, men især i de brakke typer, og i de ferske søtyper især ved høje næringsstofkoncentrationer. Andelen af blågrønalger øges generelt ved øget indhold af både fosfor

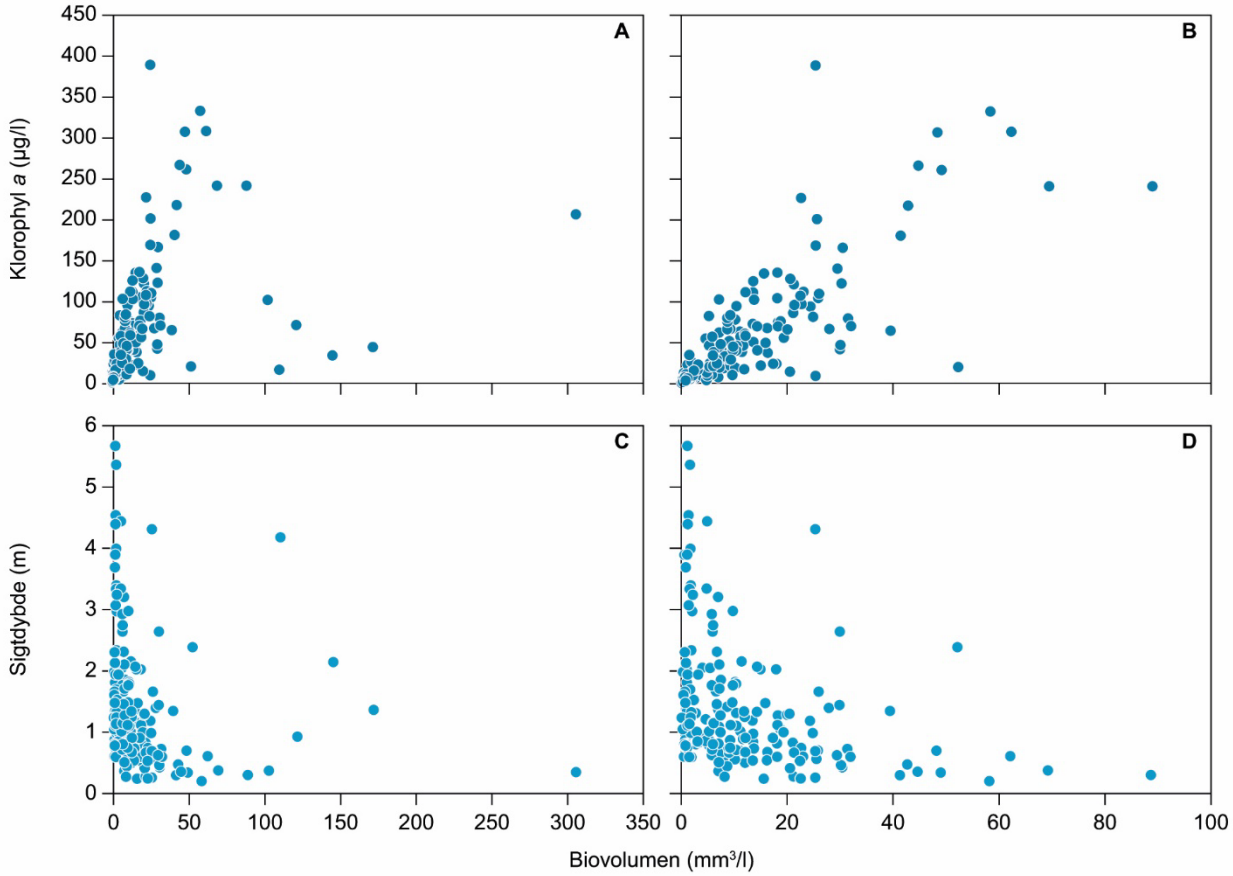
og kvælstof, men i brakvandssøerne udgør de en betydelig andel selv i de laveste kategorier af fosfor og kvælstof. Samme billede ses i forhold til gradienter af klorofyl *a* og sigtdybde (med omvendt fortegn). Blandt de andre algegrupper udgør især kiselalger en betydelig andel af det samlede biovolumen. Kiselalgernes andel reduceres med øget fosforindhold i de alkaline (kalkrige), ferske, dybe søer, men ikke i tilsvarende grad i de lavvandede søer. Flere gruppers %-andel reduceres med øget næringsstofindhold; det gælder især rekylalger, furealger og gulalger. I forhold til en gradient af sigtdybde ses som forventet generelt det modsatte billede, eksempelvis mindsket andel af blågrønalger i de kalkrige, ferske, dybe søer ved øget sigtdybde.

Sammenhængen mellem det totale biovolumen og indholdet af klorofyl *a* og sigtdybde for de 180 KT-søer ses i figur 2.12. Som forventet er der en forholdsvis pæn lineær sammenhæng mellem udtryk for fytoplanktonets biovolumen og klorofyl *a*. Der er dog stor variation i sammenhængen, og dette kan tages som et udtryk for den usikkerhed, der er, både hvad angår klorofylindhold og beregning af biovolumen. Derudover kan klorofylindholdet i den enkelte celle variere på baggrund af forskelle i lys- og næringsstofforhold, hvilket ikke nødvendigvis kommer til udtryk i ændret biovolumen. Selve analysen af klorofylindhold og beregning af biovolumen indebærer også en række usikkerhedsfaktorer. I figuren ses flere punkter, som falder uden for den almindelige sammenhæng. Dette gælder blandt andet flere søer med et biovolumen på over 100 mm^3/l. En mulig forklaring er, at de fleste af disse biovolumener domineres af blågrønalger, hvor det kan være vanskeligt at opgøre biovolumen af især kolonidannende former samt af mixo- eller heterotrofe taxa, især furealger, hvor biovolumenet formentlig let kan overestimeres i forhold til den aktive og fotosyntetiserende del af cellen.

Relationen mellem biovolumen og sigtdybde er ikke lineær, hvilket heller ikke er forventeligt, idet lysnedtrængningen falder eksponentielt med dybden på grund af en konstant dæmpningskoefficient, der ud over fytoplankton også forårsages af andre partikler i vandet og vandets farve via blandt andet opløste humusstoffer. En høj sigtdybde kan kun opnås i søer med lav biovolumen af fytoplankton. Således er sigtdybden sjældent over 2 m, hvis ikke fytoplanktonets biovolumen er under 10 mm^3/l. Også i denne relation er der dog tale om store variationer, hvor der, ud over årsagerne nævnt ovenfor, også kan være tale om en betydelig lyssvækkelse (ringe sigtdybde) – ikke kun på grund af stor biovolumen af fytoplankton, men også ved høj grad af sedimentresuspension – eller, som i brunvandede søer, ved højt indhold af humusstoffer. Der kan også være tilfælde, hvor sigtdybden begrænses af søens maksimumsdybde (sigt til bund).



Figur 2.11. Gennemsnitlig %-andel af de forskellige algegrupper i forhold til kategorier af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* og sigtdybde i tre søtypegrupper. N angiver antallet af søer i hver kategori af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* eller sigtdybde for hver af de tre søtypegrupper. Bemærk, at antallet af søer i hver kategori varierer meget, og at der i nogle kategorier kun er få søer.



Figur 2.12. Sammenhæng mellem sommergennemsnitlig biovolumen og indhold af klorofyl *a* og sigtdybde i alle 180 KT-søer. Figurerne til højre viser et udsnit (biovolumen 0-100 mm³/l) af figurerne til venstre.

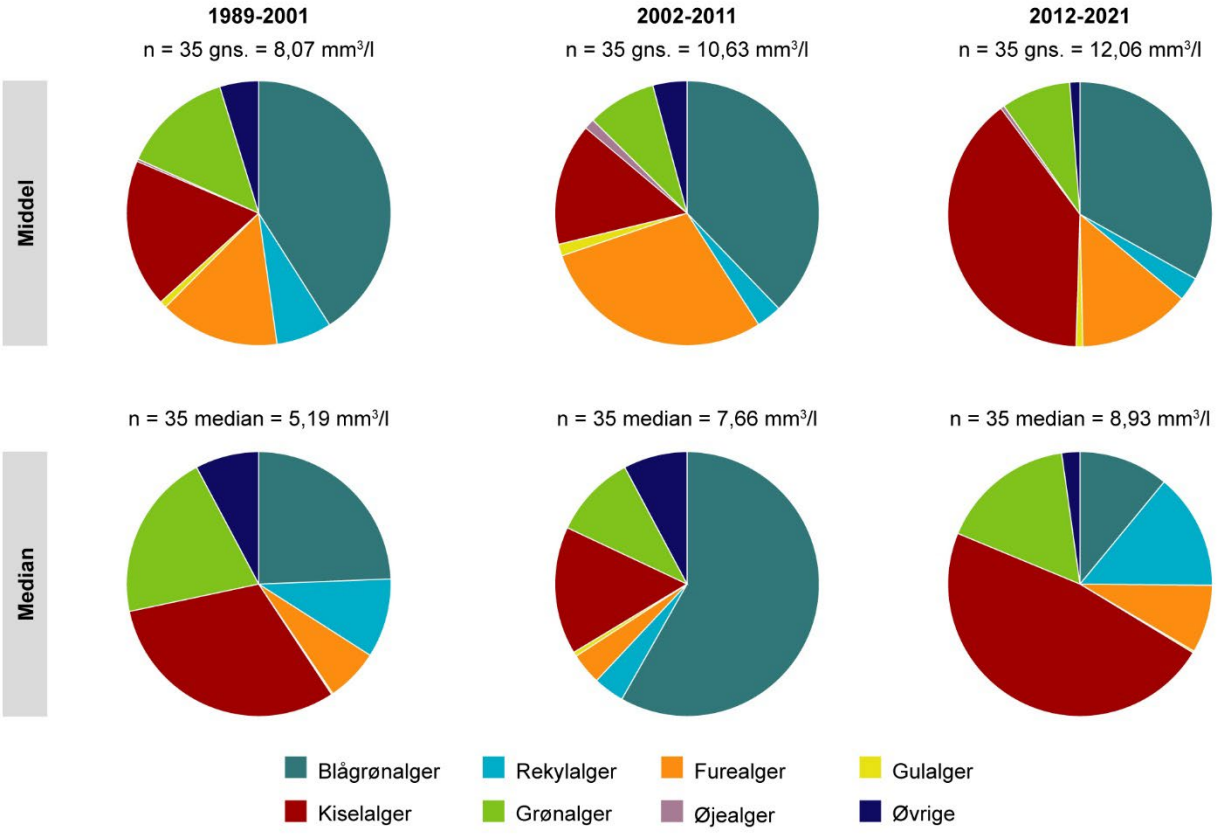
Fytoplankton, udviklingen siden 1989

I nogle af KT-søerne er fytoplanktonet undersøgt helt tilbage til overvågningsprogrammets start i 1989, og det giver mulighed for at vurdere den mere langsigtede udvikling i disse søer. For at kunne vurdere udviklingen i de samme søer og gøre datasættet mere omfattende er tidsserierne inddelt i tre eller fire tidsperioder, som består af 10-års eller seks-årsperioder. De tre 10-årsperioder omfatter data fra 1989-2001, 2002-2011 og 2012-2021. Dette giver i alt 35 søer, som er undersøgt i hver periode. De fire seksårsperioder omfatter data fra 1992-1997, 1998-2003, 2010-2015 og 2016-2021. Det giver i alt 19 søer, som er gennemgående for alle perioder. I hver periode indgår de enkelte søer kun én gang. Søerne med lange tidsserier udtrykker ikke nødvendigvis den generelle udvikling i danske søer, fordi de ikke er repræsentativt udvalgte. Både for inddelingen i 10-års- og især seksårs-perioderne er det bagvedliggende datasæt beskedent, og det betyder, at resultater må tolkes med forsigtighed.

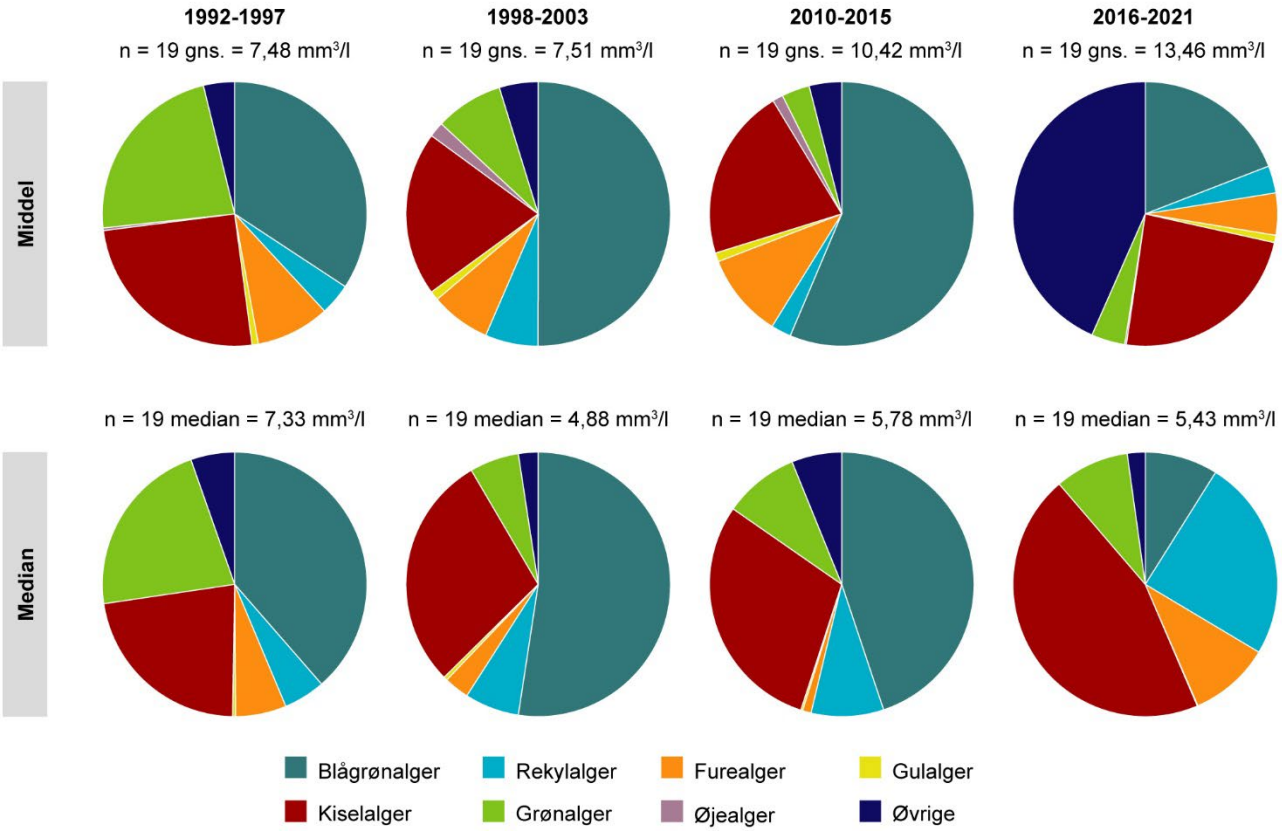
Sammenligningen af data over de tre 10-årsperioder viser, at blågrønalger i alle tre perioder har været den mest dominerende algegrupper, hvis middelværdierne anvendes, mens medianværdierne viser et noget mere broget billede og store skift i algesammensætningen mellem de tre perioder (figur 2.13). I den sidste 10-årsperiode (2012-2021) viser både middel- og medianværdier en dominans af kiselalger, mens blågrønalgerne har været mindre dominerende. Både udtrykt som middel- og medianværdi er biovolumenet øget over de tre 10-årsperioder. Middelværdien er øget fra 8,07 til 12,06 mm³/l, og medianværdien er øget fra 5,19 til 8,93 mm³/l.

Sammenligningen af data over de fire seksårsperioder, hvis middelværdier anvendes, viser ligeledes en dominans af blågrønalger, på nær den sidste periode (2016-2021), hvor øvrige alger udgør den største gruppe (figur 2.14). Dominans af blågrønalger er også tilfældet for de tre første seksårsperioder, hvis medianværdien anvendes, men i den sidste seksårsperiode (2016-2021) udgør kiselalger her den største andel. Forskellen mellem middelværdier og medianværdier er et udtryk for, at enkelte eller få søer kan dominere middelværdien, ikke mindst når datasættet kun omfatter 19 søer. Også hvis der anvendes seksårsperioder, er der en tendens til stigende biovolumen, der øges fra 7,48 mm^3/l i 1992-1997 til 13,46 mm^3/l i 2016-2021, hvis der anvendes middelværdier. Samme tendens ses ikke, hvis der anvendes medianværdier, hvor biovolumenet er reduceret fra 7,33 mm^3/l i 1992-1997 til 5,43 mm^3/l i 2016-2021.

Det noget forskellige udtryk i resultaterne, om der inddeles i 10-års- eller seksårsperioder, illustrerer, hvor følsomme disse analyser er over for, hvilke søer og hvilke perioder, der anvendes. Betydelige år-til-år variationer, som også kommer til udtryk mellem de to seneste seksårsperioder, som vist i figur 2.9, bidrager til at give et varierende billede.



Figur 2.13. Fordelingen af de forskellige algegruppers bidrag til det samlede biovolumen vist for tre 10-årsperioder siden 1989. Fordelingen er vist både som middel- (øverste række) og medianværdier (nederste række) og for hver periode. For hver periode indgår de samme 35 søer, men hver sø er kun medtaget én gang for hver periode. Oven over hver lagkagefigur er vist middel- eller medianværdier for biovolumen i den pågældende periode for de inkluderede søer.



Figur 2.14. Fordelingen af de forskellige algegruppers bidrag til det samlede biovolumen vist for fire seksårsperioder siden 1989. Fordelingen er vist både som middel- (øverste række) og medianværdier (nederste række) og for hver periode. For hver periode indgår de samme 19 søer, men hver sø er kun medtaget én gang for hver periode. Oven over hver lagkagefigur er vist middel- eller medianværdier for biovolumen i den pågældende periode for de inkluderede søer.

2.5 Vegetation

Vegetation, status

Kontrolovervågningen af undervandsplanter i perioden 2016-2021 omfattede i alt 180 søer (tabel 2.9). En oversigt over de tre undersøgte nøgleparametre i hver af de ni søtyper: det plantedækkede areal i procent af søarealet (relativt plantedækket areal - RPA), det plantefyldte volumen i procent af søens vandvolumen (relativt plantefyldt volumen - RPV) og planternes maksimale dybdegrænse er givet i tabel 2.9. Nogle af søtyperne – især de kalkfattige søer (søtype 1-6) – er kun repræsenteret ved ganske få søer, og her er det ikke muligt at anvende dataene til at udtale sig generelt om disse søtyper. Kun fra søtype 9, 10 og 11 er der data fra mere end 10 søer.

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

Tabel 2.9. Oversigt over nøgleparametre vedr. undervandsplanter fra søerne i kontrolovervågningen af søernes tilstand fordelt på ni søtyper (se tabel 1.1 for en nærmere beskrivelse), som er undersøgt i perioden 2016-2021. For dybdegrænse indgår kun søer, hvori der blev fundet undervandsplanter. Hvis der er data for flere år, indgår søen med de seneste resultater.

	Relativt plantedækket areal - RPA (%)					Relativt plantefyldt volumen - RPV (%)				
Søtype	**Gns.**	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**n**	**Gns.**	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**n**
1	42,8	45,7	20,2	65,9	6	6,7	5,6	0,4	12,2	5
2	28,6	28,6	1,5	55,6	2	0,9	0,9	0	1,7	2
5	11,3	6,7	0	37,2	7	3,4	1,5	0	10,3	7
6	0,3	0,3	0,3	0,3	1	0	0	0	0	1
9	24,5	16,7	0	86,9	89	12,2	5,1	0	64,3	89
10	9,2	5,7	0	75,3	43	0,9	0,4	0	7,9	43
11	18,7	12,5	0	54,5	20	9,7	3,6	0	38,8	20
13	22,2	17,6	0	56,0	10	11,0	4,9	0	38,8	9
15	25,0	25,0	20,2	29,8	2	17,2	17,2	6,9	27,4	2

	Dybdegrænse (m)				
Søtype	**Gns.**	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**n**
1	2,3	2,0	0,4	5,4	6
2	4,0	4,0	2,5	5,5	2
5	1,1	1,1	0,3	1,8	6
6	2,1	2,1	2,1	2,1	1
9	1,8	1,6	0,8	4,2	80
10	4,3	3,7	1,0	11,1	40
11	1,5	1,4	0,3	2,7	18
13	1,0	0,9	0,6	2,1	9
15	1,8	1,8	1,0	2,6	2

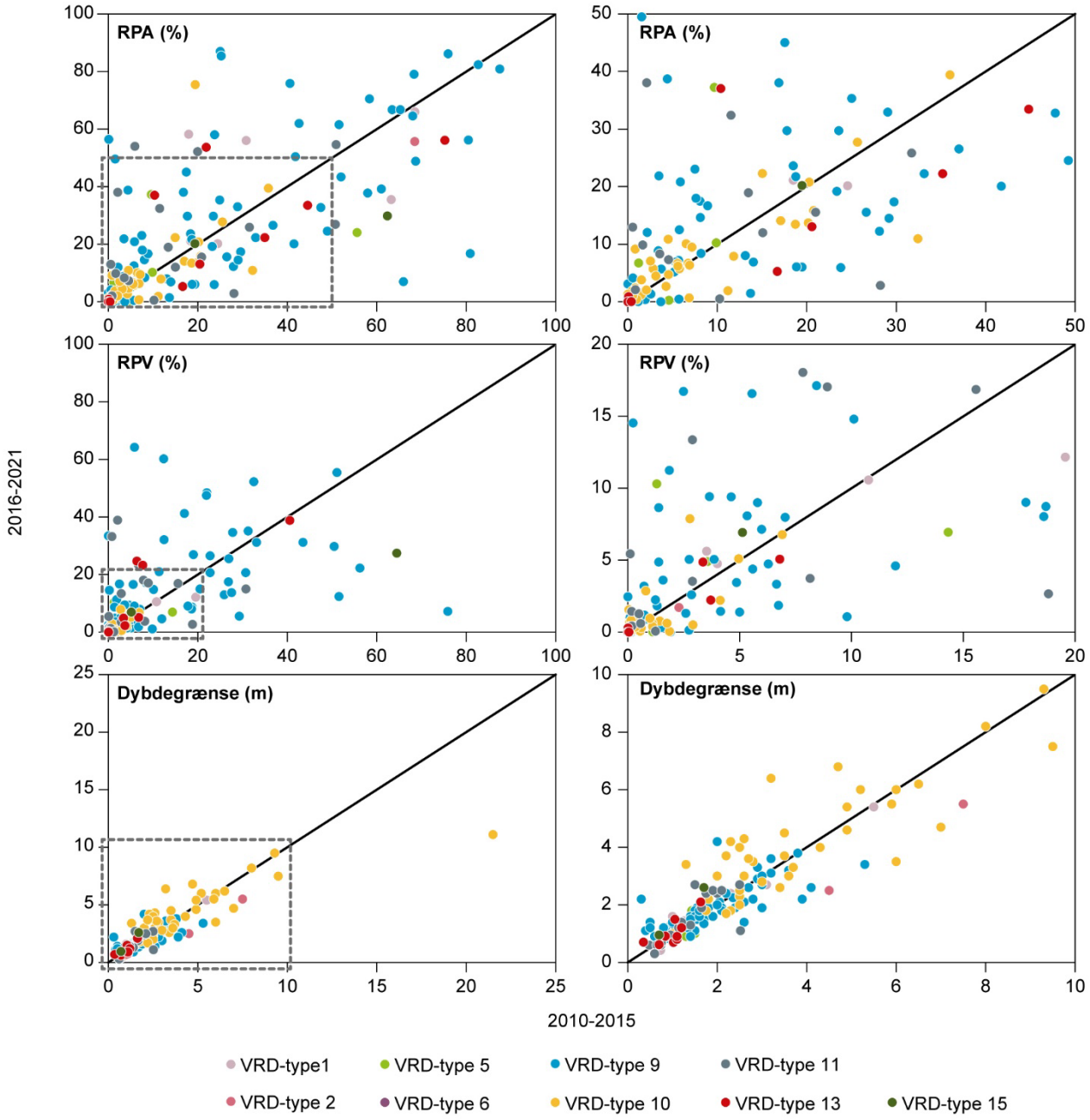
Generelt varierer de tre målte parametre meget inden for de enkelte søtyper. Både RPA og RPV dækker eksempelvis en gradient i mange af typerne fra 0 (ingen undervandsplanter) og til langt over 50 %. I den mest almindelige lavvandede søtype (søtype 9) er medianværdien for RPA på 16,7 % og RPV på 5,1 %. Det betyder, at i hovedparten af de lavvandede søer er kun en lille del af vandvolumenet fyldt med planter. Ved beregning af de statistiske parametre for dybdegrænsen er der kun inddraget de søer, hvor der findes planter. I den mest almindelige dybe søtype (søtype 10) varierer dybdegrænsen mellem 1,0 m og 11,1 m.

Vegetation, udviklingstendenser

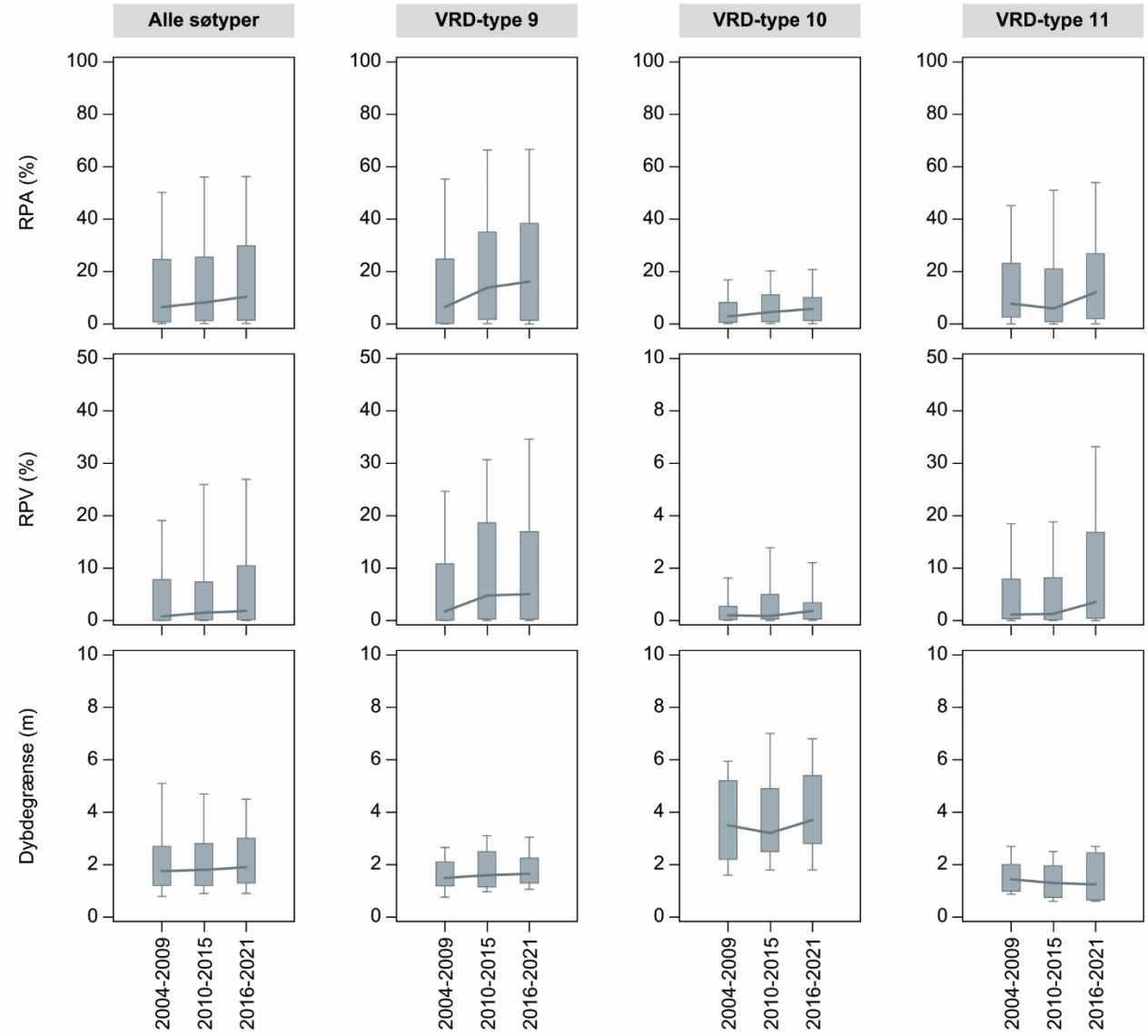
Udviklingen i de tre nøgleparametre fra perioden 2010-2015 til perioden 2016-2021 er illustreret i figur 2.15. Generelt er der en ret stor variation omkring 1:1-linjen, hvilket betyder, at udbredelsen af undervandsplanterne i mange af de enkelte søer er meget forskellige imellem de to perioder. Størst variation er der for RPA og RPV, mens dybdegrænsen er mere stabil, om end der også her ses betydelige forskelle mellem de to perioder i mange søer. Både for RPA og RPV er der for en del af søerne mere end en faktor to til forskel mellem de to perioder.

For søerne som helhed giver figur 2.15 ikke umiddelbart indtryk af, at der er sket ændringer i hverken den ene eller anden retning for nogen af de tre parametre. Dette bekræftes af den statistiske test mellem de to perioder (2010-2015 og 2016-2021), hvor der hverken for søerne som helhed eller for nogen af de enkelte søtyper er tale om signifikante ændringer (tabel 2.10).

I tabel 2.10 er der også vist sammenligninger mellem perioden 2004-2009 og perioden 2016-2021, og her viser der sig flere signifikante ændringer. For søerne som helhed gælder det dybdegrænsen, der er øget signifikant mellem de to perioder. For søtyperne er der signifikante ændringer i søtype 9 og 10, hvor RPA og dybdegrænsen er øget, og i søtype 9 er også RPV øget. For de øvrige søtyper ses ikke signifikante ændringer. Sammenligningen mellem de tre perioder og de tre parametre er også vist i figur 2.16.



Figur 2.15. Sammenligning af nøglevariable fra perioden 2010-2015 (x-aksen) og perioden 2016-2021 (y-aksen) fra undersøgelser af undervandsplanter fordelt på søtyper. Hvert punkt repræsenterer én sø. Hvis den enkelte sø er undersøgt mere end én gang i den samme periode, er de nyeste resultater anvendt. Højre panel viser en forstørrelse af de laveste værdier. Linjen angiver 1:1 værdier, dvs. punkter på denne linje viser status quo. Hvis et punkt ligger over 1:1-linjen, er der sket en forøgelse fra perioden 2010-2015 til perioden 2016-2021 i den givne sø og omvendt, hvis et punkt ligger under 1:1-linjen.



Figur 2.16. Boxplots, der fra oven illustrerer forskellen i henholdsvis RPA, RPV og dybdegrænse mellem de tre seksårsperioder 2004-2009, 2010-2015 og 2016-2021 for de KT-søer, som kan sammenlignes. Der er vist plots for alle søer og for de tre søtyper med flest data. Kun typer, hvorfra der er data fra mere end 10 søer, er medtaget. Hver box med whiskers viser median, 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Statistiske tests er vist i tabel 2.10.

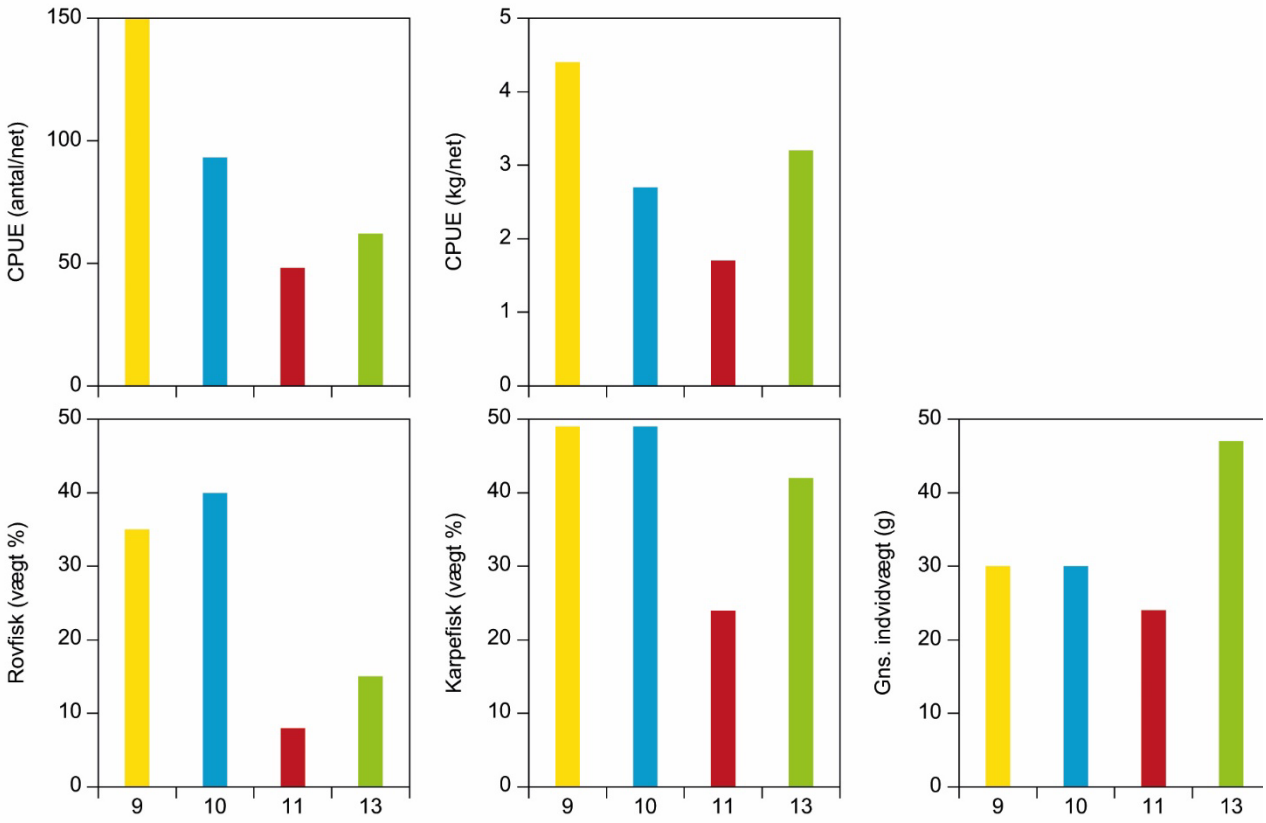
Tabel 2.10. Resultatet af statistiske tests (p-værdier) af sammenligning af de tre nøglevariable for undervandsplanter (RPA, RPV og dybdegrænse), hvor der er signifikante ændringer (p<0,05) for de søer, der blev undersøgt i de tre seneste seksårsperioder: 2004-2009 (periode 1), 2010-2015 (periode 2) og 2016-2021 (periode 3). Der er testet for forskelle mellem periode 1 og 3 og mellem periode 2 og 3. (+) angiver, at værdien er øget. Antal søer angiver det totale antal søer for hver søtype, som kan variere mellem parametrene. Til test af forskellene er der, hvis data er normalfordelt, anvendt parret t-test ellers Wilcoxon signed rank test. Se bilag 1 for nærmere beskrivelse.

Søtype	Antal søer		RPA		RPV		Dybdegrænse	
	Periode 1-3	Periode 2-3	Periode 1-3	Periode 2-3	Periode 1-3	Periode 2-3	Periode 1-3	Periode 2-3
1	5	6	-	-	-	-	-	-
2	2	2	-	-	-	-	-	-
5	7	7	-	-	-	-	-	-
6	1	1	-	-	-	-	-	-
9	87	88	0,033 (+)	-	0,010 (+)	-	<0,001 (+)	-
10	41	43	0,016 (+)	-	-	-	0,014 (+)	-
11	19	20	-	-	-	-	-	-
13	10	10	-	-	-	-	-	-
15	2	2	-	-	-	-	-	-
Alle søer	174	179	-	-	-	-	<0,001 (+)	-

2.6 Fisk

Fisk, status

Nøglevariable for fiskebestanden i 180 KT-søer, som er undersøgt i perioden 2016-2021, er vist i tabel 2.11 og for de fire mest almindelige søtyper i figur 2.17. Det største antal og den største biomasse blev generelt fundet i den lavvandede, ferske kalkrige søtype, hvor der som medianværdi blev fanget 151 fisk pr. garn og 4,4 kg pr. garn. Det er noget højere end den tilsvarende dybe søtype (søtype 10), hvilket formentlig er et udtryk for det lavere næringsstofniveau i de dybe søer. Af samme årsag blev der generelt fanget færre fisk, og biomassen var mindre i de kalkfattige søtyper (søtype 1-6), selvom der dog her må tages forbehold for det langt færre antal søer, der indgår i datasættet. Som medianværdi blev der i disse søer fanget mellem 9 og 26 fisk pr. garn og 0,3-1,5 kg fisk pr. garn. For de fire mest almindelige søtyper var den gennemsnitlige individbiomasse som medianværdi lavest i den brakke søtype 11.



Figur 2.17. Nøglevariable for fiskebestanden i de fire mest almindelige søtyper undersøgt i KT-søerne. Figuren viser median-værdier. Enheden på y-akserne ses af de enkelte overskrifter.

Tabel 2.11. Oversigt over nøgledata for fisk i de 180 KT-søer fordelt på ni søtyper (se tabel 1.1), som er undersøgt i perioden 2016-2021 (to søer er dog undersøgt i 2013 og 2015). Rovfiskenes andel er beregnet som den procentvise andel af gedde+aborre+sandart ≥10 cm af totalbiomassen. Karpefiskenes andel er beregnet som den procentvise andel af skalle+rudskalle+brasen+hybrider af totalbiomassen. Data er volumenkorrigerede i forhold til de enkelte dybdezoner i henhold til den tekniske anvisning (Johansson & Lauridsen 2011). For individbiomassen er to søer ikke inkluderet, da disse var uden fisk. CPUE: Catch Per Unit Effort.

	CPUE (antal/net)					CPUE (kg/net)				
Søtype	**Gns.**	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**N**	**Gns.**	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**n**
1	34	26	0	111	6	1,5	1,5	0,0	3,5	6
2	22	22	20	25	2	1,4	1,4	1,3	1,5	2
5	19	9	0	57	7	1,1	0,9	0,0	3,2	7
6	26	26	26	26	1	0,3	0,3	0,3	0,3	1
9	172	151	1	677	89	4,5	4,4	0,041	12,5	89
10	122	93	14	406	43	2,8	2,7	0,5	8,0	43
11	100	48	0,33	270	20	3,2	1,7	0,0004	16,1	20
13	91	62	23	233	10	3,5	3,2	0,1	8,2	10
15	47	47	7	88	2	1,5	1,5	1,3	1,7	2

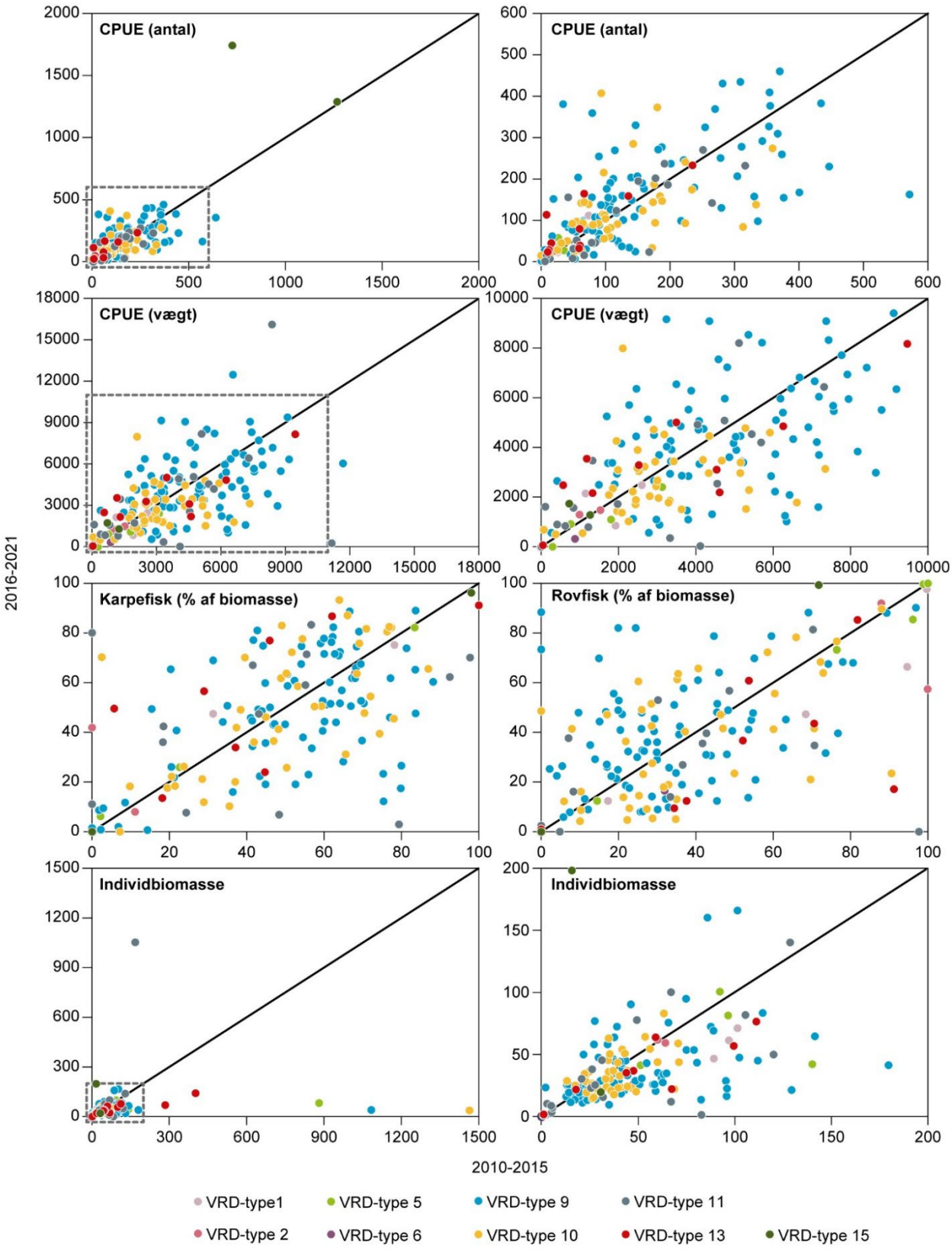
	Rovfisk (vægt, %)					Karpefisk (vægt, %)				
Søtype	**Gns.**	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**N**	**Gns.**	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**n**
1	37	30	0	98	6	20	0	0	75	6
2	75	75	57	92	2	25	25	8	42	2
5	53	73	0	100	7	16	0	0	82	7
6	16	16	16	16	1	64	64	64	64	1
9	39	35	0	100	89	46	49	0	89	89
10	36	40	4	90	43	49	49	0	93	43
11	20	8	0	81	20	32	24	0	83	20
13	27	15	0	85	10	43	42	0	91	10
15	50	50	0	99	2	48	48	0	96	2

	Gennemsnitlig individbiomasse (g/individ)				
Søtype	**Gns.**	**Median**	**Min.**	**Maks.**	**N**
1	50	54	22	71	6
2	60	60	59	62	2
5	70	81	41	101	7
6	26	26	26	26	1
9	38	30	9	166	89
10	34	30	14	83	43
11	86	24	1	1054	20
13	53	47	2	142	10
15	109	109	20	198	2

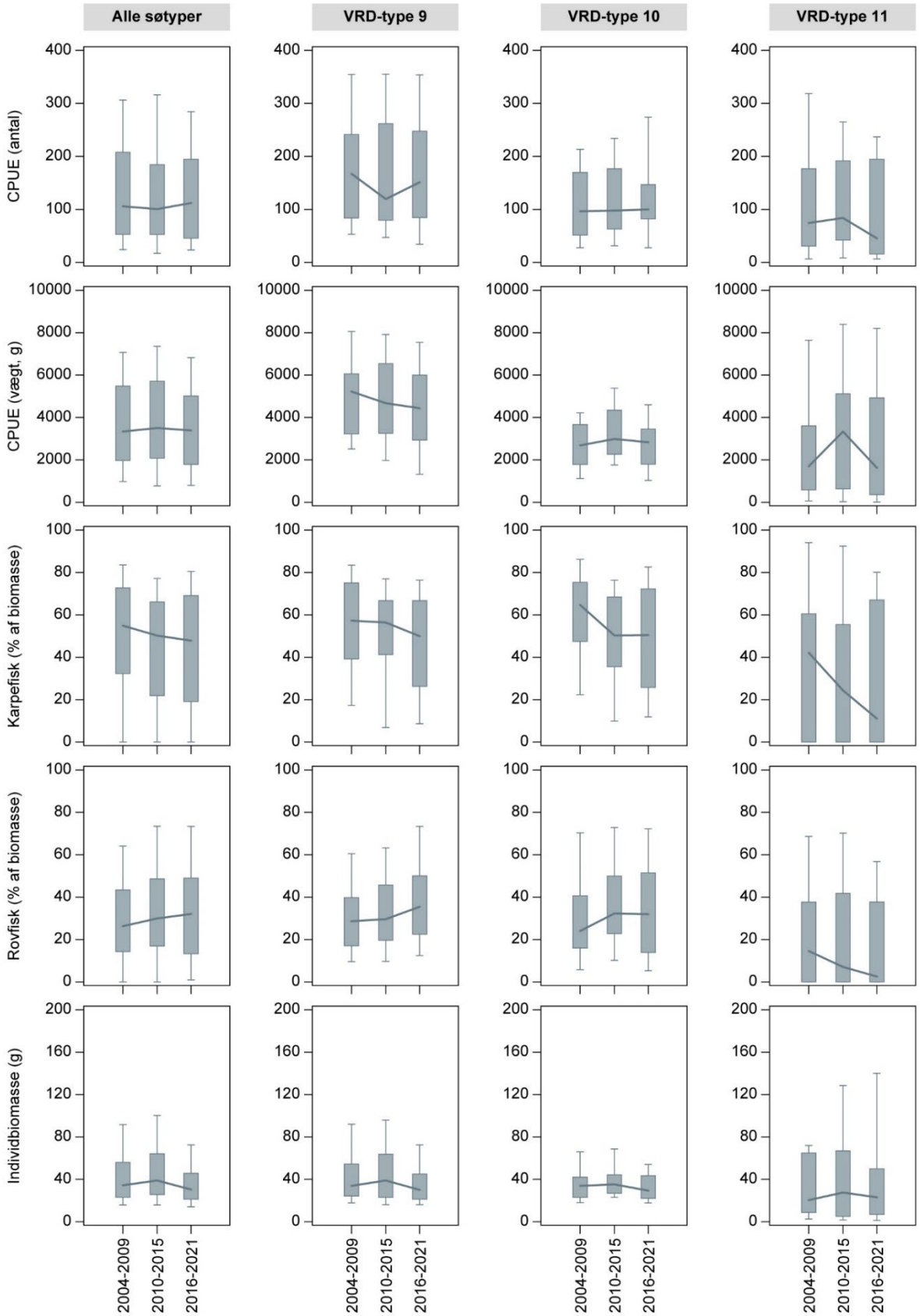
2.7 Udviklingstendenser fisk

Udviklingstendenserne i fiskesamfundene mellem de to seneste undersøgelsesperioder (2010-2015 og 2016-2021) er vist i figur 2.18. For alle de viste parametre er der for mange søer store forskelle mellem de to perioder – ofte med mere end en faktor 2, mens det er vanskeligt at se nogen tydelige udviklingstendenser blandt søtyperne. Eneste undtagelse er den gennemsnitlige individbiomasse, der ser ud til være reduceret fra 2010-2015 til 2016-2021. Dette bekræftes af de statistiske test vist i tabel 2.12 for flere af søtyperne og også for alle søer samlet. Blandt den gennemsnitlige individbiomasse indgår også søer, hvor der er meget store forskelle, og tendensen må derfor tages med forbehold. Det er dog en udvikling, som bekræfter tidligere analyser, der viste generelt faldende individbiomasse, hvilket kan skyldes den langsomt øgede temperatur i søer (Johansson m.fl. 2016; Guitierrez m.fl. 2016).

Udviklingstendenserne over en længere periode er vurderet ved at sammenligne 2004-2009 med 2016-2021 (figur 2.19, tabel 2.12). Denne sammenligning viser lidt flere signifikante ændringer, end når kun de to seneste seksårsperioder sammenlignes. I søtype 9 er der eksempelvis sket en signifikant reduktion i både CPUE-vægt, andelen af karpefisk samt den gennemsnitlige individbiomasse. En signifikant reduktion af CPUE-vægt og andel af karpefisk kan betragtes som værende positiv for søerne, mens en reduktion i individbiomasse må betragtes som værende negativ for søerne.



Figur 2.18. Ændringer fra 2010-2015 til 2016-2021 i det totale antal af fangede fisk (pr. net (CPUE antal), totalbiomassen pr. net (CPUE vægt), andelen af karpefisk og andelen af rovfisk (% af biomasse) samt den gennemsnitlige individvægt af fisk. Data er volumenkorrigerede, så der tages højde for søernes forskellige dybder. Hvis der er data for flere år i den enkelte periode, er det nyeste resultat anvendt. Fisk indsamlet med net med maskestørrelse 68 og 85 mm (som blev anvendt indtil 2017) i fiskeundersøgelserne er ikke medtaget. Rovfiskenes andel er beregnet som den procentvise andel af gedde+aborre+sandart >10 cm af totalbiomassen. Andelen af karpefisk er beregnet som den procentvise andel af skalle+rudskalle+brasen+hybrider af totalbiomassen (CPUE). Nogle få søer uden fisk er ikke medtaget i beregningerne. Se også tekst til figur 2.15 og tabel 2.12.



Figur 2.19. Boxplots, der fra oven illustrerer forskellen i henholdsvis totalfangst antal pr. garn, total vægt fanget pr. garn, den relative andel af karpefisk, den relative andel af rovfisk og den gennemsnitlige individbiomasse mellem de tre seksårige perioder 2004-2009, 2010-2015 og 2016-2021 for alle 180 KT-søer. Der er vist plots for alle søer og for de tre søtyper med flest data (data fra flere end 10 søer). Hver box med whiskers viser median, 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Statistiske test er vist i tabel 2.12.

Tabel 2.12. Resultat (p-værdier) af parret t-test (hvis data er normalfordelt) eller Wilcoxon signed rank test (hvis data ikke er normalfordelt) ved sammenligning af fiskeundersøgelser (parametre, som vist i figur 2.11 og 2.12), som blev undersøgt i de tre perioder 2004-2009 (Per. 1), 2010-2015 (Per. 2) og 2016-2021 (Per. 3). Antal søer angiver det totale antal søer for hver søtype, som kan variere mellem parametrene. Testen er vist for alle søer samlet og opdelt i søtyper. (-) angiver en signifikant reduktion. Perioderne 1 og 3 samt perioderne 2 og 3 er sammenlignet. Værdier er kun vist, hvis de er signifikante (p<0,05).

Søtype	**Antal søer**		**CPUE-antal**		**CPUE-vægt**		**Andel karpefisk**		**Andel rovfisk**		**Gns. ind.biomasse**	
	Per. 1-3	Per. 2-3	Per. 1-3	Per. 2-3	Per. 1-3	Per. 2-3	Per. 1-3	Per. 2-3	Per. 1-3	Per. 2-3	Per. 1-3	Per. 2-3
1	4	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03 (-)
2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	6	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
9	84	86	-	-	0,03 (-)	-	0,003 (-)	-	-	-	-	0,02 (-)
10	39	42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
11	19	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	9	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alle søer	164	176	-	-	-	-	0,04 (-)	-	-	-	-	0,001 (-)

3 Kontrolovervågning af søernes udvikling

3.1 Fytoplankton 1989-2018

Fytoplanktondata indsamlet tilbage til 1989 har i forbindelse med forberedelse til overgang fra databaserne stoq og ODA til VANDA været igennem en omfattende kvalitetssikring. I dette afsnit præsenteres derfor resultater af fytoplanktonundersøgelserne i de 18 KU-søer undersøgt i hele perioden fra 1989 til 2018. Der vises kun resultater over udviklingen og ikke nogen status over tilstanden i dag, idet der ikke er indsamlet flere data siden den forrige status vist i NOVANA-rapporten fra 2019 (Johansson m.fl. 2020). Her blev vist resultater fra 2017-2018.

Fytoplankton, udviklingstendenser

Udviklingen i de 18 KU-søers totale sommergennemsnitlige biovolumen fra 1989 til 2018 er vist i figur 3.1. De forskellige algegruppers relative andel af den totale biomasse i de samme søer er vist i figur 3.2. Generelt varierer det totale biovolumen temmelig meget fra år til år i mange af søerne – det er ikke usædvanligt med en forskel på en faktor 5 eller mere inden for få år. Dette gælder eksempelvis Furesøen, hvor der i 2006 var et biovolumen på 7,5 mm^3/l, mens det i 2009 var på 0,9 mm^3/l og i 2012 11,6 mm^3/l. Et andet eksempel er den forholdsvis næringsfattige Nors Sø, hvor den totale biovolumen i 2001 var på 0,56 mm^3/l, mens den året efter i 2002 var på 1,98 mm^3/l. Afstanden imellem prøvetagningsår gør, at det i nogle tilfælde er vanskeligt at sige, om der kun er tale om naturlige variationer fra år til år, eller om der reelt er sket en udvikling.

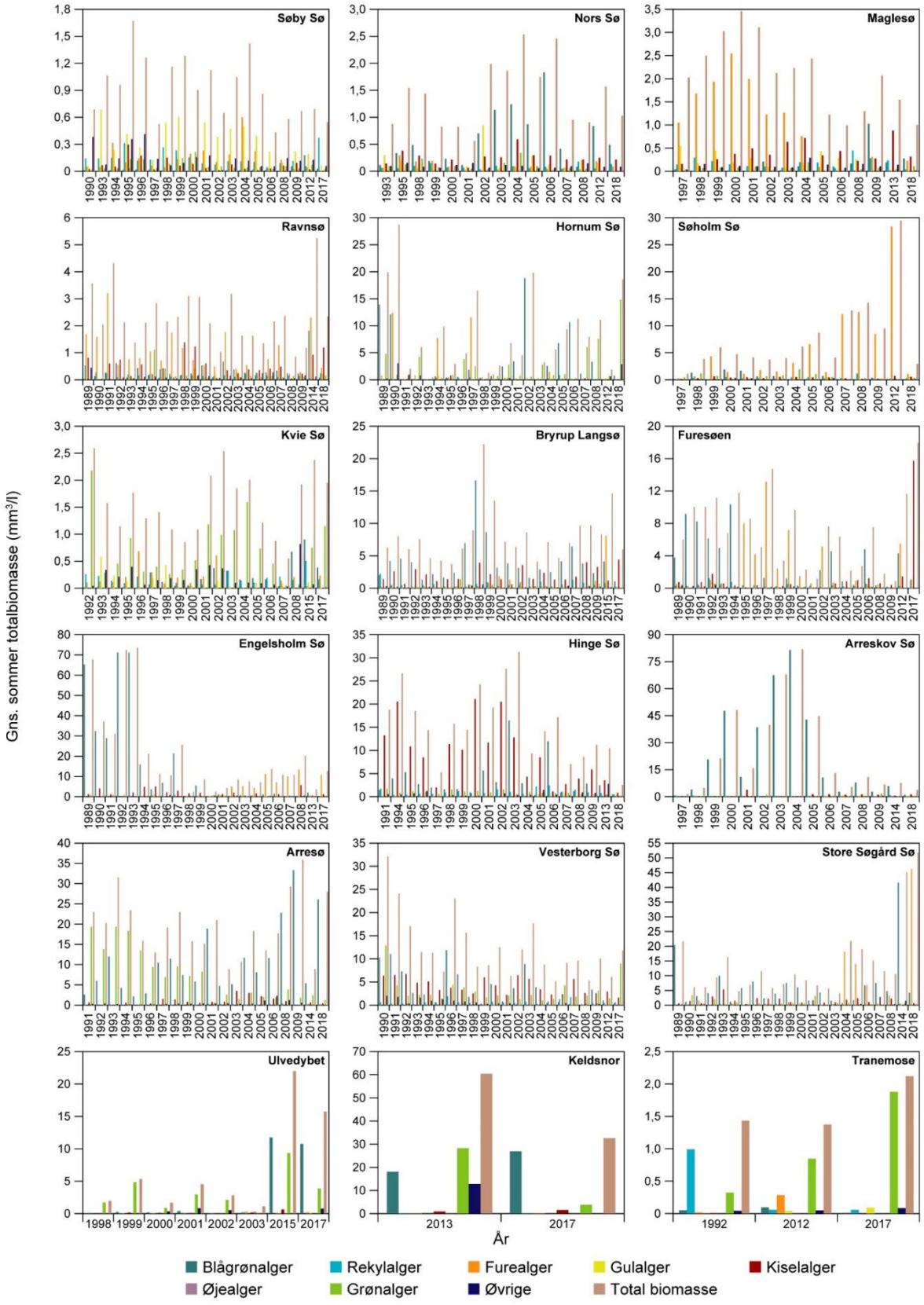
I nogle søer ser det i overvågningsperioden ud til, at der er sket et skift i biovolumen. Dette ses eksempelvis i Engelsholm Sø, hvor biovolumenet efter 1993 blev markant reduceret fra omkring 70 mm^3/l til ofte under 10 mm^3/l. Dette kan forklares med, at Engelsholm Sø i 1990'erne blev restaureret ved indgreb i fiskebestanden (https://www2.dmu.dk/pub/fr636_del2.pdf). I Søholm Sø var der et stadigt øget biovolumen fra 2003 og frem til 2012, men ved den seneste måling i 2018 er biovolumenet igen tilbage til niveauet fra 2003.

Store år-til-år variationer kan også skyldes tilfældigheder i forhold til, om kortvarige opblomstringer fanges i de månedlige prøvetagninger eller ej. Fytoplanktonets generationstid og opblomstringshastighed er meget kortere end prøvetagningsfrekvensen, og det vil øge variationen.

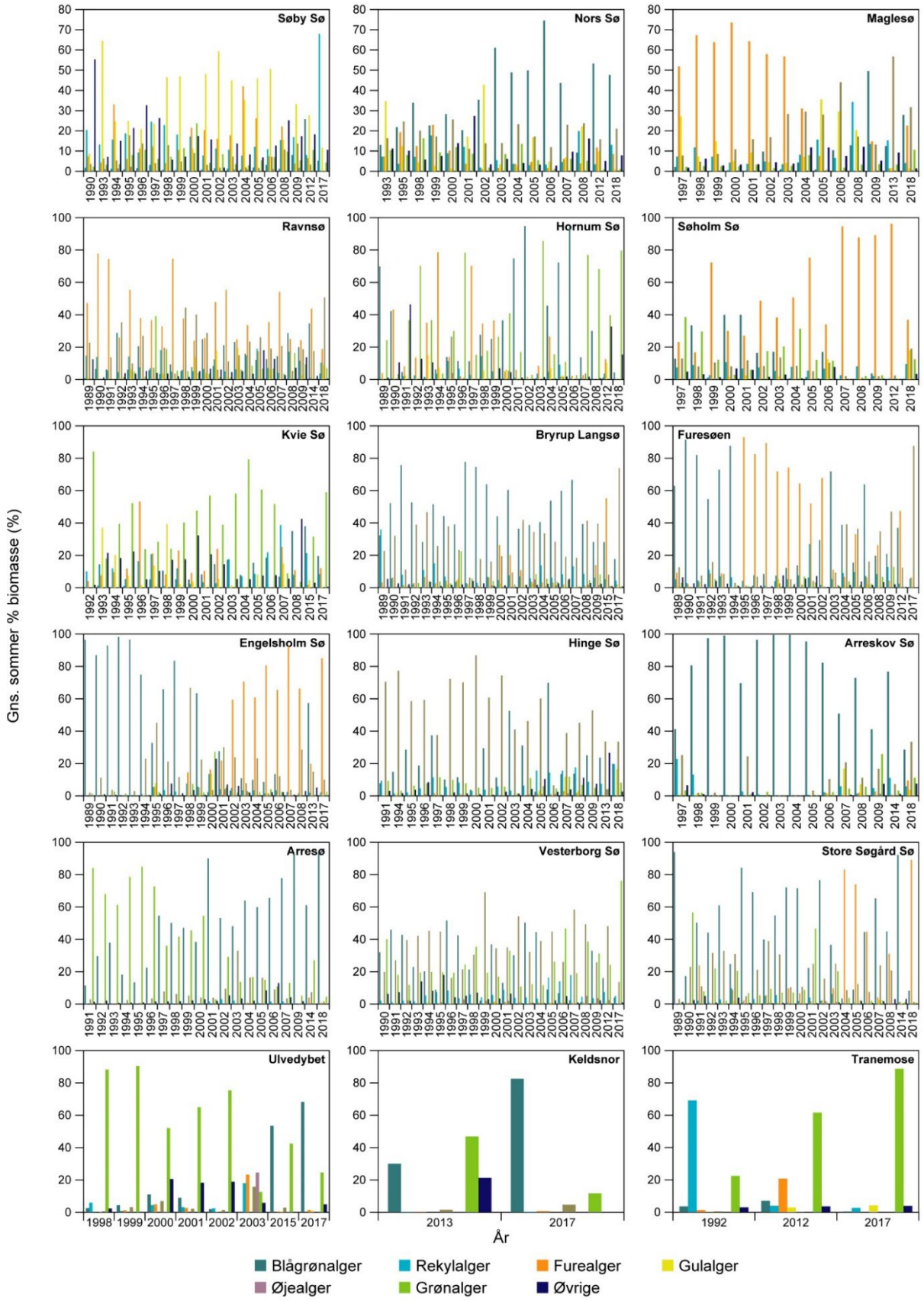
Fytoplanktonsammensætningen i de 18 KU-søer er ligeledes meget varierende hen over årene (figur 3.2). Et eksempel er Maglesø, hvor furealgerne dominerede frem til 2003, men siden da har sammensætningen været mere jævnt fordelt blandt algegrupperne. Et andet eksempel er Engelsholm Sø, hvor blågrønalgerne dominerede de fleste år frem til 1999, hvorefter furealgerne oftest har været dominerende. I mange af søerne har blågrønalgerne oftest udgjort den største andel af biovolumenet. Dette gælder i udpræget grad Arreskov Sø, hvor blågrønalgerne i mange år har udgjort mellem 90 og 100 % af det gennemsnitlige sommerbiovolumen. I Arresø ser blågrønalgernes andel gennem årene i måleperioden ud til at have været støt stigende.

Statistiske tests for de 16 søer, hvorfra der er data nok, er vist i tabel 3.1 og 3.2. Her er der testet for signifikante ændringer over henholdsvis hele perioden (1989-2021) og over de sidste 20 år (2002-2021). Bemærk, at tabellerne også viser ændringer på 10 %'s signifikansniveau. Over hele perioden er det totale biovolumen reduceret signifikant i fem af de 16 søer og øget i én. Hvis der kun ses over de sidste 20 år, er der en signifikant reduktion i tre søer. I hovedparten af søerne er der således ikke sket nogen signifikante ændringer hverken gennem hele måleperioden (1989-2021) eller de seneste 20 år.

Blandt de forskellige grupper af fytoplankton ses også flest ændringer over hele perioden (1989-2021). De grupper, som har ændret sig i flest søer, er furealgerne, som er gået signifikant frem i seks søer og signifikant tilbage i tre søer. Mængden af blågrønalger er øget i tre søer og reduceret i fire søer. For de øvrige grupper med ændringer er der oftest tale om et reduceret biovolumen. Testes udviklingen alene over de sidste 20 år, er der færre signifikante ændringer, og i de fleste tilfælde er der tale om et signifikant reduceret biovolumen (tabel 3.2).



Figur 3.1 Udviklingen i fytoplanktonets sommergennemsnitlige totalbiovolumen og i de enkelte algegruppers biovolumen i de 18 KU-søer vist for perioden 1989-2018. Søerne er rubriceret (i læseretningen) efter stigende indhold af totalfosfor (sommergennemsnit) ved den seneste måling. Ulvedybet, Keldsnor og Tranemose har ikke været inkluderet i KU-søerne i hele perioden. Bemærk de meget forskellige skalaer på y-akserne.



Figur 3.2 Udviklingen i fytoplanktonets sammensætning vist som forskellige algegruppers andel (%) af det totale sommergennemsnitlige biovolumen i de 18 KU-søer for perioden 1989-2018. Søerne er rubriceret (i læseretningen) efter stigende indhold af totalfosfor (sommergennemsnit) ved den seneste måling. Ulvedybet, Keldsnor og Tranemose har ikke været inkluderet i KU-søerne i hele perioden.

Tabel 3.1. Udviklingen (sommergennemsnit) i søernes totale biovolumen og biovolumen for algegrupperne i perioden 1989-2018 i de KU-søer, som er undersøgt mindst syv gange (år) i perioden. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. Hvis der ikke er angivet noget, har der ikke har været nogen signifikant ændring i den undersøgte periode.

Sønavn	Blågrøn-alger	Rekyl-ager	Fure-alger	Gul-alger	Kisel-alger	Øje-alger	Grøn-alger	Øvrige	Total Biovolu-men
Nors Sø							- -		
Ulvedybet			+						
Hornum Sø			- -						
Hinge Sø					- - -		- - -		- -
Ravnsø		-	- -				+		
Bryrup Langsø						+			
Søby Sø		-						-	-
Kvie Sø	+ + + +			-					
Engelsholm Sø	- - - -		+ + + +	+ +					- -
Store Søgård Sø			+ + +						
Arreskov Sø			+ + +				+ + +		
Søholm Sø	- -		+ +						+ +
Arresø	+ +						- - - -		
Furesøen	-							- - - -	
Maglesø	+ + +		- - -	- -					- -
Vesterborg Sø	- - -		+		- - -	+		- - - -	- -

Tabel 3.2. Udviklingen (sommergennemsnit) i søernes totale biovolumen og biovolumen for algegrupperne i perioden 2002-2021 i de KU-søer, som er undersøgt mindst syv gange (år) i perioden. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. Hvis der ikke er angivet noget, har der ikke har været nogen signifikant ændring i den undersøgte periode.

Sønavn	Blågrøn-alger	Rekyl-alger	Fure-alger	Gul-alger	Kisel-alger	Øje-alger	Grøn-alger	Øvrige	Total biovo-lumen
Nors Sø					-		- -		-
Ulvedybet									
Hornum Sø			-						
Hinge Sø					- -		- - -		- -
Ravnsø									
Bryrup Langsø									
Søby Sø	+		-	- -					
Kvie Sø								-	
Engelsholm Sø						-			
Store Søgård Sø						- - -			
Arreskov Sø	- -		+ +			+			- -
Søholm Sø							-		
Arresø	+ +				- -				
Furesøen					+ +				
Maglesø									
Vesterborg Sø					-				

3.2 Massebalancer i 10 KU-søer

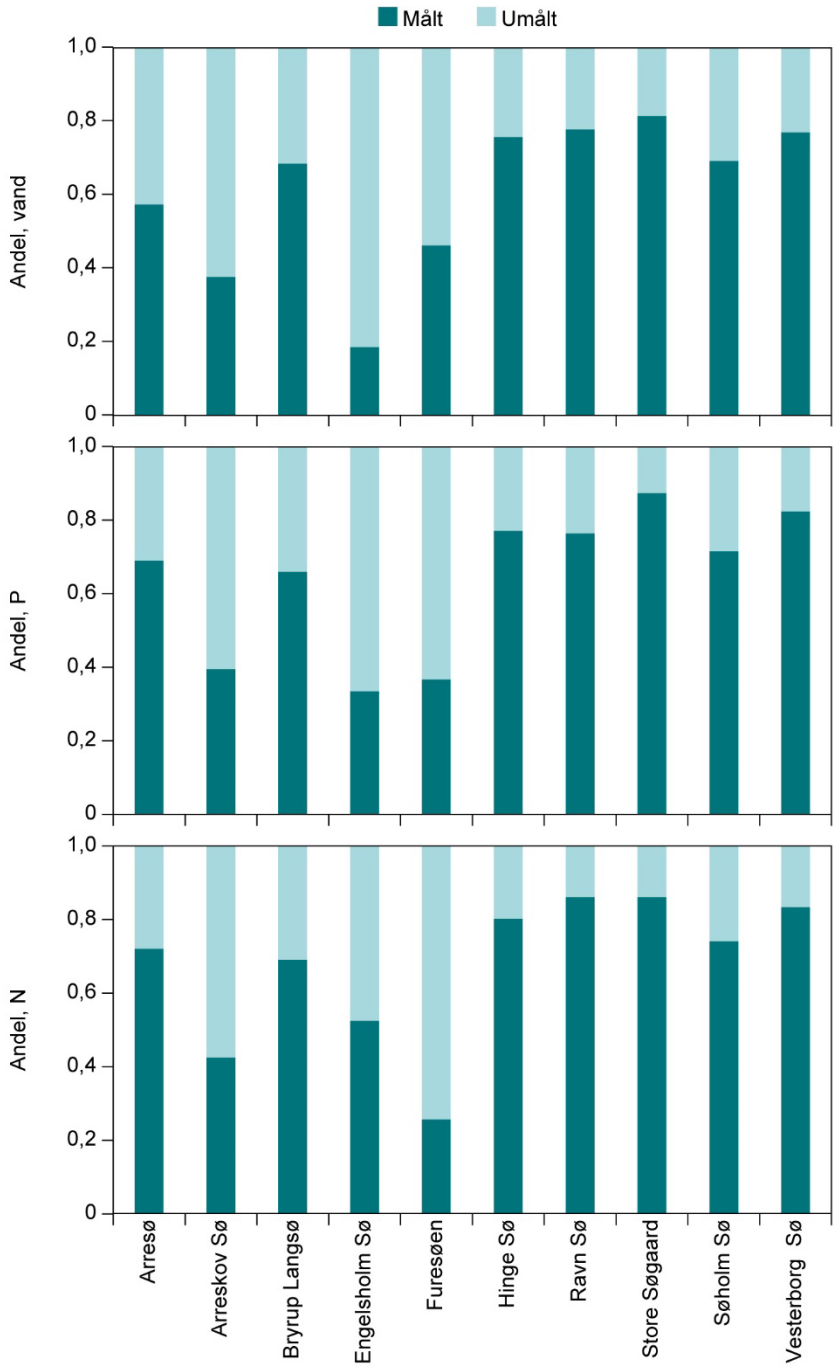
Sammenfatning

Der er opgjort næringsstofbalancer og kildeopsplitning for 10 KU-søer med veldefinerede vandbalancer. Metoden for opgørelsen følger en modificeret version af metoden bag NOVANA-rapporteringen i 2019 (Johansson m.fl. 2019) og dækker perioden 1990-2020. Der er anvendt en forbedret opgørelse af vandbalancen samt anvendt opdaterede estimater for spredt bebyggelse jf. Miljøministeriet (2021). Denne opdatering nedskriver generelt bidraget fra spredt bebyggelse, hvilket reducerer den vandføringsvægtede koncentration af kvælstof og fosfor i vandet, der løber til søerne fra punktkilder. Specielt for fosfor er de største ændringer i tilførslen til søerne sket i begyndelsen af overvågningsperioden. Den relative næringsstoftilbageholdelse i søerne viser store variationer og generelt ingen markante ændringer. Der er dog en mindre fosfortilbageholdelse i begyndelsen af perioden (1990-1994), hvilket tilskrives en respons på en historisk pulje af fosfor, der frigives. Der er en omvendt tendens for kvælstof, hvor tilbageholdelsen er størst først i perioden.

Næringsstofkilder og -balancer

Af de 18 søer, som indgår i kontrolovervågningen af udvikling, er der opstillet og præsenteret næringsstofbalancer for alle undersøgelsesår i perioden 1990-2020 for 10 søer. 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). Andelen af hhv. målt og umålt vand, P og N ses for de 10 udvalgte søer i figur 3.3. Sammenlignet med de andre søer er Engelsholm Sø speciel, ved at en stor del af det tilførte vand stammer fra kilder i søen. Det betyder, at, selvom der er målt på hovedindløbet, er den hydrauliske belastning domineret af primært umålt vand.

Figur 3.3. Andel af hhv. målt og umålt vand, P og N i indløbet samlet for hele perioden siden 1990.



Inputdata til opgørelsesmetoden estimeres vha. DK-QNP-modellen på ID15-oplandsniveau (Thodsen m.fl. 2019b). Selve opgørelsesmetoden følger beskrivelsen i Johansson et al. (2019), hvor justeringer i forhold til Bjerring m.fl. (2014) er beskrevet. I vand- og næringsstoftilførslerne (kvælstof og fosfor) til søerne indgår tilførsler fra de målte tilløb samt et modelleret diffust bidrag fra søernes umålte delopland (se bilag 1 for yderligere detaljer).

Opgørelsesmetoden er i nærværende afrapportering udvidet til, at magasinering af vand i søen i en aktuel måned dels påvirkes af tilstrømmende og udstrømmende vand i den aktuelle måned, dels af den foregående måneds tilstrømmende vand. Især for de større søer med forholdsvis stor hydraulisk magasinering har det vist sig at være en fordel at tillægge forrige måneds indløb

en betydning (se også bilag 1). Opgørelsesmetoderne vil blive uddybet i et teknisk notat, der forventes at blive udgivet i 2023 (Sørensen m.fl. 2023, in prep.).

Næringsstofbelastningen til søen er opgjort som summen af næringsstofmængden fra søens målte oplandsdel og fra den umålte del samt atmosfærisk bidrag. Næringsstofkoncentrationen i umålt vandtilførsel bestemmes ved brug af det målte tilløb, der er korrigeret for den oplandsspecifikke punktkildebelastning, så det alene er det diffuse bidrag, der indgår (se også bilag 1).

Vandbalancer

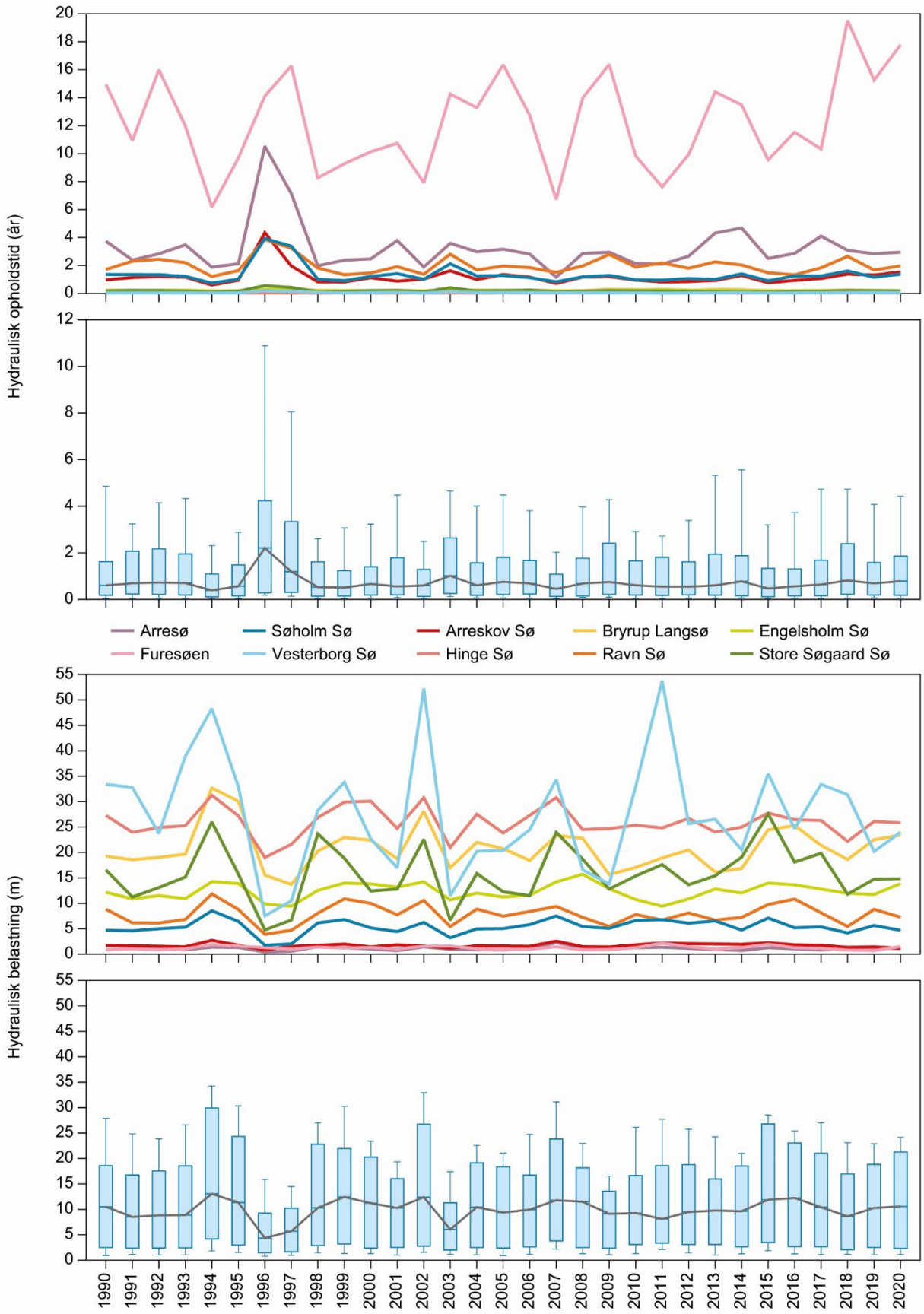
Etableringen af gode beregninger af vandbalancer er en vigtig forudsætning for at kunne lave pålidelige massebalanceberegninger af fosfor og kvælstof. Generelt varierer vandtilførslen betydeligt fra år til år, hvilket også påvirker tilførslen af næringsstoffer. Det er således markant, at tørre år som f.eks. 1996 og 1997 gav anledning til en lavere afstrømning og en betydeligt længere hydraulisk opholdstid i søerne (figur 3.4). Senest gav den tørre sommer 2018 også lidt længere opholdstid for nogle af søerne.

Der er stor variation i både opholdstid og vandtilførsel, og der ses ingen generel tidslig udvikling (figur 3.4). I 2020 var medianopholdstiden for søerne 0,79 år, med et maksimum på 19,5 år i Furesøen (den næsthøjeste registrerede opholdstid i overvågningsperioden) og et minimum på 0,05 år i Hinge Sø. En opholdstid på 19,5 år i Furesøen betyder, at der det pågældende år blot udskiftes ca. 5 % af det samlede vandvolumen i søen, mens en opholdstid på 0,05 år i Hinge Sø betyder, at vandet udskiftes 20 gange i løbet af et år. Denne voldsomme gennemstrømning ses også i figur 3.4 for Hinge Sø som en høj hydraulisk belastning, målt som vandtilførsel til søen pr. arealenhed af søen.

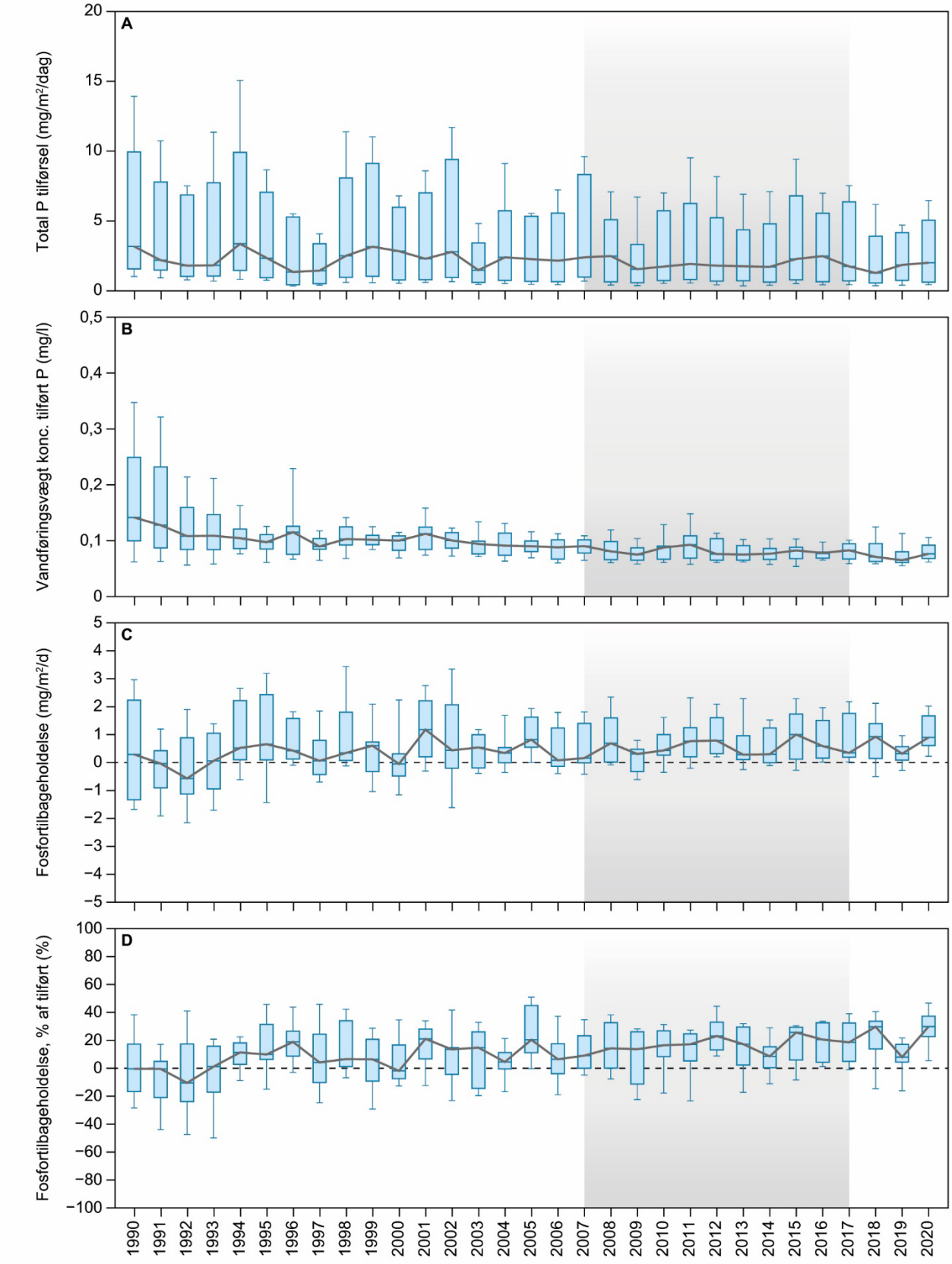
Fosforbalancer

Vandtilførslen har en væsentlig betydning for den specifikke tilførsel af fosfor, da udvaskningen fra det åbne land øges med større vandtilførsel. Tilførslen af fosfor har generelt været faldende gennem perioden, dog med en afvigelse i de to tørre år 1996 og 1997, hvor den var lavere end de andre år på grund af den lavere vandtilførsel (figur 3.4).

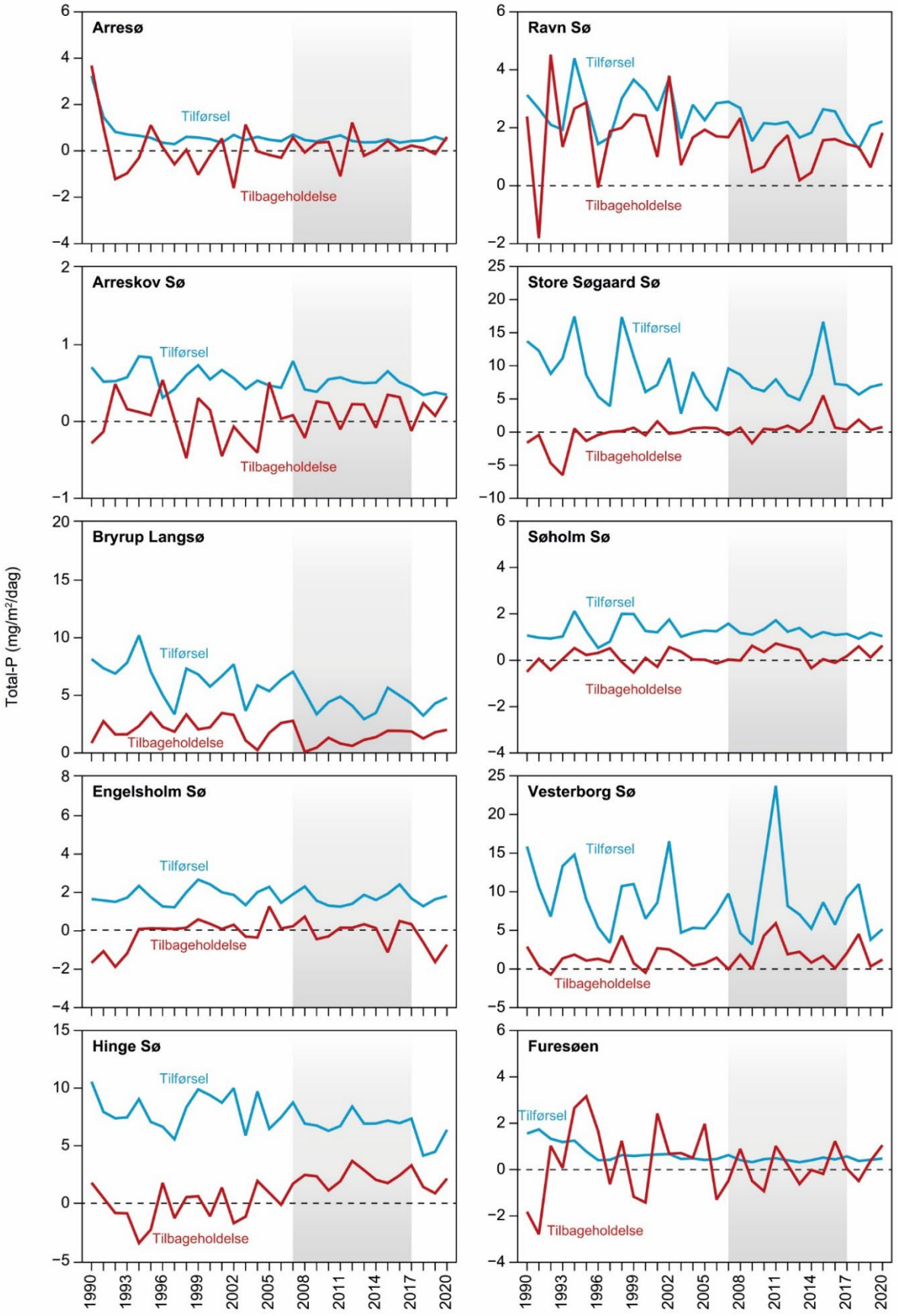
Den vandføringsvægtede fosforkoncentration i det vand, der strømmer til søerne, er reduceret (figur 3.5 og 3.6) fra en samlet medianværdi på tværs af søerne på omkring 0,11 mg P/l i perioden 1990-1994 til omkring 0,08 mg P/l i perioden 2005-2009, mens reduktionen siden da har været begrænset, dog med et svagt jævnt fald (tabel 3.3). Denne tendens ses også for de enkelte søer i radarplot i figur 3.8, hvor de største fald sker i første del af perioden. Det er primært de højeste koncentrationer af fosfor i tilført vand, der er reduceret markant i begyndelsen af overvågningsperioden. Således er 75 %-fraktilen for koncentrationen i tilført vand faldet med ca. 50 % fra perioden 1990-1994 (0,16 mg P/l) til 2020 (0,08 mg P/l) (tabel 3.3).



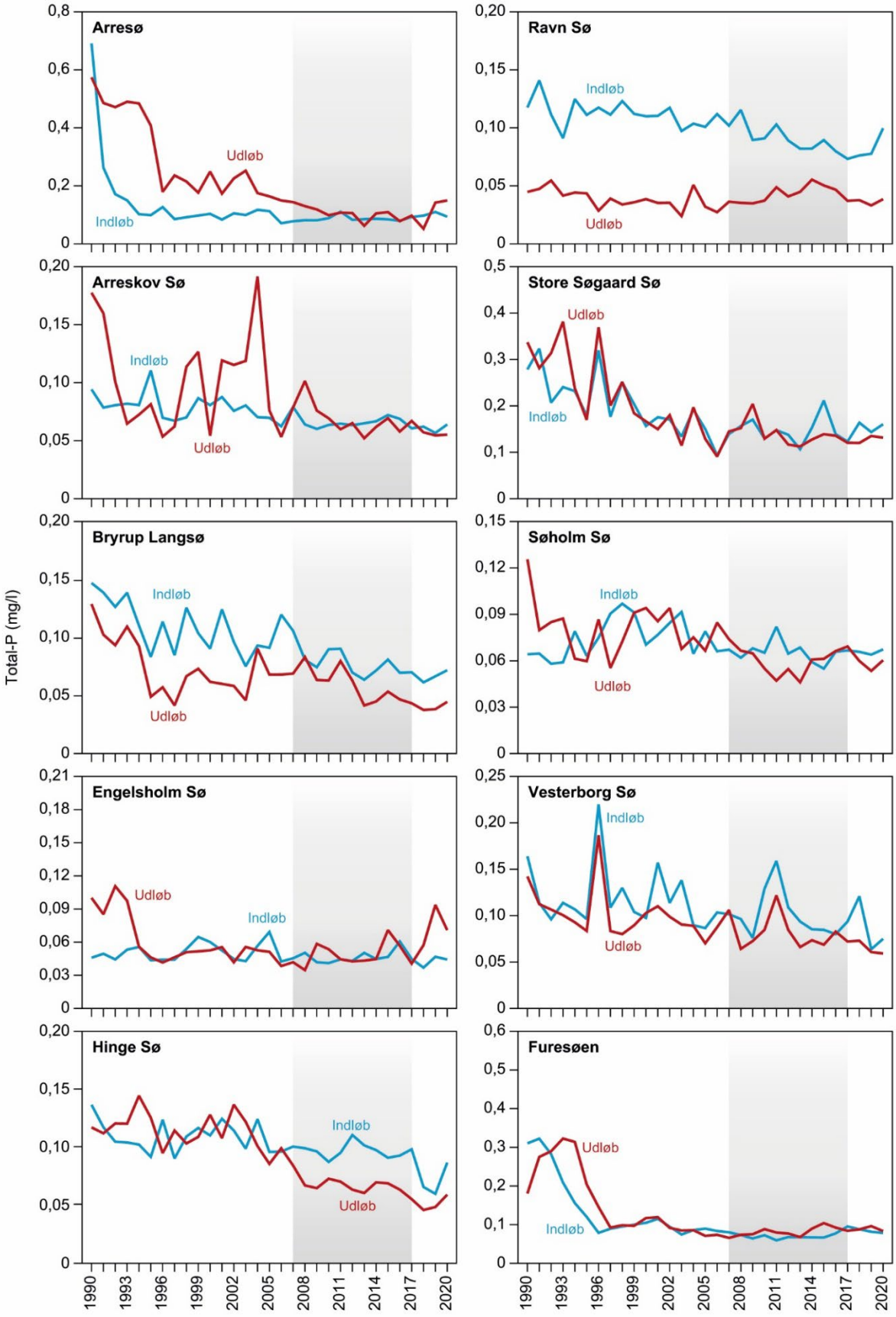
Figur 3.4. Opholdstid (år) for de 10 KU-søer med næringsstofbalancer 1990-2020 for de enkelte søer (øverst) samt generelt for de 10 KU-søer (næstøverst). Vandtilførsel illustreret som hydraulisk belastning (m/år) for de 10 KU-søer enkeltvis (næstnederst) samt generelt for de 10 KU-søer (nederst). Bjælkerne i boxplottene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier. Den hydrauliske belastning er beregnet som den totale tilførte vandmængde pr. år i m3 divideret med søens overfladeareal i m2.



Figur 3.5. Fosforudviklingen i de10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer i perioden 1990 til 2020. Totalfosfortilførsel (øverst, mg P/m^2/dag),: vandføringsvægtet koncentration (næstøverst, mg P/l) af totalfosfor i tilført vand, fosfortilbageholdelsen (næstnederst, mg P/m^2/dag), fosfortilbageholdelse i % af tilførslen (nederst). Bjælkerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier. Grå markering = resultaterne kan være underestimerede.



Figur 3.6. Udvikling i årlig tilførsel og tilbageholdelse af fosfor (Total-P) i hver af de 10 KU-søer, for hvilke der er beregnet næringsstofbalancer. Grå markering = resultaterne kan være underestimerede.



Figur 3.7. Udvikling i den årlige vandføringsvægtede koncentrationen af totalfosfor (Total-P) i tilført vand samt i udløb til hver af de 10 KU-søer, for hvilke der er beregnet næringsstofbalancer. Grå markering = resultaterne kan være underestimerede.

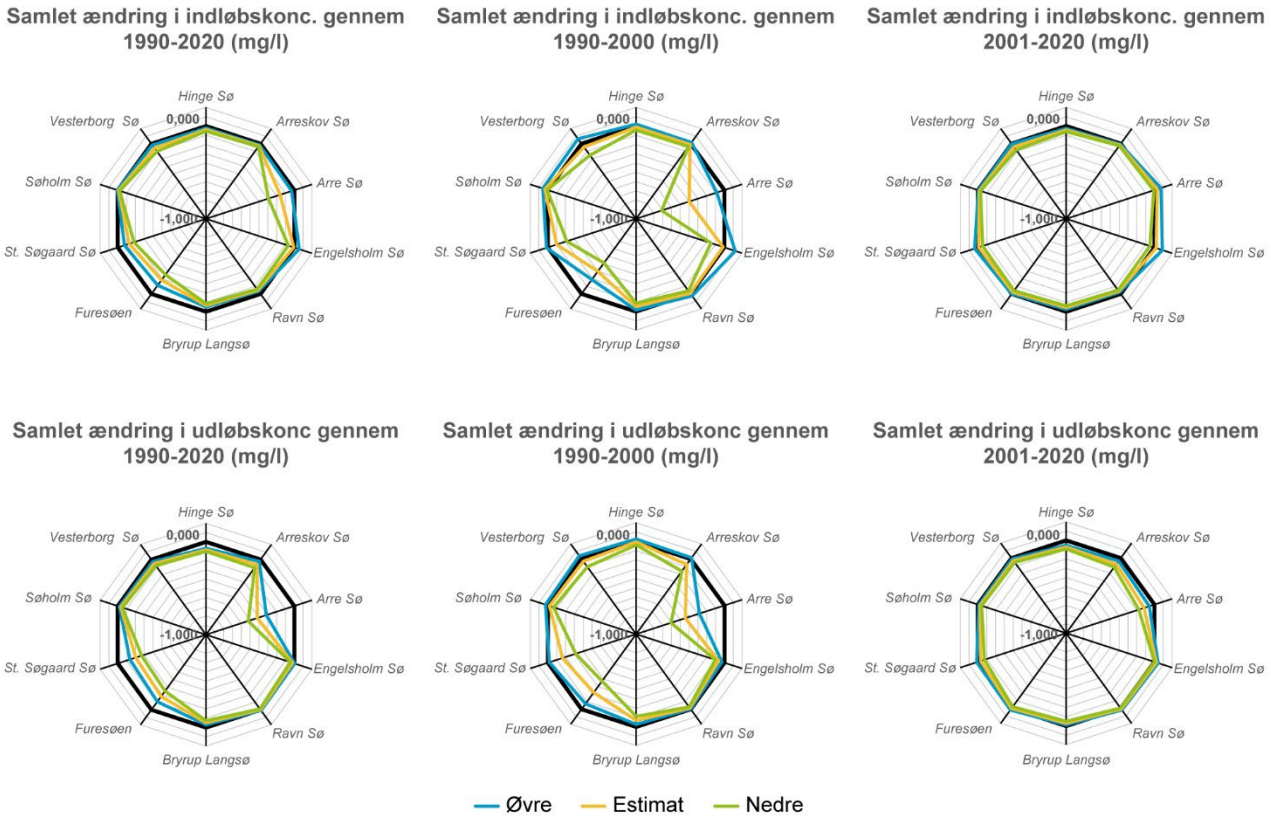
Reduktionen i fosforkoncentrationen i tilført vand til søerne forklares ved reducerede punktkildetilførsler, som har været markante – f.eks. spildevand fra rensningsanlæg (tabel 3.5). Reduktioner i fosforkoncentrationen i udløbet er dels et resultat af den lavere koncentration i tilført vand, dels af ændringer i fosfortilbageholdelsen i søerne. I begyndelsen af 1990'erne har søer med en tidligere høj belastning aflastet/frigivet dele af den ophobede fosforpulje. Dette kan aflæses i den relativt store reduktion, der er sket i de højeste fosforkoncentrationer i udløbene i perioden 1990-1994 (figur 3.7). Faldet i fosfortilførslen i de mest belastede søer har resulteret i, at mediankoncentrationen i udløbene er faldet med mere end 46 % fra 1990-1994 frem til 2020 (tabel 3.2). Det generelle fald i udløbskoncentrationen set over alle 10 søer er størst i den første del af overvågningsperioden (21 % fra 1990-1994 til 1995-1999).

Tabel 3.3. Totalfosforkoncentration (Total-P konc. (mg P/l)) samt fosfortilførslen (Total-P mængde (mg P/ m^2/dag)) i det vand, der strømmer til (tilløb) og fra (udløb) de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer fra 1990 til 2020 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014, 2015-2019 samt 2020.

	Periode		Gns.	Min.	25 %	50 %	75 %	Maks.
Tilførsel	1990 -	1994	0,146	0,044	0,080	0,114	0,160	0,691
Total-P konc.	1995 -	1999	0,109	0,043	0,084	0,099	0,117	0,319
(mg/l)	2000 -	2004	0,101	0,043	0,078	0,097	0,115	0,192
	2005 -	2009	0,088	0,042	0,068	0,082	0,101	0,170
	2010 -	2014	0,085	0,041	0,065	0,082	0,097	0,159
	2015 -	2019	0,082	0,037	0,064	0,077	0,092	0,211
	2020 -	2020	0,084	0,044	0,066	0,077	0,090	0,160
Tilførsel	1990 -	1994	5,075	0,519	1,128	2,230	8,043	17,461
Total-P mængde	1995 -	1999	3,791	0,293	0,615	2,003	6,102	17,351
(mg/m^2/dag)	2000 -	2004	3,789	0,356	0,652	2,217	5,974	16,522
	2005 -	2009	3,256	0,321	0,554	2,275	5,406	9,760
	2010 -	2014	3,543	0,318	0,551	1,776	5,425	23,708
	2015 -	2019	3,324	0,344	0,543	1,870	5,326	16,637
	2020 -	2020	2,987	0,348	0,463	2,014	4,963	7,226
Udløb	1990 -	1994	0,176	0,042	0,086	0,112	0,256	0,574
(mg/l)	1995 -	1999	0,112	0,028	0,052	0,088	0,136	0,408
	2000 -	2004	0,105	0,024	0,057	0,094	0,121	0,252
	2005 -	2009	0,081	0,027	0,064	0,073	0,089	0,204
	2010 -	2014	0,072	0,037	0,050	0,064	0,084	0,148
	2015 -	2019	0,072	0,033	0,051	0,065	0,086	0,142
	2020 -	2020	0,075	0,038	0,050	0,060	0,077	0,149

De årlige middelkoncentrationer for hver sø i figur 3.7 anvendes i en simpel statistisk analyse, hvor resultaterne i figur 3.8 vises som radarplot. Analysen beskrives i det følgende. Ændringen analyseres over hhv. perioderne 1990-2020, 1990-2000 og 2001-2020, dels for at afdække signifikante ændringer for de enkelte søer, dels for at sammenligne størrelsen af ændringerne mellem søerne. Ændringer i hhv. ind- og udløbskoncentrationers vandføringsvægtede årsgennemsnit for fosfor er afbildet med værdier for hver sø. Ændringen over en periode er estimeret med en lineær model, hvor en hældningskoefficient for årsændringer over den angivne tidsperiode er multipliceret med antallet af år i perioden. En nedre og øvre værdi af denne ændring over perioden er estimeret som hhv. nedre og øvre værdi for hældningskoefficientens 95 %'s konfidensinterval. Første kolonne i figur 3.8 viser ændringen for hver sø over

hele perioden på 31 år, mens den midterste og højre kolonne viser udviklingen i hhv. de første 11 år og de seneste 20 år. En ændring på nul er indsat som en fuldt optrukken linje. Den "øvre værdi" svarer til øvre værdi i et 95 % konfidensinterval og tilsvarende svarer "nedre værdi" til den nedre værdi i dette interval, mens "estimatet" er den statistisk forventede værdi. Så hvis øvre værdi i intervallet er negativt, udvises et signifikant (p=0,05) fald i den pågældende periode. Generelt for søerne ses ændringen i indløbs- og udløbskoncentration som et fald i den første 10-årsperiode afløst af mere konstante koncentrationsniveauer i den seneste 21-årsperiode. Der er ikke nogen søer, der har en tydelig modsatrettet (positiv/negativ eller negativ/positiv) udvikling mellem de to perioder.



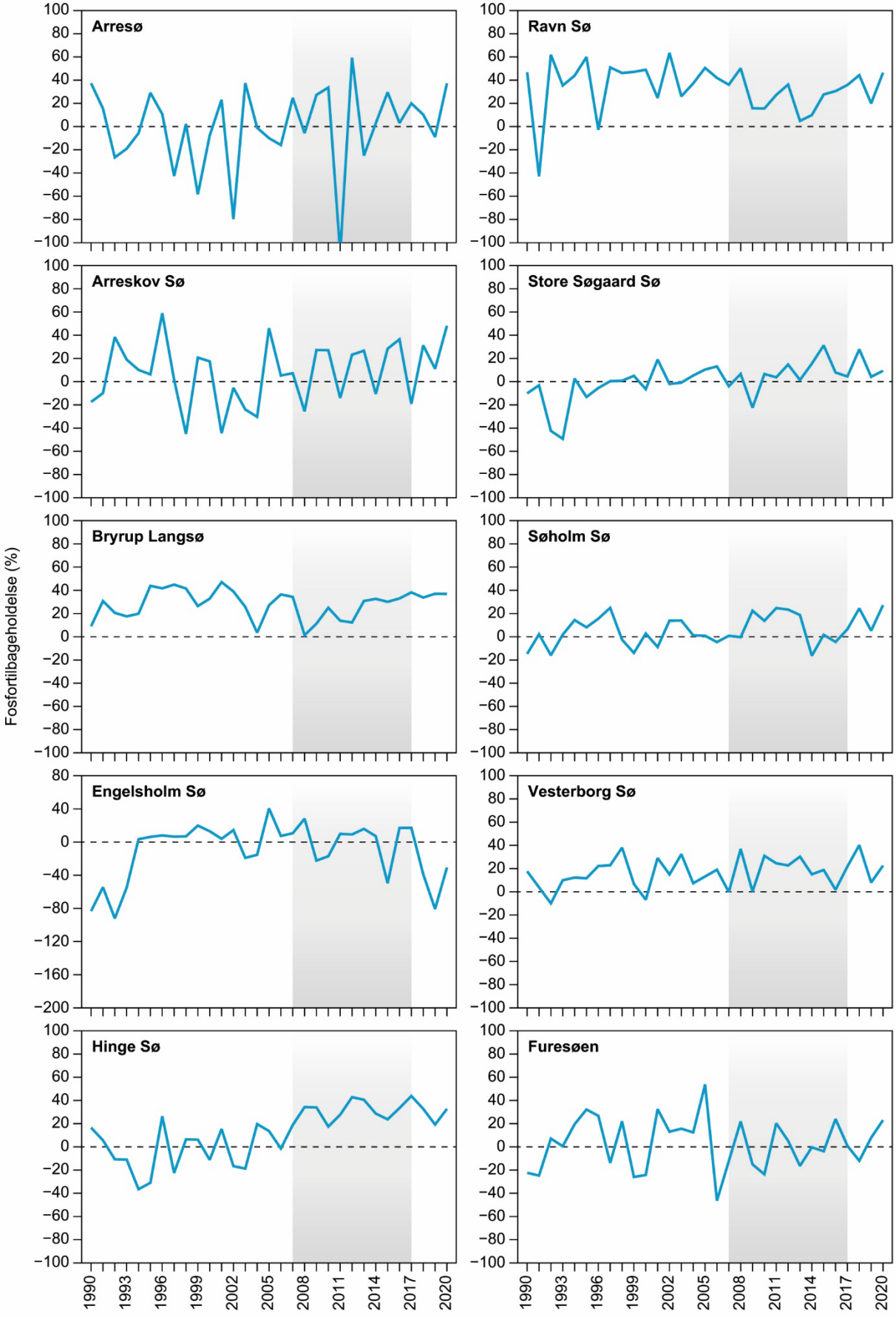
Figur 3.8. Radarplots, der viser den samlede ændring i fosforkoncentrationen i hhv. indløb og udløb gennem de angivne perioder. Den "øvre værdi" svarer til øvre værdi i et 95 % konfidensinterval. Tilsvarende svarer "nedre værdi" til den nedre værdi i dette interval, mens "estimatet" er den statistisk forventede værdi. En ændring på nul er indsat som en fuldt optrukken sort linje..

Såvel den specifikke som den relative tilbageholdelse af fosfor i søerne har været relativt beskeden i størstedelen af søerne og fluktuerer en del gennem undersøgelsesperioden (figur 3.5, 3.6) i visse søer (f.eks. Furesøen, Arreskov Sø og Arresø). Tilbageholdelsen varierer også gennem sæsonen (Søndergaard et al. 2012). Den årlige fosfortilbageholdelse var generelt forholdsvis lav i begyndelsen af 1990'erne (figur 3.5), hvilket er et udtryk for påvirkning fra en fosforpulje ophobet i sedimentet. Flere søer havde således negativ fosfortilbageholdelse (betyder, at der sker en frigivelse) i perioden 1990-1994, mens medianværdien fluktuerede i intervallet 0,467-0,470 mg P/m^2/dag i de efterfølgende perioder indtil 2019. I 2020 var fosfortilbageholdelsen 0, 983 mg P/m^2/dag (tabel 3.4).

Tabel 3.4. Specifik (Total-P tilbageholdelse (tbh) (mg P/m^2/dag)) og relativ (Total-P tbh (% af tilførsel)) tilbageholdelse (tbh) af totalfosfor i hver af de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer fra 1990 til 2020 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014, 2015-2019 samt 2020.

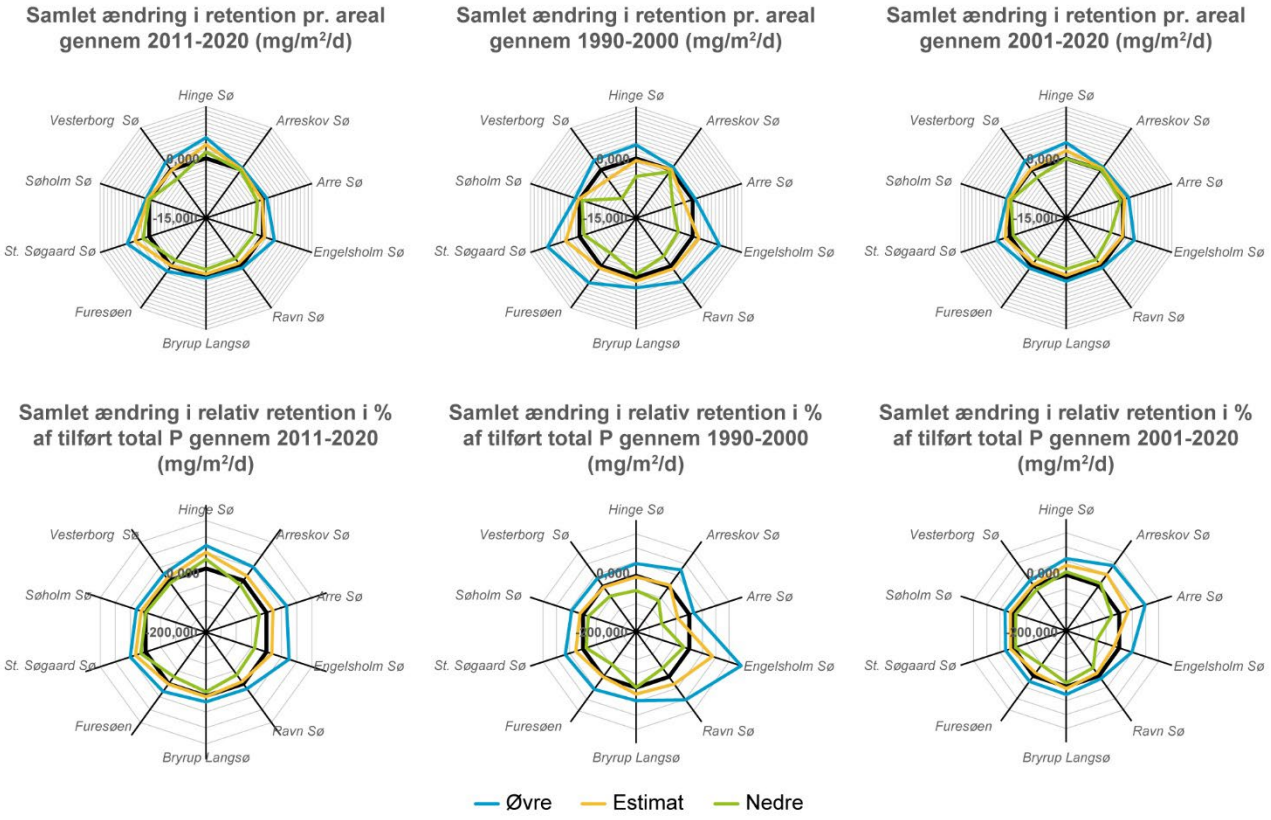
	Periode		Gns.	Min.	25 %	50%	75 %	Maks.
Total-P tbh	1990	1994	0,083	-6,478	-1,014	0,082	1,353	4,515
(mg/m2/dag)	1995	1999	0,698	-2,281	-0,025	0,416	1,490	4,302
	2000	2004	0,600	-1,727	-0,266	0,367	1,251	3,790
	2005	2009	0,621	-1,681	-0,046	0,470	1,365	2,790
	2010	20/14	0,850	-1,099	0,149	0,470	1,269	5,910
	2015	2019	0,866	-1,621	0,091	0,406	1,586	5,525
	2020	2020	0,983	-0,724	0,464	0,900	1,519	2,144
Total-P tbh	1990	1994	-3	-92	-18	2	17	62
(% af tilførsel)	1995	1999	12	-58	-1	8	27	60
	2000	2004	8	-80	-7	13	24	64
	2005	2009	13	-46	-1	12	28	54
	2010	2014	12	-109	4	16	27	59
	2015	2019	14	-81	4	19	31	44
	2020	2020	25	-31	16	30	37	49

I figur 3.9 ses for de fleste søer en tendens til øget P-tilbageholdelse, hvilket kan tilskrives en faldende indflydelse af en historiske set større P-belastning. Tilbageholdelsen i figur 3.9 er regnet som forskellen mellem masseindløb og -udløb i det pågældende år, divideret med summen af årlig indløbet masse og massen af opløst P ved årets begyndelse. Massen af opløst P i søen ved årets begyndelse er estimeret som udløbskoncentrationen i januar multipliceret med vandvolumenet i søen. Især for større søer med lille hydraulisk belastning har beregningen af massen af opløst P ved årets begyndelse stor betydning for den relative tilbageholdelse. Da denne beregning typisk afhænger af en enkelt måling i udløbet ved årets begyndelse, vil der for de større søer let opstå en del usikkerhed omkring den relative tilbageholdelse. Der ses således en del udsving fra år til år for de større søer som f.eks. Arresø, og disse er ikke reelle, men i stedet et udtryk for en usikkerhed, mens søer med høj hydraulisk belastning som f.eks. Bryrup Langsø ikke har de samme udsving.



Figur 3.9. Udvikling i den årlige tilbageholdelse af totalfosfor (% af tilførslen af totalfosfor) i hver af de 10 KU-søer, for hvilke der er beregnet næringsstofbalancer. Grå markering = resultaterne kan være underestimerede.

Radarplot (beregnet som beskrevet for figur 3.8) er vist for tilbageholdelse pr. arealenhed (m^2) for fosfor i figur 3.10, hvor den øverste er masse pr. areal, mens den nederste er relativ tilbageholdelse i procent af tilført.



Figur 3.10. Radarplots, der viser den samlede ændring i fosfortilbageholdelsen i hhv. indløb og udløb gennem de angivne perioder. Den "øvre værdi" svarer til den øvre værdi i et 95 % konfidensinterval. Tilsvarende svarer "nedre værdi" til den nedre værdi i dette interval, mens "estimatet" er den statistisk forventede værdi. En ændring på nul er indsat som en fuldt optrukken sort linje.

Fosforkilder

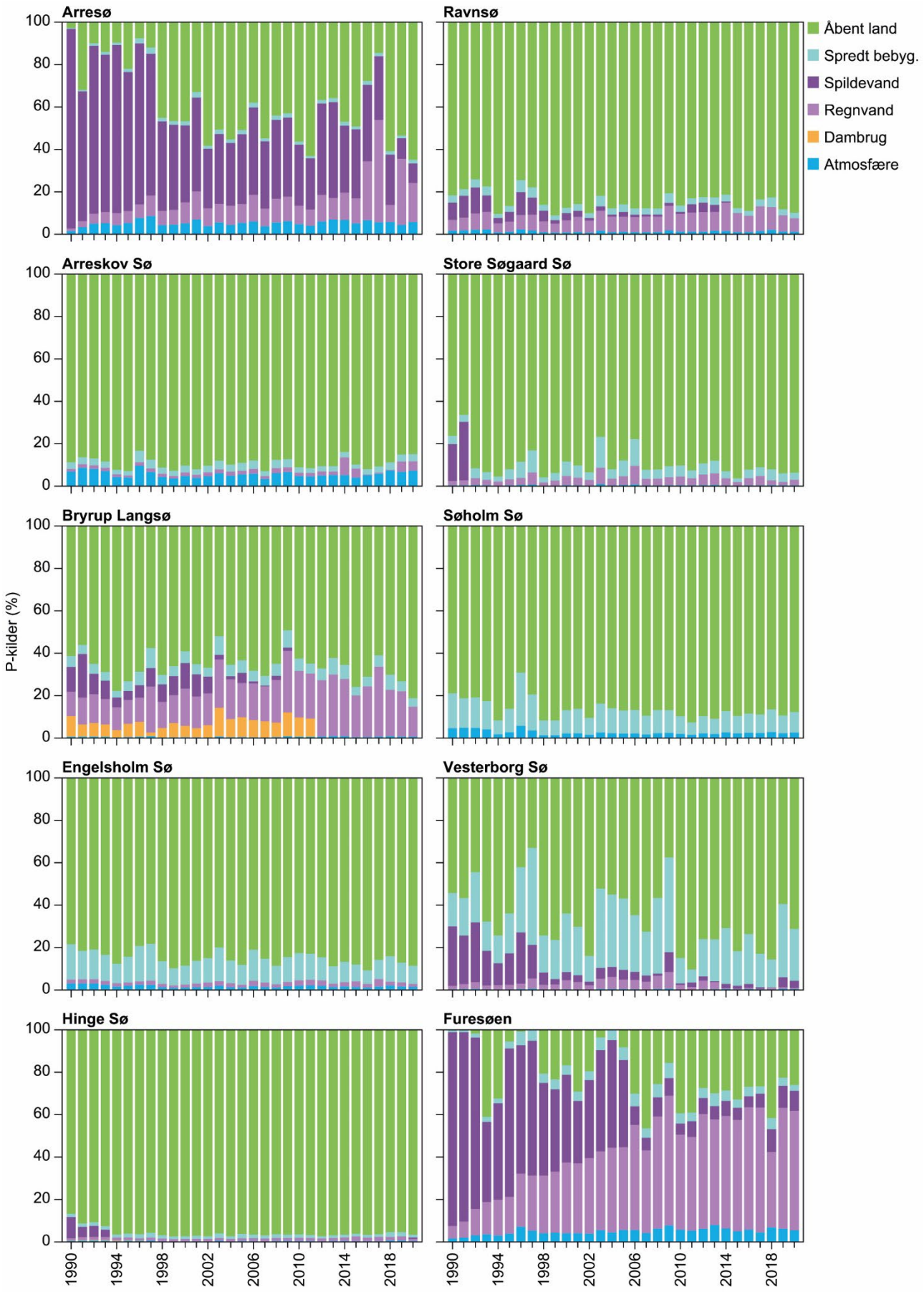
Kildeopsplitning for de 10 søer viser betydelige ændringer i den relative fordeling af fosforkilderne til søerne igennem overvågningsperioden (figur 3.11). Den samlede tilførsel til søerne er faldet markant, primært fordi bidraget fra spildevand totalt set er reduceret. Spildevandsbidraget varierer mellem søerne og er i alle syv søer, der modtager spildevand, kraftigt reduceret eller afskåret helt – specielt i de første 5-10 år af overvågningsperioden (figur 3.11). Det reducerede spildevandsbidrag indebærer, at betydningen af bidraget fra det åbne land (baggrund + landbrugsbetinget) bliver relativt større og generelt er steget fra 67 % til 77 % i løbet af perioden 1990-1994 til 2020 (tabel 3.5), men med stor variation mellem de 10 KU-søer. Hinge Sø, Store Søgård Sø og Vesterborg Sø har i en længere periode ikke modtaget spildevand (figur 3.11).

Ud over tiltag til en reduktion af belastningen i søernes oplande varierer de enkelte kilders bidrag til næringsstofbelastningen fra år til år med blandt andet mængden af nedbør og dermed afstrømningens størrelse. Den gennemsnitlige andel af den spredte bebyggelses samlede fosforbelastning til de 10 KU-søer har konstant været omkring 6-8 % i de enkelte perioder (tabel 3.5). Det er kun to

søer (Hinge Sø og Bryrup Langsø) af de tilbageværende KU-søer med næringsstofmålinger, hvor der har været opstrøms placerede dambrug. Dambrugsdriften opstrøms disse søer blev nedlagt i hhv. 1996 og 2012. Fra 2012 og frem er der derfor ingen af søerne, der har registreret dambrugstilførsel (tabel 3.5).

Tabel 3.5 Den procentuelle årlige kildefordeling for fosfortilførslen i de 10 KU-søer med næringsstofbalancer fra 1990 til 2020 opdelt i seks perioder samt for året 2020. Fordelingen er beregnet som gennemsnit af de enkelte søers årlige procentfordeling. I tilfælde af beregnet negativt bidrag fra åbent land er værdien sat til nul.

Periode	Spilde-vand	Regn-vand	Spredt bebyg.	Dam-brug	Atmos-fære	Åbent land
1990 - 1994	20,0	4,3	6,1	0,6	2,4	66,5
1995 - 1999	13,9	6,2	8,0	0,5	2,5	68,9
2000 - 2004	8,8	8,4	7,7	0,7	2,1	72,3
2005 - 2009	5,8	10,2	8,3	0,9	2,3	72,5
2010 - 2014	4,5	10,8	5,9	0,4	2,4	76,0
2015 - 2019	3,6	12,1	6,1	0,0	2,4	75,8
2020 - 2020	2,3	10,5	6,2	0,0	2,6	78,4

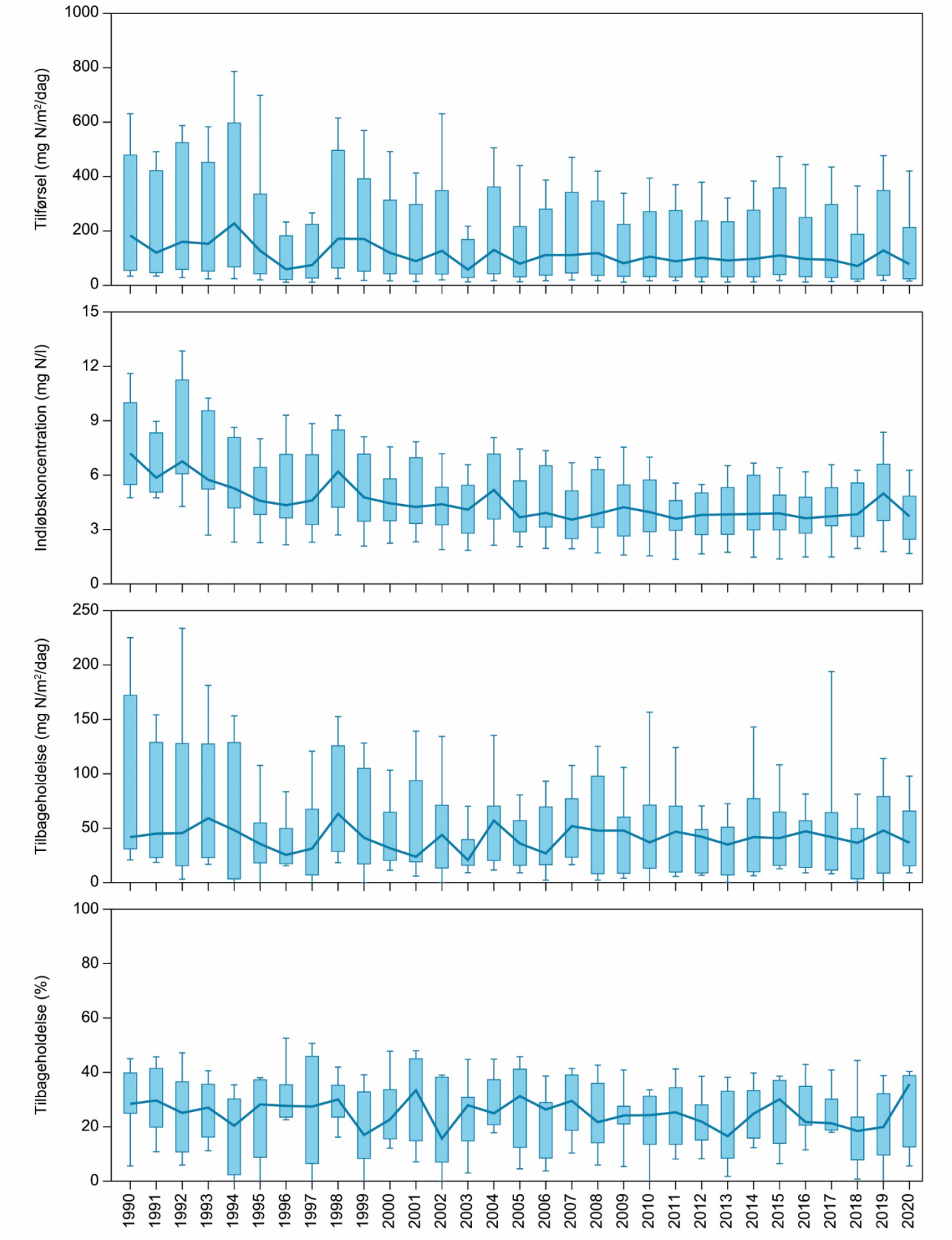


Figur 3.11. Den procentuelle årlige kildefordeling for fosfortilførslen til de 10 KU-søer med næringsstoftilførselsmålinger i perioden 1990-2020.

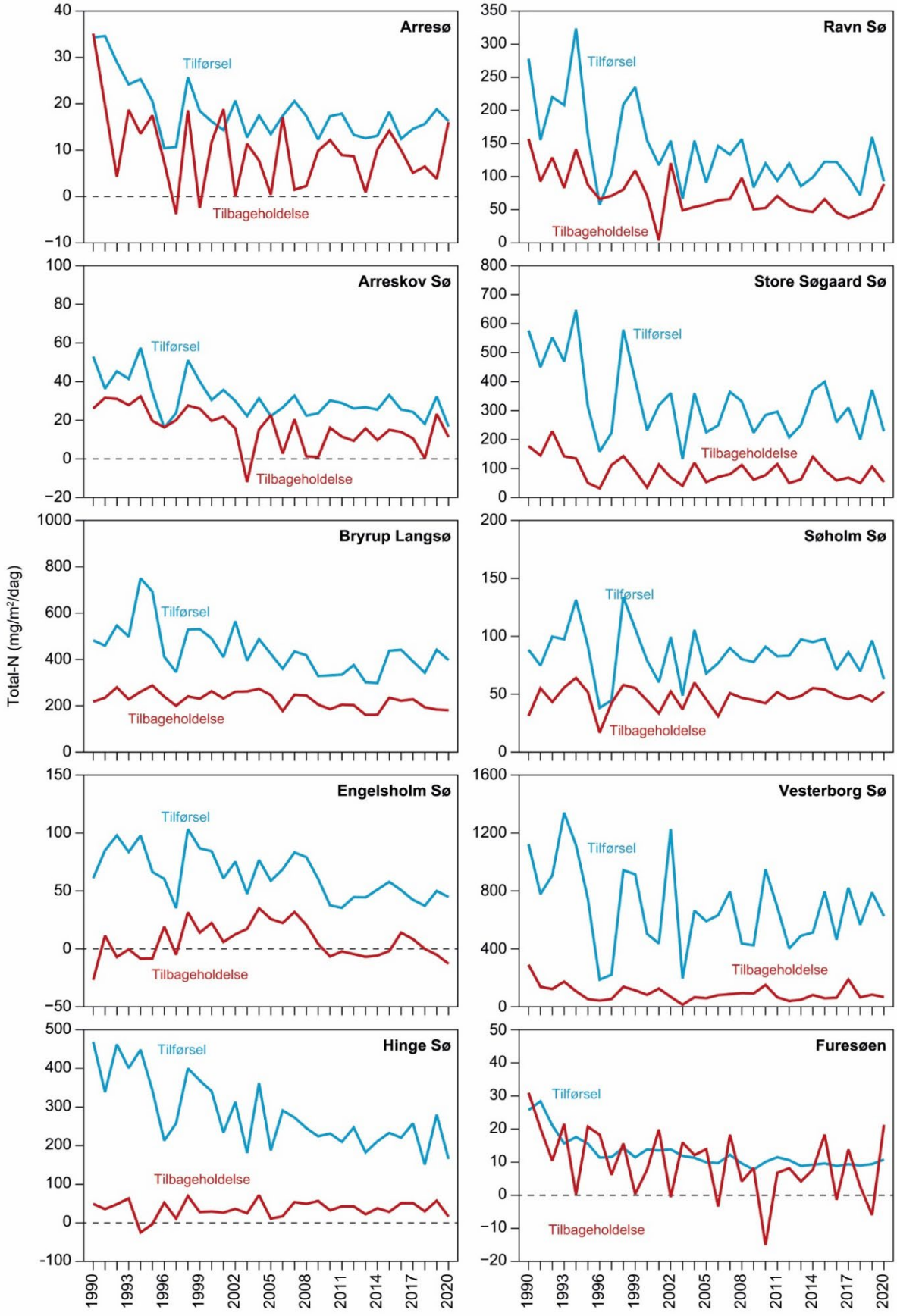
Kvælstofbalancer

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, især hvad angår den øvre kvartil (figur 3.12-3.14).

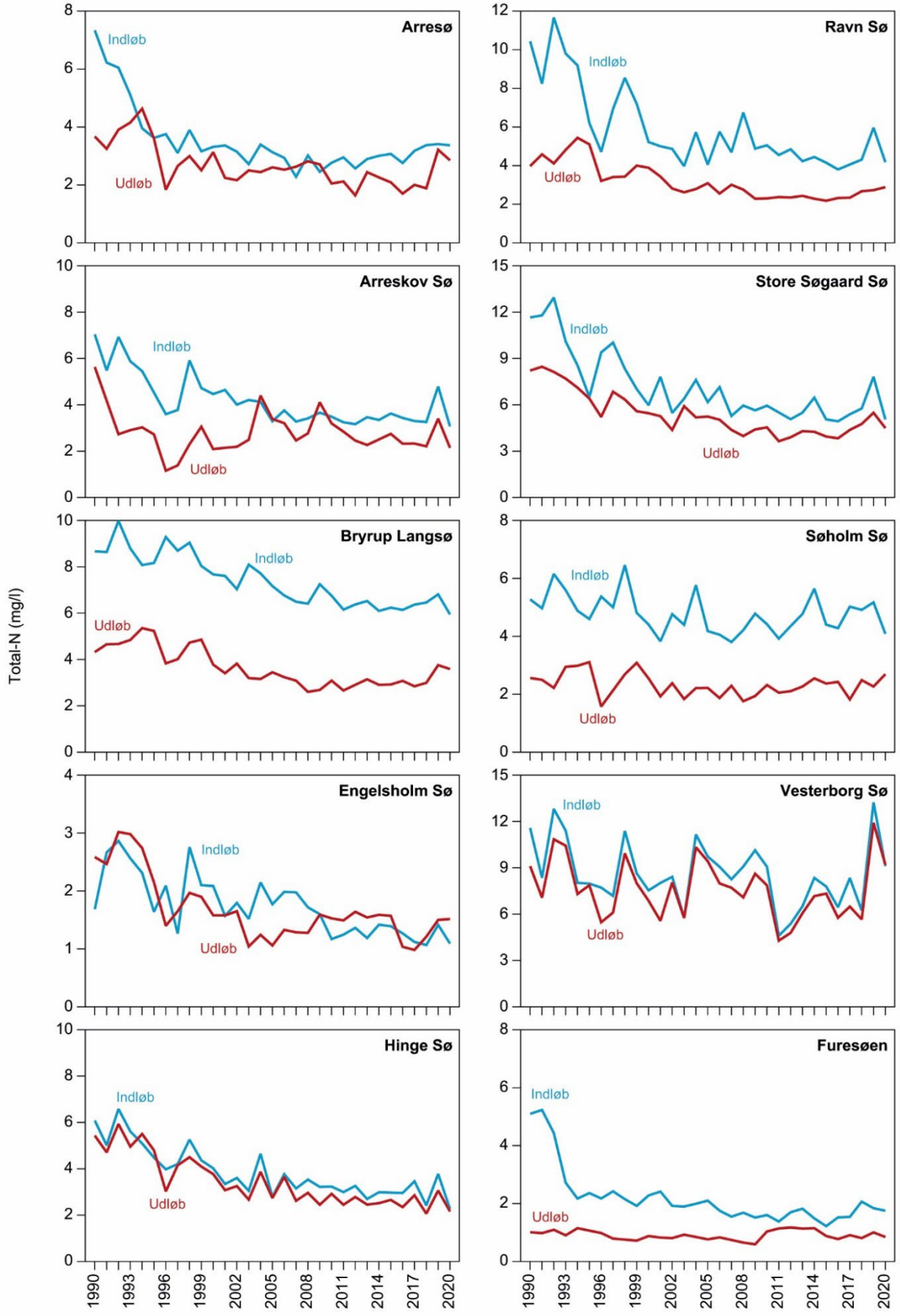
Medianen for koncentrationen i det tilstrømmende vand til de 10 KU-søer er faldet med ca. 42 % fra den første halvdel af 1990'erne til 2020. Medianen var i 2020 3,6 mg N/l og er dermed yderligere faldet lidt i forhold til niveauet for 2019 (tabel 3.6). Generelt set er der sket en reduktion frem til perioden 2010-2014. I 2020 var medianen for den specifikke kvælstoftilførsel 78 mg $N/m^2/dag$, hvilket er lavere end de foregående perioders median i overvågningsperioden.



Figur 3.12. Kvælstofudviklingen i de 10 KU-søer med massebalancer i perioden 1990 til 2020. Total arealspecifik kvælstoftilførsel (øverst, mg N/m2/dag). Vandføringsvægtet koncentration af totalkvælstof (næstøverst, mg N/l) i tilført vand. Arealspecifik kvælstoftilbageholdelse (næstnederst, mg N/m2/dag). Kvælstoftilbageholdelse i % af tilførslen (nederst). Bjælkerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier.



Figur 3.13. Udvikling i årlig tilførsel og tilbageholdelse af totalkvælstof (Total-N) i hver af de 10 KU-søer, for hvilke der er beregnet næringsstofbalancer.



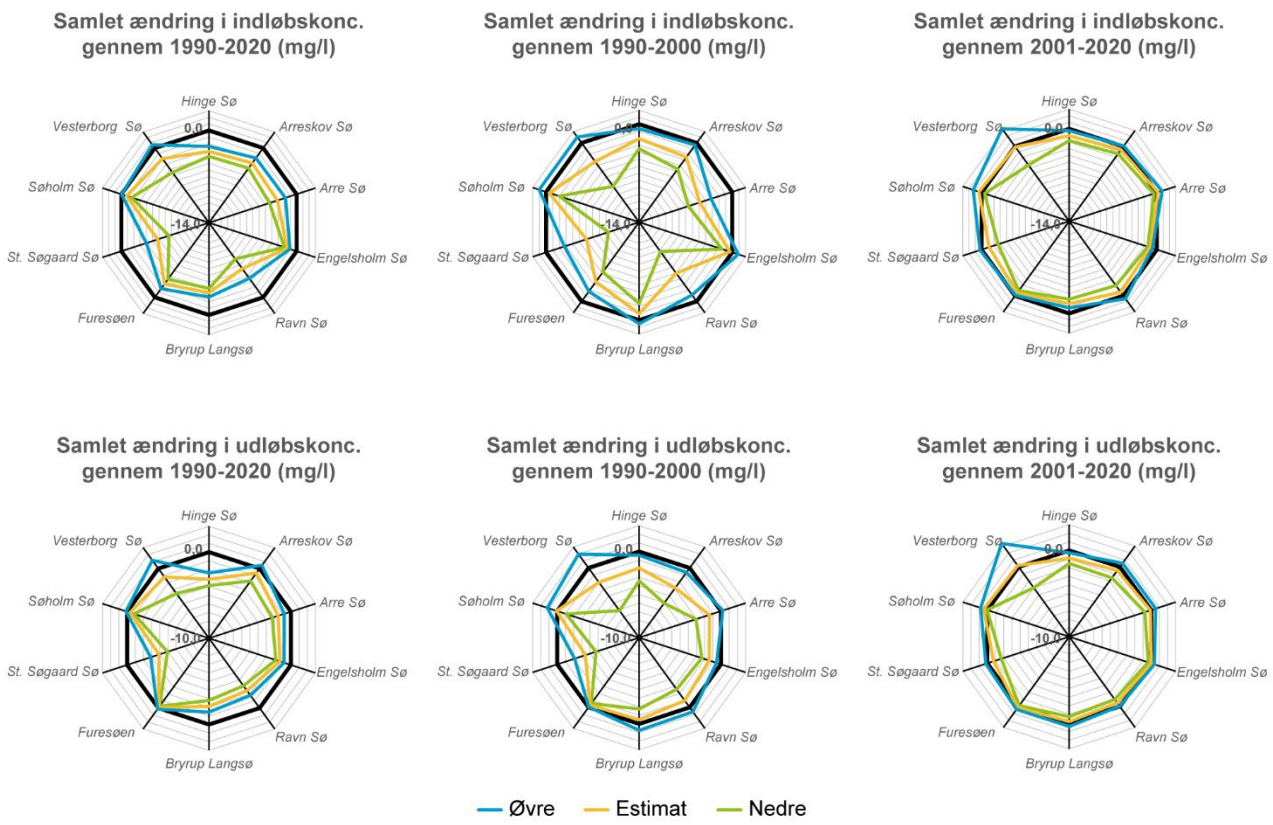
Figur 3.14. Udvikling i den årlige vandføringsvægtede koncentration af totalkvælstof (Total-N) i tilført vand samt i udløb til hver af de 10 KU-søer, for hvilke der er beregnet næringsstofbalancer.

Tabel 3.6 Totalkvælstofkoncentrationen (Total-N konc. (mg N/l)) samt kvælstoftilførslen (Total-N mængde (mg N/ m^2/dag)) i det vand, der strømmer til (tilløb) og fra (udløb) de 10 KU-søer, for hvilke der er beregnet næringsstofbalancer fra 1990 til 2020 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014, 2015-2019 samt 2020.

	Periode		Gns.	Min.	25 %	50 %	75 %	Maks.
Tilførsel	1990 -	1994	6,95	1,69	5,04	6,19	8,75	12,97
Total-N konc.	1995 -	1999	5,41	1,27	3,38	4,78	7,47	11,41
(mg N/l)	2000 -	2004	4,72	1,52	3,09	4,41	5,89	11,18
	2005 -	2009	4,46	1,50	2,62	3,79	6,08	10,15
	2010 -	2014	4,02	1,17	2,72	3,71	5,44	9,09
	2015 -	2019	4,27	1,07	2,85	3,93	5,59	13,26
	2020 -	2020	3,99	1,09	1,99	3,73	4,62	9,13
Tilførsel	1990 -	1994	308,14	15,43	43,38	143,29	469,02	1340,29
Total-N mængde	1995 -	1999	212,75	10,44	30,05	104,83	328,63	943,89
(mg N/m^2/dag)	2000 -	2004	197,88	11,09	30,22	102,45	329,50	1227,39
	2005 -	2009	181,55	7,51	23,01	86,83	281,43	797,22
	2010 -	2014	172,44	8,60	26,46	94,46	267,41	949,86
	2015 -	2019	193,46	8,58	24,95	97,11	295,05	823,64
	2020 -	2020	166,19	10,54	16,51	77,89	196,66	626,62
Udløb	1990 -	1994	4,56	0,89	2,83	4,27	5,47	10,87
(mg N/l)	1995 -	1999	3,61	0,71	1,94	3,16	4,82	9,95
	2000 -	2004	3,21	0,79	2,01	2,72	3,84	10,35
	2005 -	2009	3,13	0,58	1,91	2,70	3,43	9,44
	2010 -	2014	2,78	1,02	2,05	2,44	3,00	7,88
	2015 -	2019	2,93	0,76	1,86	2,40	3,15	11,93
	2020 -	2020	3,24	0,83	1,83	2,77	3,24	9,21

Kvælstoftilbageholdelsen varierer fra år til år. Den specifikke kvælstoftilbageholdelse afspejler den variation, der er i kvælstoftilførslen, således at der tilbageholdes mindre kvælstof i de år, hvor der også tilføres mindre mængder (figur 3.12, 3.13), hvilket bl.a. er nedbørsafhængigt.

Ændringer i hhv. ind- og udløbskoncentrationers vandføringsvægtede årsgennemsnit for kvælstof er afbildet som radarplot (efter sammen metode, som beskrevet for figur 3.7) med værdier for hver sø. Første kolonne i figur 3.15 viser ændringen for hver sø gennem hele perioden på 31 år, mens den midterste og højre kolonne viser udviklingen de første 11 år og de sidste 20 år. Den "øvre værdi" svarer til den øvre værdi i et 95 % konfidensinterval. Tilsvarende svarer "nedre værdi" til den nedre værdi i dette interval, mens "estimatet" er den statistisk forventede værdi. En ændring på nul er indsat som fuldt optrukken linje. Det vil sige, at hvis den øvre værdi i intervallet er negativ, er der et signifikant (p=0,05) fald i den pågældende periode. Generelt for søerne ses ændringen i indløbs- og udløbskoncentrationen som et fald i den første 10-årsperiode afløst af konstante koncentrationsniveauer i den seneste 21-årsperiode. Der er ikke nogen søer, der har en tydelig modsatrettet (positiv/negativ eller negativ/positiv) udvikling i de to perioder.

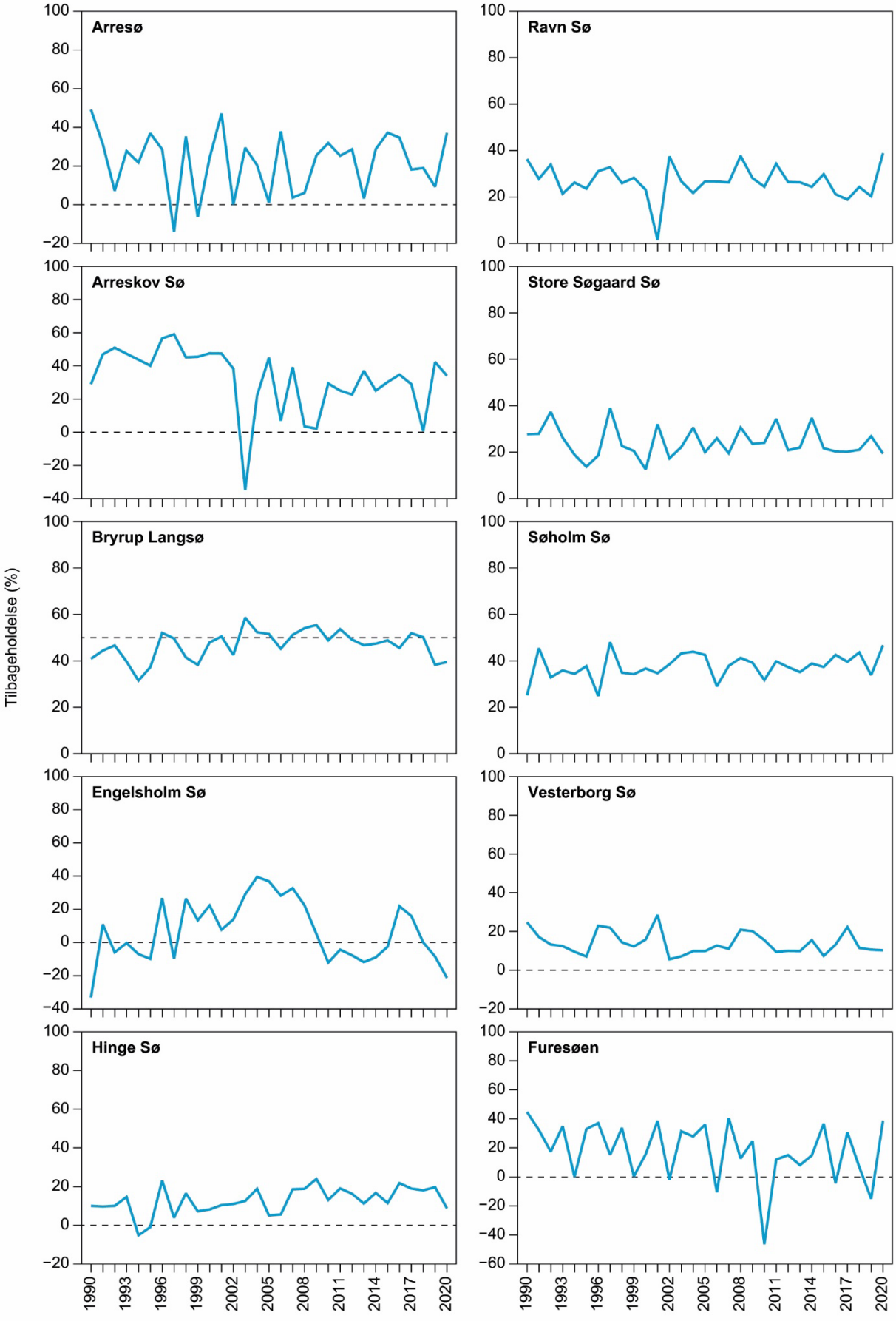


Figur 3.15. Radarplots, der viser den samlede relative ændring i kvælstofkoncentrationen i hhv. indløb og udløb gennem de angivne perioder. "Øvre værdi" svarer til den øvre værdi i et 95 % konfidensinterval. Tilsvarende svarer "nedre værdi" til den nedre værdi i dette interval, mens "estimatet" er den statistisk forventede værdi. En ændring på nul er indsat som en fuldt optrukken sort linje.

Den specifikke kvælstoftilbageholdelse er gennemsnitligt set lavere i de senere år (2015-2020) sammenlignet med niveauet i den første del af overvågningsperioden (1990-1994) (tabel 3.7), hvilket dog ikke afspejles i medianværdien, mens den samme nedadgående tendens ses for 25 % nedre fraktil. Den relative kvælstoftilbageholdelse er som gennemsnit for alle 10 KU-søer i overvågningsperioden præget af stor tidslig variation. Dette skyldes især den usikkerhed, der hersker ved at bestemme opløst masse i søen, som er beskrevet for fosfor (figur 3.9). Der ses ingen klar generel trend (figur 3.16).

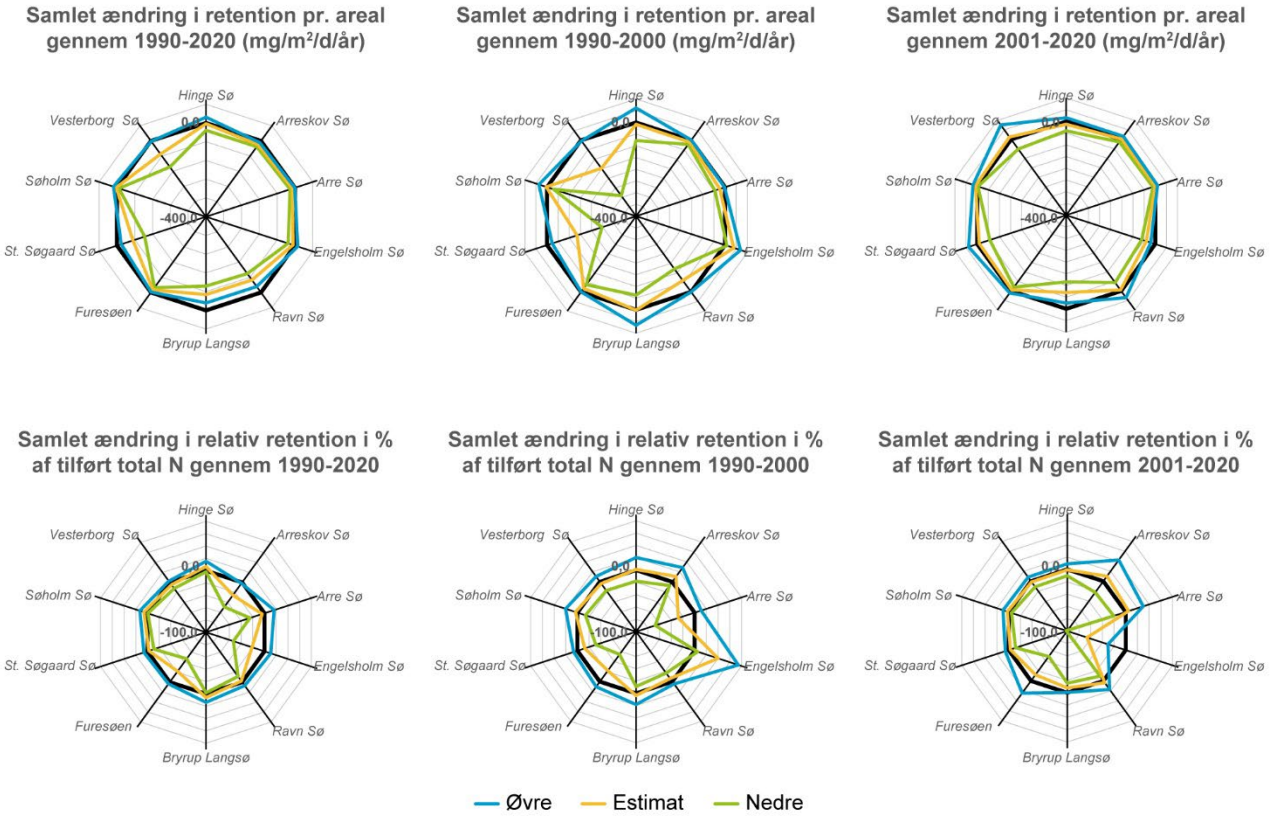
Tabel 3.7. Specifik (Total-N tilbageholdelse (tbh), (mg N/m2/dag)) og relativ (Total-N tbh, (% af tilførsel)) tilbageholdelse (tbh) af totalkvælstof i de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014, 2015-2019 samt 2020.

	Periode		Gns.	Min.	25 %	50 %	75 %	Maks.
Total-N tbh	1990 -	1994	84	-27	20	48	141	291
(mg/m^2/dag)	1995 -	1999	62	-8	17	37	76	288
	2000 -	2004	60	-12	15	34	70	273
	2005 -	2009	58	-4	12	46	69	248
	2010 -	2014	51	-15	9	42	59	205
	2015 -	2019	55	-6	10	45	64	235
	2020 -	2020	50	-13	13	37	62	181
Total-N tbh	1990 -	1994	25	-33	12	28	36	51
(% af tilførsel)	1995 -	1999	26	-14	14	27	37	59
	2000 -	2004	25	-35	12	26	38	59
	2005 -	2009	25	-11	12	26	38	56
	2010 -	2014	21	-47	11	24	33	54
	2015 -	2019	23	-15	12	21	35	52
	2020 -	2020	25	-21	9	36	39	47



Figur 3.16. Udvikling i den årlige procentuelle tilbageholdelse af totalkvælstof i hver af de 10 KU-søer, for hvilke der er beregnet næringsstofbalancer.

Figur 3.17 viser radarplots for tilbageholdelsen pr. arealenhed (m^2) af kvælstof, hvor de øverste værdier er masse pr. areal, mens de nederste værdier er relativ tilbageholdelse i procent af tilført totalkvælstof.



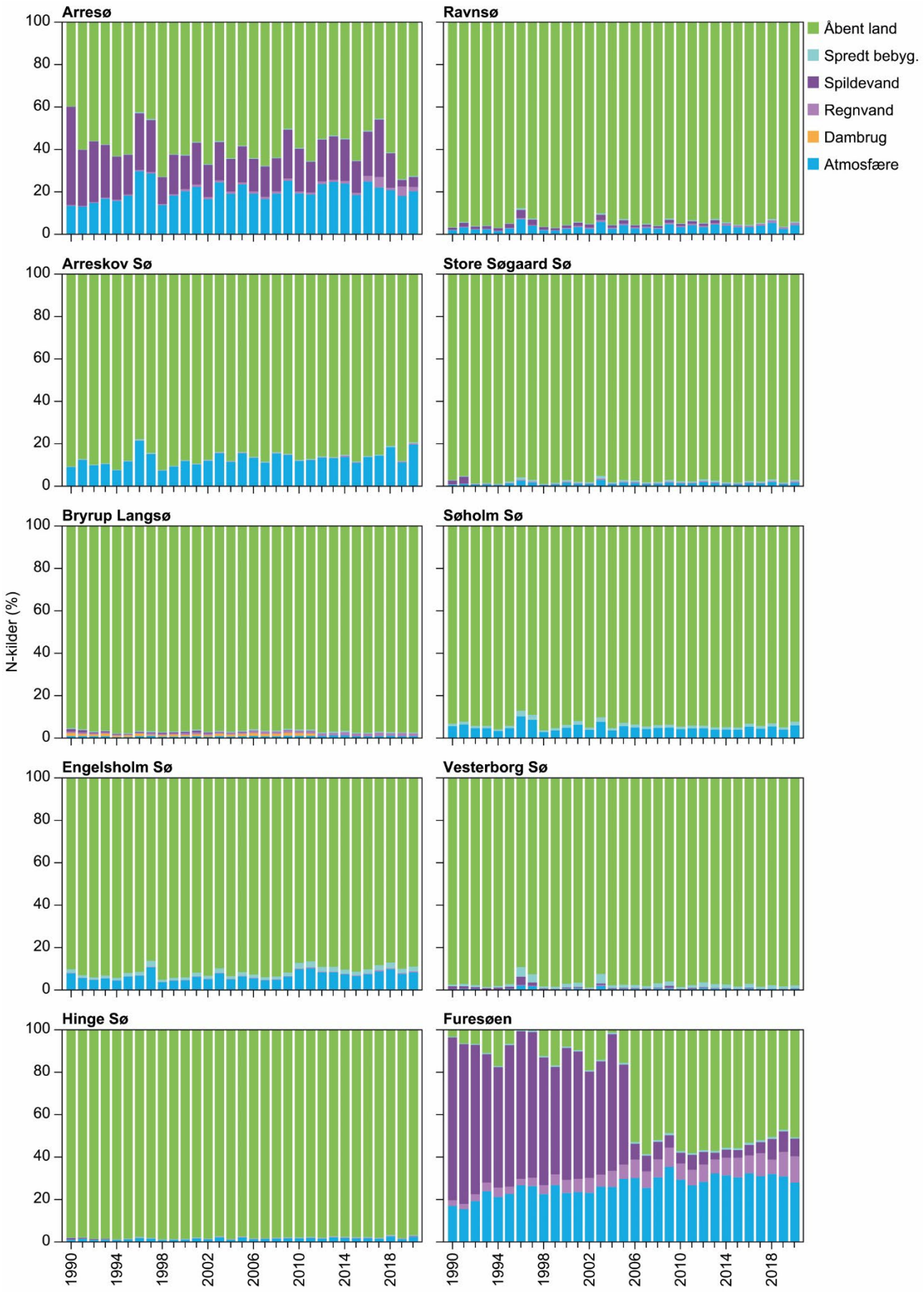
Figur 3.17. Radarplots, der viser den samlede ændring i kvælstoftilbageholdelsen i forhold til hhv. tilført mængde og procent af tilført mængde og udløb gennem de angivne perioder. "Øvre værdi" svarer til den øvre værdi i et 95 % konfidensinterval. Tilsvarende svarer "nedre værdi" til den nedre værdi i dette interval, mens "estimatet" er den statistisk forventede værdi. En ændring på nul er indsat som en fuldt optrukken sort linje.

Kvælstofkilder

Kvælstofbelastningen fra det åbne land (landbrugs- og baggrundsbidrag) udgjorde i 2020 ca. 85 % af den totale tilførsel (tabel 3.18) til de 10 KU-søer med kildeopsplitning. Trods tæt på en halvering af den samlede tilførsel har den procentvise andel fra det åbne land været tilnærmelsesvis konstant siden 1990 (figur 3.18, tabel 3.8). Det betyder dog ikke, at der ikke er sket en reduktion i tilførslen fra det åbne land. Det atmosfæriske bidrag udgør den næststørste kilde siden 2005 (sammenligning af de opdelte tre- og femårsperioder i tabel 3.8) med en gennemsnitlig andel på omkring 8 %. Spildevand, regnvandsbetingede tilledninger og spredt bebyggelse har, siden 2005, samlet set gennemsnitligt været mindre væsentlige kilder til kvælstoftilførslen til søerne. Det kan noteres, at kvælstofbidraget fra spildevand er faldet betragteligt i de spildevandsbelastede søer, og at Hinge Sø, Store Søgård Sø og Vesterborg Sø i en længere periode slet ikke har modtaget spildevand (figur 3.18). Dermed er den gennemsnitlige spildvandsbelastning gennem hele overvågningsperioden reduceret fra ca. 10 til ca. 2 % i de 10 KU-søer (tabel 3.8).

Tabel 3.8. Den procentuelle årlige kildefordeling for kvælstoftilførslen i de 10 KU-søer med næringsstofbalancer fra 1990 til 2020, opdelt i seks perioder samt for året 2020. Fordelingen er beregnet som gennemsnit af årsværdier for de enkelte søers procentfordeling.

Periode		Spildevand	Regnvand	Spredt bebyg.	Dambrug	Atmosfære	Åbent land
1990 -	1994	10,1	0,5	0,5	0,1	6,1	82,6
1995 -	1999	8,7	0,6	0,9	0,1	8,1	81,6
2000 -	2004	7,7	1,0	0,9	0,1	7,7	82,7
2005 -	2009	3,4	1,2	0,8	0,1	8,4	86,1
2010 -	2014	2,5	1,2	0,9	0,0	8,7	86,6
2015 -	2019	2,3	1,6	0,9	0,0	8,7	86,5
2020 -	2020	1,3	1,9	0,9	0,0	9,3	86,6



Figur 3.18. **D**en procentuelle årlige kildefordeling for kvælstoftilførslen til de 10 KU-søer med næringsstoftilførselsmålinger i perioden 1990-2020.

4 Miljøfarlige forurenende stoffer

4.1 Miljøfarlige forurenende stoffer i søsediment i kontrolovervågningen og i den operationelle overvågning

I dette afsnit præsenteres en overordnet beskrivelse af resultaterne af analyser af miljøfarlige forurenende stoffer (MFS) i søsediment fra søerne i kontrolovervågningen og i den operationelle overvågning i perioden 2010-2021. I det omfang, der er tilstrækkeligt datagrundlag for det, er der foretaget en analyse af, om der er statistisk signifikant forskel på koncentrationerne mellem perioden 2010-2015 og perioden 2016-2021.

Kontrolovervågningssøerne i dette program er udvalgt blandt det samlede antal kontrolovervågningssøer (se kapitel 1) og således, at de samlet set giver en udbredt såvel geografisk som typologisk dækning af søer. Det nuværende udvalg af søer i kontrolovervågningen er gennemgående i de enkelte overvågningsperioder, hvilket med tiden giver mulighed for at vurdere en udvikling for de enkelte stoffer. Det skal bemærkes, at søerne ikke er repræsentative for de danske søer.

Antallet af søer i kontrolovervågningen er justeret i løbet af perioden, men omfatter nu 85 søer. Resten af de søer, der er undersøgt for MFS (240 stk.), indgår nu i den operationelle overvågning. Søerne i den operationelle overvågning er primært udvalgt således, at de imødekommer Miljøstyrelsens databehov i forhold til vandområdeplanarbejdet. I nogle af de tidligere år har den operationelle overvågning været tilrettelagt som kampagner i vandområder, hvor henholdsvis 'landbrug og spredt bebyggelse' og 'regnbetingede udledninger fra befæstede områder og overløb fra fælleskloak' var de potentielle kilder. I denne rapport er der ikke skelnet mellem disse kilder i præsentationen af resultater fra den operationelle overvågning. Det skal bemærkes, at antallet af stoffer, både inden for kontrolovervågningen og i den operationelle overvågning er ændret i løbet af perioden 2010-2021, således at ikke alle stoffer konsekvent er undersøgt i alle søer.

Stofferne er fordelt i syv grupper: metaller, aromatiske kulbrinter, phenoler, polyaromatiske hydrocarboner (PAH), blødgørere, organotinforbindelser og pesticider. På grund af de forskellige formål for kontrolovervågningen og den operationelle overvågning er resultaterne i de enkelte tabeller vist hver for sig.

Der er tidligere udgivet særskilte statusrapporter med detaljerede beskrivelser af miljøfarlige forurenende stoffer i vandmiljøet, herunder søer. Den seneste udkom i 2021 (Boutrup m.fl. 2021). Heri kan der også læses mere udførligt om de enkelte stofgrupper og om stoffernes forekomst i andre dele af miljøet.

Fund under detektionsgrænsen

Data er præsenteret med middelværdi, median, 10 %- og 90 %-fraktiler samt minimums- og maksimumsværdier. I tilfælde af at et stof er fundet i koncentrationer, der er lavere end detektionsgrænsen, er der anvendt følgende fremgangsmåde (Larsen, 2013):

- Hvis fundhyppigheden er større end 20 %, indgår værdier mindre end detektionsgrænsen i beregning af middelværdi, median osv. med værdien ½*detektionsgrænsen.
- Ved fundhyppigheder mindre end 20 % indgår værdier under detektionsgrænsen med værdien nul.

Fundhyppigheden af det enkelte stof er beregnet som den procentvise andel af de søer, der indgår i de pågældende statistiske beregninger, hvor stoffet er fundet i koncentrationer højere end detektionsgrænsen.

Miljøkvalitetskrav

Endnu findes der kun miljøkvalitetskrav (MKK) for et fåtal af stofferne i MFS-overvågningen af søsediment (Bek. nr. 1625 af 19/12/2017). I omtalen af de enkelte stofgrupper er MKK angivet for de stoffer, hvor MKK er fastsat.

Normalisering

Normalisering kan være aktuelt ved data fra sedimentanalyser, da sedimenter med forskellige egenskaber (f.eks. indhold af organisk materiale og lerindhold) kan binde stoffer forskelligt. Data i nærværende rapport er som udgangspunkt ikke normaliserede. Dog er sedimentdata normaliserede i de tilfælde, hvor det er nødvendigt for at kunne vurdere de målte koncentrationer i forhold til miljøkvalitetskrav fastsat i forhold til fraktionen af organisk stof i sedimentet (f_{oc}).

Metaller

Metaller er naturligt forekommende i miljøet, men frigivelse fra fossile brændstoffer og andre geologiske materialer, deres udbredte anvendelse i bl.a. handelsgødning og dyrefoder og frigivelse i forbindelse med sænkning af grundvandsspejlet betyder, at metaller ofte forekommer i vandmiljøet i koncentrationer, der er højere end baggrundsniveauer, og i koncentrationer, hvor de kan udgøre en miljømæssig risiko. De koncentrationer, der måles ved overvågningen, er summen af de naturlige baggrundskoncentrationer og de koncentrationer, der er tilført ved menneskelige aktiviteter (Boutrup m.fl. 2015).

Indholdet af metaller i søsediment for perioden er vist i tabel 4.1. De fleste undersøgte metaller blev fundet i alle de undersøgte sedimentprøver. Undtaget er for søer i det operationelle program: cadmium, kviksølv og vanadium, der blev fundet i 98-99% af søerne i det operationelle program og for kontrolovervågningen, hvor kviksølv blev fundet i 83% af søerne.

Der er generelt en stor spredning på koncentrationerne (faktor 50-12.000 mellem minimums- og maksimumsværdier). Aluminium forekommer med de højeste koncentrationer (median=7000-8000 mg/kg tørstof), efterfulgt af zink (median=110 mg/kg tørstof). Arsen, chrom, nikkel, vanadium, kobber og bly forekommer med mediankoncentrationer på ca. 7-27 mg/kg tørstof, mens kviksølv og cadmium er målt i de laveste koncentrationer, 0,09-0,8 mg/kg tørstof. Der er meget små eller ingen forskelle mellem median- og middelværdierne, når resultater fra kontrolovervågningen og den operationelle overvågning sammenlignes. Også 90 %-fraktilerne for de to grupper ligger generelt tæt på hinanden. For de fleste stoffer er der ret stor forskel mellem 90 %-fraktilerne og de maksimale værdier, hvilket viser, at der er enkelte søer, især i

den operationelle overvågning, der skiller sig ud med høje koncentrationer for en del af stofferne.

Bly, cadmium og vanadium er de eneste stoffer blandt de målte metaller, for hvilke der er fastsat miljøkvalitetskrav i sediment; bly: 163 mg/kg tørstof, vanadium: 23,6 mg/kg tørstof. For cadmium gælder det, at MKK *enten* kan beregnes som 3,8 mg/kg tørstof adderet med baggrundskoncentrationen, *eller* som 3,8 mg/kg tørstof for den biotilgængelige koncentration af cadmium. På nuværende tidspunkt findes der ikke tilgængelige data til at gennemføre disse beregninger. For vanadium gælder det også, at man skal addere baggrundskoncentrationen. Denne er i Bak m.fl. (2017) estimeret til at være 11 mg/kg tørstof.

Der er fundet blyindhold højere end MKK (163 mg/kg tørstof) i seks af søerne i kontrolovervågningen (Skt. Jørgens Sø, Kvie Sø, Rævsø, Hampen Sø, Lyngsø og Peblingesø) og i seks af søerne i den operationelle overvågning (Emdrup Sø, Vrads Sande Sø, Vedsted Sø, Viborg Søndersø, Frederiksborg Slotssø og Geding Sø). De fleste af disse søer er enten bynære eller næringsfattige og/eller kalkfattige (lavalkaline). Mht. vanadium er der 12 søer i kontrolovervågningen og 10 i den operationelle overvågning, svarende til i alt 17 % af de undersøgte søer, hvor koncentrationerne er højere end MKK (34,6 mg/kg tørstof ved ovennævnte baggrundskoncentration på 11 mg/kg tørstof) overskrides. Det er, som anført ovenfor, ikke muligt at vurdere, om cadmiumkoncentrationerne i de undersøgte søer er højere end MKK. Men som det ses af tabel 4.1, ligger cadmiumkoncentrationen i mindst 90 % af søerne i begge overvågningstyper under MKK, før den naturlige baggrundskoncentration bliver tillagt.

Tabel 4.1. Forekomst af metaller i sediment fra søer indeholdt i kontrolovervågningen og den operationelle overvågning i perioden 2010-2021. Hvis en sø er undersøgt flere gange i perioden, er det nyeste resultat anvendt i beregningerne. DG=detektionsgrænsen. TS=tørstof. Kon=kontrolovervågning. Ope=operationel overvågning. MKK=miljøkvalitetskrav

Enhed: mg/kg TS		Middel	Median	10 %-fraktil	90 %-fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	% fund >DG	DG	MKK
Aluminium	Kon	9236	7850	2800	17000	740	37000	84	100	10	Ingen
	Ope	8583	6700	2000	17000	630	36000	87	100	10	
Arsen	Kon	13	6,6	2,2	22	0,24	120	84	100	0,2	Ingen
	Ope	17	6,8	2,2	29	0,27	510	88	100	0,2	
Bly	Kon	49	27	7,6	120	1,2	370	84	100	0,1	163
	Ope	45	27	9,6	100	1,1	720	239	100	0,1	
Cadmium	Kon	1,3	0,81	0,29	3,1	0,023	12	84	100	0,01	(se tekst)
	Ope	1,3	0,79	0,26	2,3	0,005	55	239	99	0,01	
Chrom	Kon	19	14	6,0	31	0,94	260	84	100	0,1	Ingen
	Ope	24	14	5,8	36	1,2	1200	239	100	0,1	
Kobber	Kon	29	21	6,4	43	0,94	270	84	100	0,05-0,2	Ingen
	Ope	61	23	9	53	0,5	6200	239	100	0,05-0,2	
Kviksølv	Kon	0,110	0,089	0,025	0,18	0,013	0,94	58	83	0,001-0,05	Ingen
	Ope	0,17	0,087	0,027	0,3	0,0005	3,5	177	99	0,001-0,05	
Nikkel	Kon	23	15	5,5	39	1,5	200	84	100	0,1	Ingen
	Ope	21	15	5,5	37	0,56	170	239	100	0,1	
Vanadium	Kon	25	20	8,9	52	1,5	100	65	100	0,3	23,6 + baggrunds-konc.
	Ope	23	18	9,6	42	0,15	68	64	98	0,3	
Zink	Kon	196	110	32	350	5,3	3000	84	100	1	Ingen
	Ope	225	110	33	400	3,2	9600	239	100	1	

Aromatiske kulbrinter

Overvågningen i søer omfatter fra gruppen af aromatiske kulbrinter stoffet naphthalen og stofgruppen methylnaphthalener. Disse stoffer har en relativ stor affinitet til sedimentet og bindes dermed lettere hertil end andre aromatiske kulbrinter. Flere af stofferne indgår i olieprodukter eller som nedbrydningsprodukter af olieprodukter. Deres anvendelse samt deres fysisk-kemiske egenskaber betyder, at de primært tilføres miljøet via luften og spildevand (Boutrup m.fl. 2015).

De undersøgte aromatiske kulbrinter er i perioden 2010-2021 fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen i de fleste af de undersøgte søer. Dimethylnaphtalener er den gruppe, som forekommer i de højeste koncentrationer (median=0,4-0,6 mg/kg tørstof), mens de øvrige stoffer forekommer med mediankoncentrationer på 0,005-0,03 mg/kg tørstof (tabel 4.2). Variationen af koncentrationen af især naphtalen, dimethylnaphthalener og trimethylnaphtalener er stor, idet maksimumsværdierne i de operationelle søer for disse stoffer/stofgrupper er op til mere end tusind gange højere end minimumsværdierne. Som for metallerne er der også her enkelte søer med relativt høje koncentrationer, som skiller sig ud. Dette ses også ved, at middel- og medianværdierne generelt ligger tæt på hinanden. Ved sammenligning af medianværdier er der ikke den store forskel mellem søerne i kontrolovervågningen og i den operationelle overvågning.

Det skal bemærkes, at der for mange af stofferne er stor forskel mellem de enkelte prøvers detektionsgrænse, hvilket vanskeliggør tolkning af resultaterne.

Der er fastsat miljøkvalitetskrav for summen af methylnaphtalenerne (1-, 2-, di- og tri-methylnaphtalenerne), som er:

*0,478 mg/kg tørstof *andelen af organisk stof.*

Andelen af organisk stof er her defineret ved glødetabsprocenten i de enkelte prøver. De målte glødetabsprocenter varierer mellem 0,5 % og 78 %, og miljøkvalitetskravet svarer således til mellem 0,002 og 0,37 mg/kg tørstof. Der er ikke angivet glødetabsværdier for alle prøver, hvor der er analyseret for methynaphtalenerne, og det er dermed kun muligt at sammenligne summen af koncentrationerne med miljøkvalitetskravet i 60 af de 83 søer i de kontrolovervågede søer. Heraf er der koncentrationer over MKK i 49 søer. Tilsvarende findes der glødetabsværdier i 104 af de 113 søer i det operationelle program. Af disse er koncentrationerne højere end MKK i 95 søer.

For naphthalen er miljøkvalitetskravet 0,138 mg/kg tørstof. I tre søer i kontrolovervågningen og i 10 søer i det operationelle program, er der fundet koncentrationer, der er højere end denne værdi.

Tabel 4.2. Forekomst af aromatiske kulbrinter i sediment fra søer indeholdt i kontrolovervågningen og den operationelle overvågning i perioden 2010-2021. Hvis en sø er undersøgt flere gange i perioden, er det nyeste resultat anvendt i beregningerne. DG=detektionsgrænsen. TS=tørstof. Kon=kontrolovervågning. Ope=operationel overvågning. MKK=miljøkvalitetskrav.

Enhed: mg/kg TS		Middel	Median	10 %-fraktil	90 %-fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	%fund >DG	DG	MKK
1-Methyl-napthalen	Kon	0,0065	0,0029	<DG	0,012	<DG	0,098	83	71	0,0005-0,05	Beregnes for summen af disse stoffer: 0,478*andelen af organisk stof
	Ope	0,0058	0,0016	<DG	0,017	<DG	0,068	113	57	0,0005-0,05	
2-Methyl-naphtalen	Kon	0,012	0,0057	<DG	0,019	<DG	0,21	83	76	0,001-0,05	
	Ope	0,012	0,0052	<DG	0,035	<DG	0,14	113	67	0,001-0,04	
Dimethyl-naphthalener	Kon	0,62	0,38	0,048	1,5	0,006	4	83	100	0,003-0,008	
	Ope	1,1	0,58	0,064	2,8	0,004	15	113	99	0,003-0,008	
Trimethyl-naphthalener	Kon	0,037	0,026	0,005	0,077	0,0005	0,31	83	87	0,001-0,07	
	Ope	0,049	0,03	0,003	0,12	0,0005	0,51	113	85	0,001-0,07	
Naphtalen	Kon	0,043	0,02	0,0075	0,062	0,0013	0,71	83	95	0,0008-0,06	0,138
	Ope	0,057	0,03	0,0063	0,13	0,0004	0,42	113	92	0,0008-0,007	

Phenoler

Phenoler i søovervågningen er repræsenteret ved alkylphenoler. Denne stofgruppe anvendes ved fremstilling af andre kemiske stoffer, bl.a. alkylphenolethoxylater, som historisk set har været anvendt som overfladeaktive stoffer i rengøringsmidler og sprøjtemidler. Alkylphenoler indgår desuden som en bestanddel af eksempelvis maling og fugemasser. Stofferne bliver tilført miljøet via spildevand samt evt. afstrømning fra sprøjtede marker som følge af anvendelsen af sprøjtemidler (Boutrup m.fl. 2015).

I mange af søerne er der ikke fundet phenoler over detektionsgrænsen. Detektionsgrænsen varierer også her for de fleste stoffer, hvilket der skal tages forbehold for i sammenligningen mellem prøver. Det mest forekommende stof blandt phenolerne er 4-tert octylphenol, der i de kontrolovervågede søer blev fundet i 24 % af prøverne og i 6 % af søerne i det operationelle program. 4-Nonylphenol (forgrenet) blev ikke fundet i nogen af søerne, mens 4-n-octylphenol blev fundet i to søer i kontrolovervågningen. Resten af stofferne havde en fundhyppighed på 2-18 % og der er ikke nogen entydig forskel mellem de to programtyper (tabel 4.3).

Der er fastsat miljøkvalitetskrav for nonylphenol: 25 mg/kg tørstof *fraktionen af organisk stof og 4-n-octylphenol: 39,3 mg/kg tørstof *fraktionen af organisk stof.

Med baggrund i ovenstående glødetabsværdier svarer dette til miljøkvalitetskrav på henholdsvis 0,13-19,5 og 0,2-30 mg/kg tørstof. For nonylphenoler fandtes der koncentrationer højere end MKK én sø (i det operationelle program), når der er foretaget justering i forhold til glødetabsværdien.

Tabel 4.3. Forekomst af phenoler i sediment fra søer indeholdt i kontrolovervågningen og den operationelle overvågning i perioden 2010-2021. Hvis en sø er undersøgt flere gange i perioden, er det nyeste resultat anvendt i beregningerne. DG=detektionsgrænsen. TS=tørstof. Kon=kontrolovervågning. Ope=operationel overvågning. MKK=miljøkvalitetskrav.

Enhed: mg/kg TS		Middel	Median	10 %-fraktil	90 %-fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	%fund >DG	DG	MKK
4-Nonylphenol	Kon	0,0006	<DG	<DG	0,0005	<DG	0,022	83	11	0,0005-0,03	Ingen
	Ope	0,0004	<DG	<DG	<DG	<DG	0,019	212	9	0,0005-0,02	
4-Nonylphenol, forgrenet	Kon	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	23	0	0,015-0,032	Ingen
	Ope	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	12	0	0,015	
4-n-octylphenol	Kon	0,0004	<DG	<DG	<DG	<DG	0,026	83	2	0,01-0,1	39,3*fraktionen af organisk stof
	Ope	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	87	0	0,01-0,1	
4-tert-octylphenol	Kon	0,005	<DG	<DG	0,011	<DG	0,1	83	24	0,0005-0,03	Ingen
	Ope	0,002	<DG	<DG	<DG	<DG	0,12	85	6	0,0005-0,03	
Nonylphenol-di-ethoxylater (NP2EO)	Kon	0,006	<DG	<DG	0,022	<DG	0,12	83	13	0,01-0,4	Ingen
	Ope	0,008	<DG	<DG	<DG	<DG	0,14	26	8	0,01-0,4	
Nonyl-phenoler	Kon	0,006	<DG	<DG	<DG	<DG	0,28	83	2	0,1-0,5	25*fraktionen af organisk stof
	Ope	0,12	<DG	<DG	0,14	<DG	12	212	18	0,1-0,5	
Nonylphenol-mono-ethoxylater (NP1EO)	Kon	0,004	<DG	<DG	0,012	<DG	0,08	83	11	0,01-1	Ingen
	Ope	0,008	<DG	<DG	0,027	<DG	0,19	151	18	0,01-1	

Polyaromatiske kulbrinter (PAH)

Polyaromatiske kulbrinter (PAH) er en væsentlig bestanddel i mange typer af råolie og stenkulstjære. PAH dannes desuden ved ufuldstændig forbrænding af organisk stof, hvilket betyder, at PAH også er naturligt forekommende forbindelser. PAH spredes primært via luften til omgivelserne, men vil også via overfladisk afstrømning blive tilført til vandmiljøet.

De fleste PAH er fundet over detektionsgrænsen i størstedelen af de undersøgte søer. Undtagelserne er 2-methylpyren og dimethylphenanthren, som findes i højst 29 % af søerne (tabel 4.4). Som for de øvrige stofgrupper ses også her en stor spredning mellem søerne (og en stor variation i detektionsgrænsen for de fleste stoffer); forholdet mellem minimums- og maksimumværdierne er for acenaphthylen, antracen, benz(a)fluoren, benzo(a)pyren, fluoranthen og pyren helt oppe på 10.000-20.000 gange; i alle tilfælde drejer det sig om søer i kontrolovervågningen.

Ingen af stofferne skiller sig voldsomt ud fra de andre mht. mediankoncentrationer, men de højeste findes for benzo(b+j+k)fluranthen, fluoranthen og pyren, hvor koncentrationerne ligger på ca. 0,1-0,15 mg/kg tørstof. De laveste medianværdier ligger under 0,01 mg/kg tørstof (dimethylphenanthren, 2-methylpyren, acenaphthen, 1-methylpyren dibenzothiophen og 2-methylphenanthren, tabel 4.4). Heller ikke i denne stofgruppe er der nævneværdig forskel mellem medianværdierne i søerne fra kontrolovervågningen og den operationelle overvågning.

Der er fastsat miljøkvalitetskrav for antracen (0,024 mg/kg tørstof). I mange af søerne er koncentrationen af antracen højere end dette; nemlig 22 i kontrolovervågningen og 93 i den operationelle overvågning.

Tabel 4.4. Forekomst af polyaromatiske kulbrinter (PAH) i sediment fra søer indeholdt i kontrolovervågningen og den operationelle overvågning i perioden 2010-2021. Hvis en sø er undersøgt flere gange i perioden, er det nyeste resultat anvendt i beregningerne. DG=detektionsgrænsen. TS=tørstof. Kon=kontrolovervågning. Ope=operationel overvågning. MKK=miljøkvalitetskrav.

Enhed: mg/kg TS		Middel	Median	10 %-fraktil	90 %-fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	%fund >DG	DG	MKK
1-Methylpyren	Kon	0,016	0,0044	0,0007	0,017	0,00025	0,53	83	82	0,0005-0,03	Ingen
	Ope	0,013	0,0047	0,0011	0,028	0,00025	0,27	239	81	0,0005-0,03	
2-Methylphenanthren	Kon	0,025	0,0046	<DG	0,026	<DG	1,1	83	67	0,0005-0,4	Ingen
	Ope	0,013	0,0053	<DG	0,036	<DG	0,33	239	72	0,0005-0,4	
2-Methylpyren	Kon	0,022	<DG	<DG	0,026	<DG	0,93	83	29	0,01-0,2	Ingen
	Ope	0,013	<DG	<DG	0,03	<DG	0,44	239	27	0,01-0,2	
Acen-aphthen	Kon	0,013	0,0016	<DG	0,026	<DG	0,39	83	54	0,0005-0,09	Ingen
	Ope	0,010	0,0024	<DG	0,032	<DG	0,098	239	61	0,0005-0,09	
Acen-aphthylen	Kon	0,084	0,012	0,0018	0,045	0,00025	5	83	94	0,0005-0,04	Ingen
	Ope	0,042	0,017	0,0023	0,11	0,00025	0,52	239	88	0,0005-0,04	
Antracen	Kon	0,065	0,014	0,0035	0,053	0,00025	3,2	83	93	0,0005-0,06	0,024
	Ope	0,043	0,018	0,0046	0,12	0,00025	0,73	239	93	0,0005-0,06	
Benz(a)anthracen	Kon	0,19	0,045	0,0093	0,16	0,00075	7,2	83	93	0,0015-0,2	Ingen
	Ope	0,13	0,048	0,01	0,27	0,00075	3,2	239	97	0,0015-0,02	
Benz(a)-fluoren	Kon	0,069	0,014	0,0021	0,073	0,00025	3	83	95	0,0005-0,03	Ingen
	Ope	0,039	0,014	0,003	0,093	0,00025	0,91	239	94	0,0005-0,03	
Benz(ghi)-perylen	Kon	0,26	0,073	0,012	0,32	0,001	8,1	83	100	0,001	Ingen
	Ope	0,16	0,072	0,016	0,38	0,0005	2	239	99	0,001	
Benzo(a)-pyren	Kon	0,22	0,054	0,0065	0,21	0,0005	8,2	83	94	0,001-0,04	Ingen
	Ope	0,13	0,052	0,0096	0,29	0,0005	2,9	239	97	0,001-0,04	
Benzo(b+j+k)fluranthen	Kon	0,53	0,13	0,022	0,76	0,0025	19	83	99	0,0015	Ingen
	Ope	0,33	0,15	0,032	0,69	0,00075	4,6	239	99	0,0015	
Benzo(e)-pyren	Kon	0,21	0,049	0,0077	0,3	0,001	8,2	83	98	0,001-0,3	Ingen
	Ope	0,14	0,058	0,012	0,3	0,0005	2,1	239	95	0,001-0,3	
Crysen/triphenylen	Kon	0,28	0,069	0,0099	0,27	0,0021	11	83	100	0,001-0,05	Ingen
	Ope	0,16	0,067	0,015	0,38	0,0005	2,7	239	98	0,001-0,05	
Dibenz(a,h)anthracen	Kon	0,067	0,017	0,0021	0,085	0,0005	2,5	83	92	0,001-0,06	Ingen
	Ope	0,036	0,017	0,0018	0,08	0,0005	0,52	239	87	0,001-0,06	
Dibenzothiophen	Kon	0,017	0,0039	<DG	0,022	<DG	0,63	83	77	0,001-0,08	Ingen
	Ope	0,0083	0,0032	<DG	0,024	<DG	0,1	239	71	0,001-0,08	
Dimethylphenanthren	Kon	0,0035	<DG	<DG	0,0031	<DG	0,22	83	17	0,001-0,02	Ingen
	Ope	0,0026	<DG	<DG	0,0094	<DG	0,066	239	23	0,001-0,02	
Fluoranthen	Kon	0,47	0,088	0,02	0,41	0,0015	21	83	99	0,003	Ingen
	Ope	0,27	0,11	0,025	0,58	0,0015	7,5	239	98	0,003	
Fluoren	Kon	0,037	0,014	0,0038	0,054	0,00025	1,4	83	93	0,0005-0,1	Ingen
	Ope	0,029	0,02	0,0043	0,063	0,00025	0,23	239	95	0,0005-0,05	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	Kon	0,24	0,066	0,011	0,4	0,001	7,9	83	95	0,002-0,15	Ingen
	Ope	0,14	0,066	0,016	0,34	0,001	1,8	239	95	0,002-0,15	
Perylen	Kon	0,19	0,056	0,0081	0,37	0,0018	2,7	83	99	0,001-0,3	Ingen
	Ope	0,14	0,06	0,0063	0,34	0,0005	1,3	239	94	0,001-0,3	
Phenanthren	Kon	0,21	0,048	0,016	0,16	0,0014	10	83	100	0,0006-0,6	Ingen
	Ope	0,10	0,058	0,019	0,23	0,0003	1,2	239	99	0,0006-0,06	
Pyren	Kon	0,37	0,073	0,014	0,29	0,0015	16	83	99	0,001-0,003	Ingen
	Ope	0,23	0,09	0,02	0,5	0,0015	6,3	239	98	0,001-0,003	

Blødgørere

Blødgørerne omfatter stoffer fra gruppen af phthalater og en enkelt adipat, der anvendes som blødgørere i plastik, gummi, maling m.m. Blødgørerne har været medvirkende til, at f.eks. plastmaterialer har kunnet anvendes til en lang række produkter, hvor der er behov for meget forskellige egenskaber, lige fra den hårde tagrende til den bløde regnfrakke. Blandt phthalaterne har særligt DEHP igennem årene været i fokus på grund af den udbredte anvendelse og dets egenskab som hormonforstyrrende stof. Anvendelsen af DEHP er blevet reguleret, og forbruget er blevet erstattet eller suppleret med andre blødgørere. Blødgørerne tilføres til omgivelserne med spildevand, med overfladisk afstrømning og via afdampning til atmosfæren, hvorfra det udvaskes (Boutrup m.fl. 2015).

Tre af de undersøgte blødgørere (benzylbuthylphthalat, di(2-ethylhexyl)adipat og dibuthylphthalat) er fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen i få søer, svarende til 2-9 % af søerne. DEHP og diisononylphtalat er fundet i mere end halvdelen af søerne i mediankoncentrationer på op til 0,12 mg/kg tørstof (tabel 4.5).

Tabel 4.5. Forekomst af blødgørere i sediment fra søer indeholdt i kontrolovervågningen og den operationelle overvågning i perioden 2010-2021. Hvis en sø er undersøgt flere gange i perioden, er det nyeste resultat anvendt i beregningerne. DG=detektionsgrænsen. TS=tørstof. Kon=kontrolovervågning. Ope=operationel overvågning. MKK=miljøkvalitetskrav.

Enhed: mg/kg TS		Middel	Median	10 %-fraktil	90 %-fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	% fund >DG	DG	MKK
Benzylbuthyl-phthalat	Kon	0,0003	<DG	<DG	<DG	<DG	0,02	64	2	0,01-0,04	Ingen
	Ope	0,0005	<DG	<DG	<DG	<DG	0,03	64	2	0,01-0,04	
DEHP	Kon	0,10	0,05	<DG	0,25	<DG	1,1	83	67	0,01-0,1,	Ingen
	Ope	0,44	0,12	<DG	0,9	<DG	12	239	67	0,01-0,1	
Di(2-ethyl-he-xyl)adipat	Kon	0,0005	<DG	<DG	<DG	<DG	0,04	83	1	0,01-0,1	Ingen
	Ope	0,012	<DG	<DG	<DG	<DG	0,68	87	2	0,01-0,1	
Dibuthylph-thalat	Kon	0,0014	<DG	<DG	<DG	<DG	0,03	64	9	0,01-0,1	Ingen
	Ope	0,0031	<DG	<DG	<DG	<DG	0,11	64	5	0,01-0,1	
Diisononylph-thalat	Kon	0,15	0,04	<DG	0,37	<DG	1,9	83	58	0,02-0,2	Ingen
	Ope	0,14	<DG	<DG	0,3	<DG	2,4	87	43	0,02-0,2	

Organotinforbindelser

De mest udbredte anvendelser af organotinforbindelserne er brugen af tributyltin (TBT) og tidligere triphenyltin (TPhT) som antibegroningsmiddel i bundmaling til skibe og som biocid i træbeskyttelsesmidler. Disse anvendelser er ikke længere tilladt. De øvrige organotinforbindelser, mono- og dibutyltin, anvendes som stabilisator i PVC-plast og forekommer desuden som nedbrydningsprodukter af TBT. TBT virker specifikt på snegle ved at fremprovokere kønsændringer i ellers normalt kønnede havsnegle (Boutrup m.fl. 2015).

Organotinforbindelserne er fundet over detektionsgrænsen i 8-88 % af de undersøgte søer i (tabel 4.6). Monobutyltin, som er fundet hyppigt, er fundet i de højeste koncentrationer (0,5-150 µg/kg tørstof, median=7,5 i kontrolsøerne og 1,6 i søerne i den operationelle overvågning). Det næsthyppigst forekommende stof inden for denne gruppe er dibutyltin, som er fundet i 32-45 % af de undersøgte søer, men generelt i lave koncentrationer (medianværdi på 0). Koncentrationerne af triphenyltin og tributyltin ligger i de fleste søer under detektionsgrænsen.

Tabel 4.6 Forekomst af organotinforbindelser i sediment fra søer indeholdt i kontrolovervågningen og den operationelle overvågning i perioden 2010-2021. Hvis en sø er undersøgt flere gange i perioden, er det nyeste resultat anvendt i beregningerne. DG=detektionsgrænsen. TS=tørstof. Kon=kontrolovervågning. Ope=operationel overvågning. MKK=miljøkvalitetskrav.

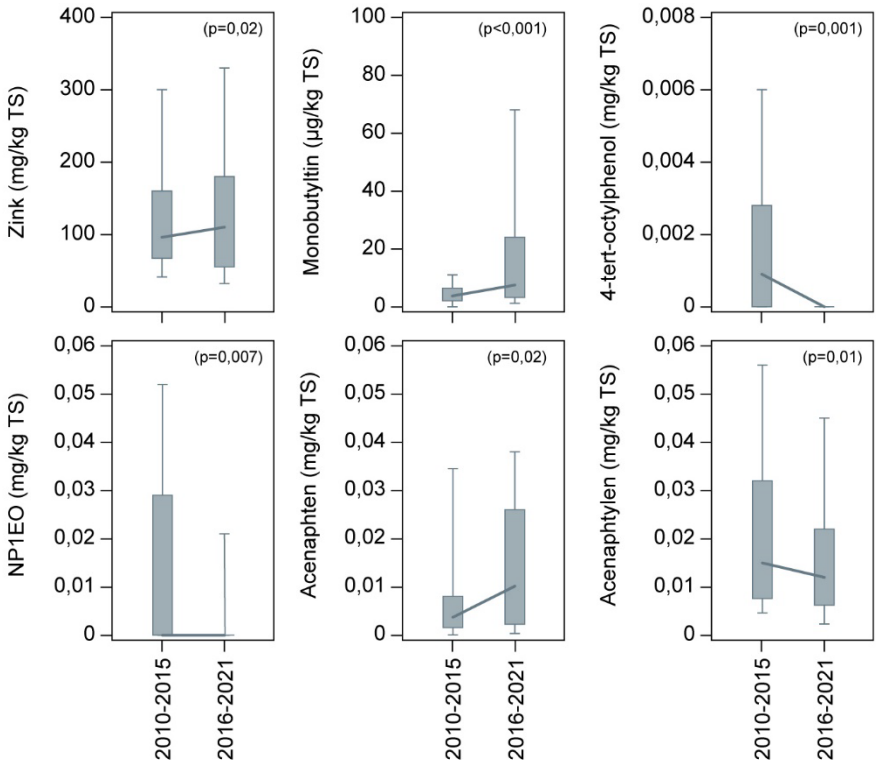
Enhed: µg/kg TS		Middel	Median	10 %-fraktil	90 %-fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	% fund >DG	DG	MKK
Monobutyltin	Kon	17,9	7,5	2	38	0,5	150	83	88	1-70	Ingen
	Ope	5,6	1,6	<DG	13	<DG	120	109	56	1-70	
Dibutyltin	Kon	1,7	<DG	<DG	6,2	<DG	21	83	32	1-30	Ingen
	Ope	5,8	<DG	<DG	17	<DG	150	109	45	1-30	
Tributyltin (TBT)	Kon	1,0	<DG	<DG	3,2	<DG	27	83	20	1-36	Ingen
	Ope	1,6	<DG	<DG	2,5	<DG	130	109	12	1-36	
Triphenyltin (TPhT)	Kon	0,057	<DG	<DG	0,2	<DG	1,4	83	13	0,1-4	Ingen
	Ope	0,019	<DG	<DG	<DG	<DG	0,3	26	8	0,1-4	

Pesticider

Ud over de ovennævnte stofgrupper er sedimentet i 19 kontrolsøer og 88 søer i den operationelle overvågning analyseret for pesticiderne chlorpyrifos, cypermethrin, isoproturon og tau-fluvalinat. I ingen af søerne er stofferne fundet over detektionsgrænsen.

Sammenligning mellem 2010-2015 og 2016-2021 i de kontrolovervågede søer

I dette afsnit undersøges det, om der er sket en ændring i niveauerne i de enkelte stoffer i de kontrolovervågede søer fra perioden 2010-2015 til 2016-2021. Fremgangsmåden er den samme som for vandkemiske parametre og sigtdybde, hvor også to seksårsperioder blev sammenlignet. Også her optræder hver sø med én værdi i hver periode, og kun søer, som er undersøgt i begge perioder, indgår i analysen. Endelig skal detektionsgrænsen for et stof i en specifik sø være den samme i begge perioder. Data for de enkelte parametre er logaritmetransformeret, og vha. Shapiro-Wilk-testen undersøges det, om forskellene mellem perioderne i de enkelte søer er normalfordelt. Ved normalfordeling anvendes der en parret t-test for at afgøre, om der samlet set er forskel mellem perioderne. Hvis data ikke er normalfordelt, testes forskellen vha. en Wilcoxon signed rank test. Resultater, hvor den statistiske analyse viser, at der er signifikant forskel mellem de to perioder er vist i figur 4.2.



Figur 4.1. Boxplots, der illustrerer forskellen i seks af de undersøgte MFS i kontrolovervågningen mellem de to seksårsperioder 2010-2015 og 2016-2021. Hver box med whiskers viser median, 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Medianværdierne er forbundet. p-værdier ses under hvert stof.

Blandt de stoffer, hvor ovennævnte forudsætninger er opfyldt, kan der konstateres en signifikant forskel mellem de to perioder for seks stoffer. Metallet zink og organotinforbindelsen monobutyltin har højeste værdier i perioden 2016-2021. For phenolerne 4-tert-octylphenol og nonylphenol-mono-ethoxylater er værdien højest i perioden 2010-2015. For PAH'en acenaphten er værdien højest i den seneste periode, mens det modsatte er tilfælde for acenaphtylen. Det skal understreges, at datamaterialet ikke er tilstrækkeligt til, at en tidsmæssig udvikling kan analyseres.

4.2 Pesticider i vandfasen i den operationelle overvågning

Pesticider har udbredt anvendelse i landbruget, men anvendelse andre steder end i landbruget har også vist sig at have betydning for pesticidernes forekomst i miljøet, eksempelvis tidligere anvendelse på jernbanearealer og bebyggede områder.

For nogle pesticider findes nedrydningsproduktet mere udbredt end selve pesticidet, eksempelvis BAM, som er nedbrydningsproduktet af dichlobenil. Pesticidernes evne til at blive nedbrudt og den hastighed, nedbrydningen sker med, har afgørende betydning for, om det er pesticiderne, deres nedbrydningsprodukt eller begge, der kan findes i miljøet. Overvågningen omfatter derfor såvel det aktive stof som en række nedbrydningsprodukter af pesticider.

I perioden 2010-2021 er der analyseret for pesticider i vandfasen i otte søer; fire i 2012 (Hyllested Sø, Hale Sø, Munkesø og Vesterborg Sø) og fire i 2020 (Hinge Sø, Grindsted Engsø, Arreskov Sø og Damhussøen). Søerne i den operationelle overvågning er udpeget af Miljøstyrelsen, således at de imødekommer databehovet i forhold til vandområdeplanarbejdet. Alle stoffer blev målt 12 gange i 2012, mens nationalt specifikke stoffer blev målt fire gange i

2020 og EU-prioriterede stoffer 12 gange i 2020. Der foreligger ikke resultater for alle stoffer i hver prøve.

Fund under detektionsgrænsen

Hvis et stof ikke er fundet over detektionsgrænsen i en given prøve, sættes resultatet til 0, hvis fundhyppigheden for stoffet på den pågældende station er <20 %. Hvis fundhyppigheden er >20 %, sættes fund under detektionsgrænsen til 0,5*detektionsgrænsen (Larsen, 2013). Dette svarer til retningslinjerne for MFS i sediment, dog beregnes fundhyppigheden ud fra det samlede antal prøver på en enkelt station, da der for vandfasen som nævnt findes flere målinger pr. år.

Miljøkvalitetskrav

Der findes miljøkvalitetskrav (MKK) for en del af pesticiderne i vandfasen. MKK er i kvalitetsbekendtgørelsen (Bek. nr. 1625 af 19/12/2017) udtrykt både som det generelle kvalitetskrav (årsgennemsnit) og som maksimumskoncentration.

Data for de enkelte stoffer og deres nedbrydningsprodukter er præsenteret med middelværdi, median, 10 %- og 90 %-fraktiler samt maksimumsværdier. Resultaterne findes i tabel 4.7, hvor også antallet af stationer og prøver, detektionsgrænsen, fundhyppigheden og miljøkvalitetskrav for hvert stof er angivet.

Tabel 4.7. Forekomst af pesticider i vandfasen fra otte søer indeholdt i den operationelle overvågning for årene 2012 og 2020. De statiske parametre er beregnet på baggrund af 4-12 årlige prøver i den enkelte sø. DG=detektionsgrænsen. MKK=miljøkvalitetskrav.

Enhed=µg/l	Antal søer/ prøver	Middel-værdi	Median	10 %-fraktil	90 %-fraktil	DG[1)]	Maks.-værdi	Fund-Hyp. %	MKK	
									Gene-relt	Maks.
2,6-Dichlorbenzamid (BAM)	8/64	0,003	<DG	<DG	0,012	0,01[1)]	0,012	23	78	780
4-Nitrophenol	4/46	0,007	<DG	<DG	0,026	0,01[1) 3)]	0,026	7	Ingen	
AMPA	8/72	0,027	0,014	<DG	0,115	0,01	0,115	61	ingen	
Atrazin	8/90	-	-	-	-	0,01[1)]	-	0	0,6	2
Atrazin, desisopropyl-	4/46	-	-	-	-	0,01[1)]	-	0	ingen	
Atrazin, hydroxy-	4/46	0,001	<DG	<DG	0,002	0,01[1)]	0,002	4	ingen	
Bentazon	8/64	0,002	<DG	<DG	0,018	0,01[1)]	0,018	14	45	450
Chlorpyrifos	4/44	-	-	-	-	0,003	-	0	0,03	0,1
DEIA	4/46	0,0003	<DG	<DG	0,001	0,01	0,001	2	ingen	
Diuron	8/90	0,0004	<DG	<DG	0,004	0,01[1)]	0,004	3	0,2	1,8
DNOC	8/64	0,002	0,002	<DG	0,005	0,01[1)]	0,005	14	ingen	
Glyphosat	8/72	0,032	0,009	<DG	0,109	0,01[2)]	0,109	57	ingen	
Isoproturon	8/90	-	-	-	-	0,01[1)]	-	0	0,3	1
MCPA	8/64	0,006	<DG	<DG	0,040	0,01[1)]	0,040	16	ingen	
Mecoprop	8/63	-	-	-	-	0,01[1)]	-	0	18	187
Pendimethalin	4/46	-	-	-	-	0,01	-	0	ingen	
Prosulfocarb	8/64	0,004	0,004	<DG	0,009	0,01	0,009	19	ingen	
Simazin	8/90	-	-	-	-	0,01[1)]	-	0	1	4
Terbuthylazin-desethyl	4/46	-	-	-	-	0,01[1)]	-	0	ingen	
Terbutryn	4/44	-	-	-	-	0,0065	-	0	0,065	0,34
Trichloreddikesyre	4/18	0,006	0,005	<DG	0,014	0,01	0,014	22	ingen	

[1)]For en enkelt prøve i Hyllested Sø er detektionsgrænsen 0,1 µg/l.

[2)]For en enkelt prøve i Hinge Sø er detektionsgrænsen 0,02 µg/l.

[3)]For en enkelt prøve i Hyllested Sø er detektionsgrænsen 0.02 µg/l.

Glyphosat og dets nedbrydningsprodukt AMPA, 2,6-Dichlorbenzamid (BAM) og trichloreddikesyre (TCA) var de hyppigst forekommende stoffer, idet de blev fundet i 22-61 % af prøverne. MCPA, DNOC bentazon og prosulfocarb blev fundet i 14-19 % af prøverne. 4-Nitrophenol, hydroxyatrazin, diuron og DEIA blev fundet i mindre end 10 % af søerne. Atrazin, desisopropylatrazin, chlorpyrifos, isoproturon, mecoprop, pendimethalin, simazin, terbuthylazin-desethyl og terbutryn blev ikke fundet i nogen af de analyserede prøver over den anvendte detektionsgrænse.

Blandt de stoffer, der er fundet i prøverne, er der ingen målte koncentrationer over MKK, hverken den generelle eller den maksimale værdi.

Som for MFS i sediment kan der henvises til tidligere publicerede rapporter, hvor nogle af de enkelte pesticider er beskrevet i yderligere detaljer end her (Boutrup m.fl., 2015 og 2021).

5 Klima og afstrømning

Variationer i de klimatiske forhold og afstrømning kan både direkte og indirekte influere på søernes miljøtilstand. I nedbørsrige år med stor afstrømning vil der generelt være en større tilførsel af næringsstoffer fra dyrkede og udyrkede arealer til søerne. Vandets opholdstid vil til gengæld være kortere, og derfor vil der være tendens til, at stoftilbageholdelsen i søerne i procent af tilførslen vil være relativt mindre end i et "tørt" år.

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

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

Klimadata vist i dette afsnit er tilvejebragt via DMI's GRID-data (http://novana.dmi.dk). Temperatur-, global indstråling- og vinddata er baseret på data fra 20x20 km kvadrater, de såkaldte "grid-værdier", mens nedbøren er baseret på 10x10 km grids. For alle parametre er grids'ene "klippet" ved kystlinjen og derefter beregnet for arealet inden for kystlinjen. Det bemærkes, at de anvendte nedbørsværdier er de observerede værdier, som ikke er korrigeret til jordoverfladen. For datagrundlag og beregningsmetoder af ferskvandsafstrømningen henvises til Thodsen m.fl. (2022).

I dette kapitel gives der en kort oversigt over de klimatiske forhold i 2021 sammenlignet med perioden 1990-2020.

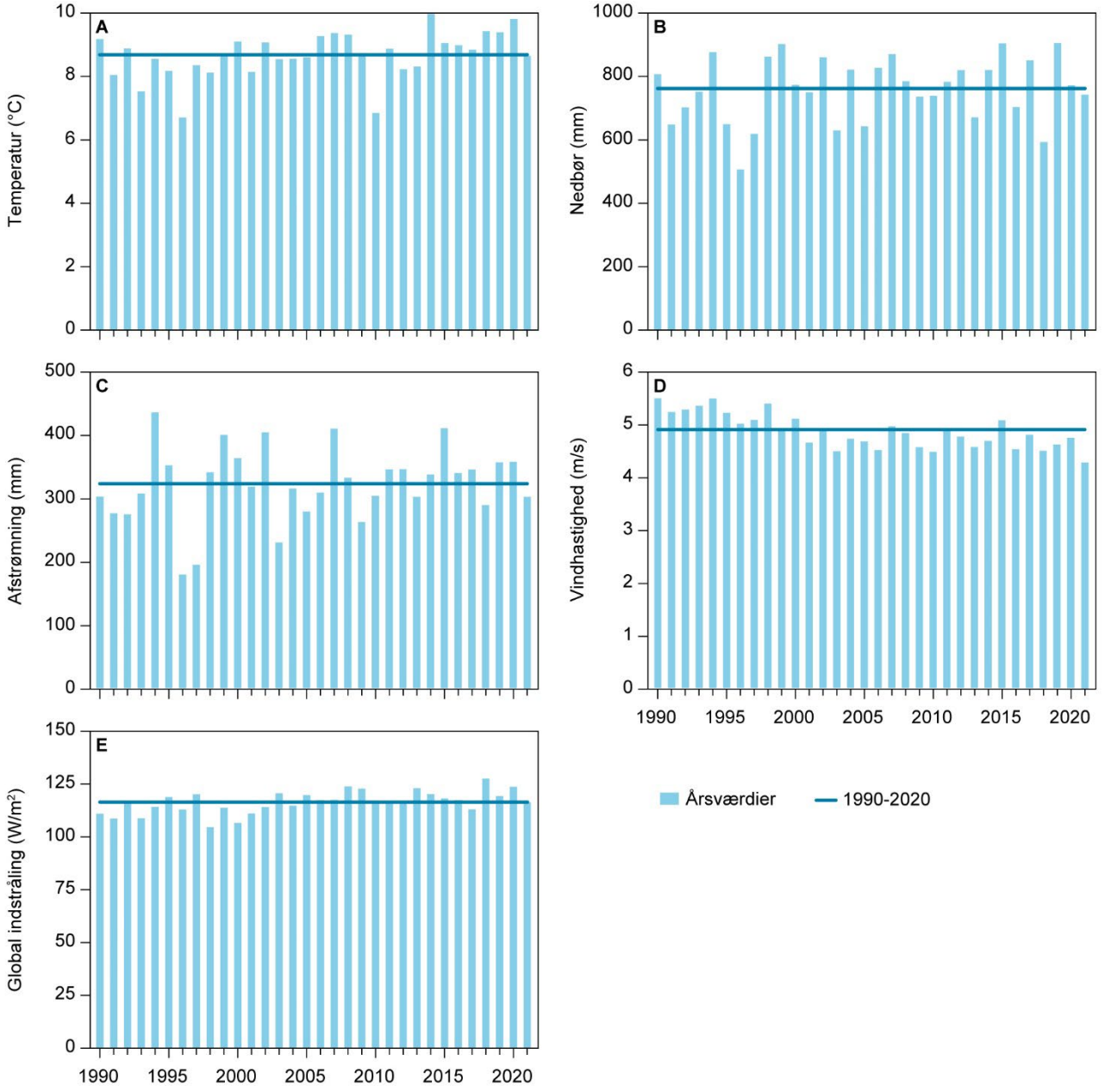
Lufttemperatur og global indstråling

For Danmark som helhed var årets gennemsnitlige temperatur i 2021 på 8,7 °C, hvilket var den samme temperatur som gennemsnittet for perioden 1990-2020 (8,7 °C) (figur 5.1A). Januar og februar var koldere i 2021 end gennemsnittet for perioden 1990-2020, mens juni og juli var varmere end gennemsnittet for perioden 1990-2020 (figur 5.2A).

Den gennemsnitlige årsværdi af den globale indstråling varierede kun lidt fra år til år (figur 5.1E). I 2021 var den som gennemsnittet for perioden 1990-2020. I maj var indstrålingen mindre end gennemsnittet, mens indstrålingen i april og juni var højere end gennemsnittet (figur 5.2E).

Nedbør

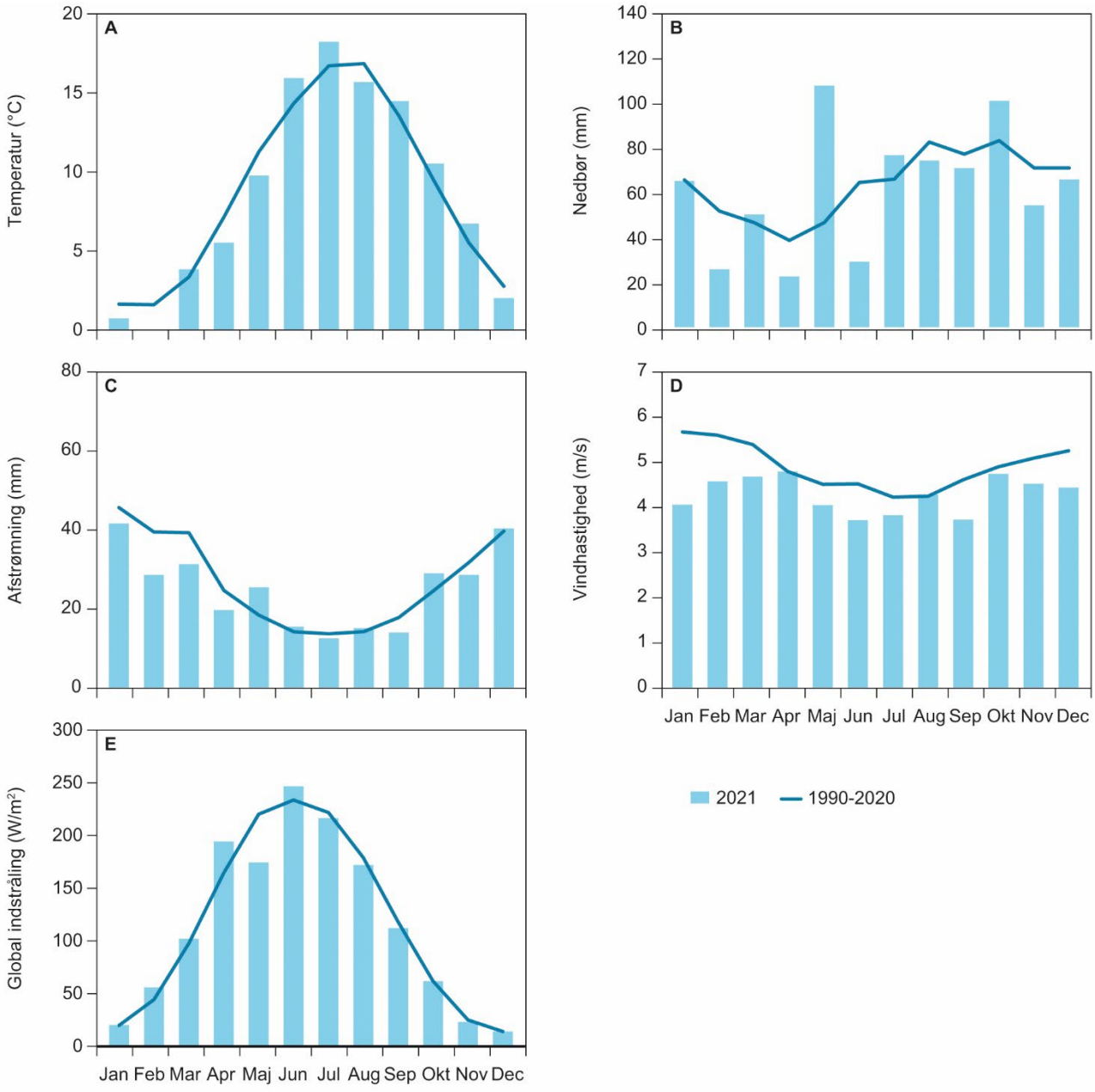
I 2021 kom der 744 mm nedbør, hvilket er på niveau med gennemsnittet for perioden 1990-2020 (762 mm) (figur 5.1B). Der var store variationer over året, og i maj 2021 kom der over dobbelt så meget nedbør (107 mm) som gennemsnittet for perioden 1990-2020 (47 mm) (figur 5.2B). Februar, april og juni 2021 var til gengæld ret tørre sammenlignet med gennemsnittet for 1990-2020. I resten af året var nedbørsforholdene mere normale, bortset fra en relativ våd oktober og tør november.



Figur 5.1. Gennemsnitlige årsværdier for lufttemperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) for Danmark fra 1990 til 2021. Data for temperatur, vindhastighed, nedbør og global indstråling er baseret på DMI's data. Ang. afstrømning se Thodsen m.fl. (2022). Desuden er gennemsnittet for perioden 1990-2020 indlagt. Data fra hele Danmark.

Afstrømning

Den arealspecifikke ferskvandsafstrømning var i 2021 på 304 mm, hvilket er noget lavere end 2020 (359 mm). Afstrømningen for 2021 var 6 % lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2020 (324 mm) (figur 5.1C). Afstrømningen var ret lav i februar og april, mens der i maj var en noget højere afstrømning end den gennemsnitlige afstrømning for perioden 1990-2020 (figur 5.2C).



Figur 5.2. Månedsværdier for temperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) i 2021 samt gennemsnittet for perioden 1990-2020. Data for temperatur, vindhastighed, nedbør og global indstråling er baseret på DMI's data. Ang. afstrømning se Thodsen m.fl. (2022). Data fra hele Danmark.

Vindforhold

Den gennemsnitlige årlige vindhastighed for hele Danmark var i 2021 4,3 m/s, hvilket er den laveste værdi for hele måleserien og markant lavere end gennemsnittet for perioden 1990-2020 (4,9 m/s) (figur 5.1D). De månedlige vindhastigheder i 2021 var især ret lave i starten af året (januar og februar) og i slutningen af året (november og december) (figur 5.2D).

6 Referenceliste

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

Boutrup, S., Holm, A.G., Bjerring, R., Johansson, L.S., Strand, J., Thorling, L., Brüsch, W., Ernstsen, V., Ellermann, T. & Bossi, R. 2015. Miljøfremmede stoffer og metaller i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2004-2012. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 242 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 142 http://dce2.au.dk/pub/SR142.pdf

Boutrup, S., Kjær, C., Johansson, L.S., Larsen, M.M., Poulsen, M.B., Bossi, R., Christensen, M.R. & Frank-Gopolos, T. (202)1. Miljøfarlige forurenende stoffer i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2008-2019. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 288 s. - Videnskabelig rapport nr. 466. rapport nr. 466 http://dce2.au.dk/pub/SR466.

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

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

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

Fredshavn, J.F., Jørgensen, T.B. & Moeslund, B. (2009). Beregning af naturtilstand for vandhuller og mindre søer. Tilstandsvurdering af Habitatdirektivets søtyper. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 38 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 704. http://www.dmu.dk/Pub/FR706.pdf

Gutierrez, M. F., Devercelli, M., Brucet, S., Lauridsen, T. L., Søndergaard, M. & Jeppesen, E. (2016). Is recovery of large-bodied zooplankton after nutrient loading reduction hampered by climate warming? A long-term study of shallow hypertrophic Lake Søbygaard, Denmark. Water 8(8), 341.

Johansson, L.S., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Landkildehus, F., Kjeldgaard, A., Sortkjær, L., Windolf, J. & Bøgestrand, J. (2014). Søer 2015. NOVANA. Aar-

hus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 90 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 207. http://dce2.au.dk/pub/SR207.pdf

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. & Andersen, P.M. (2021). Søer 2019. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 68 s. - Videnskabelig rapport nr. 417 http://dce2.au.dk/pub/SR417.pdf

Johansson, L.S., Søndergaard, M. & Andersen, P.M. (2021). Søer 2020. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 80 s. - Videnskabelig rapport nr. 474. http://dce2.au.dk/pub/SR474.pdf

Johansson, L.S., Søndergaard, M. (2011). Teknisk Anvisning S14. Planteplankton – oparbejdning af prøver. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. https://ecos.au.dk/fileadmin/ecos/Fagdatacentre/Ferskvand/S14PlanteplanktonOparbejdningVer2.pdf

Johansson, L.S.& Lauridsen, T.L. (2011). Teknisk Anvisning S05. Fiskeundersøgelse i søer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. https://bios.au.dk/fileadmin/bioscience/Fagdatacentre/Ferskvand/S05_Fiskeundersoegelser_ver5.pdf.

Larsen, M.M., Strand, J. & Boutrup, S. 2013: Notat om udredning af metode til databehandling og datavurdering af miljøfarlige stoffer i vand, sediment og biota søer og kystvand. Notat fra DCE, Aarhus Universitet.

Larsen, S.E., Jensen, C. & Carstensen, J. (2002). Statistisk optimering af moniteringsprogrammer 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.

Miljø- og Fødevareministeriet 2017b: Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. Bekendtgørelse nr. 1625 af 19. december 2017.

Miljøministeriet (2021). Punktkilder 2020, Novana-punktkilder, ISBN: 978-87-7038-368-4

Miljøstyrelsen – søtyper. https://mst.dk/natur-vand/vandmiljoe/vandomraadeplaner/vandplanprojekter/soeprojekter/ny-typeinddeling-af-de-danske-soeer/

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

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

Søndergaard M., Bjerring R. & Jeppesen E. (2012). Persistent internal phosphorus loading during summer in shallow eutrophic lakes, Hydrobiologia DOI 10,1007/s10750-012-1091-3.

Sørensen, P. B. (2023). Metode til opgørelse af massebalancer og punktkildeopsplitning for 10 KU-søer i perioden 1990-2021. In prep.

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Troldborg, L., Windolf, J., Ovesen, N,B., Kjeldgård, A. & Højbjerg, A. L. (2019). Udvikling af vanddelen af DK-QNP til havbelastningsberegninger, Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 20 s. - Teknisk rapport.

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rolighed, J., Baattrup-Pedersen, A., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., Blicher-Mathiesen, G. & Kjeldgaard, A. (2021). Vandløb 2020. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 82 s. - Videnskabelig rapport nr. 473.

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.

Bilag 1. Datagrundlag og metoder

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

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

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

Beregning af tidsvægtede gennemsnit

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

Analyse af tidsmæssig udvikling i søerne i kontrolovervågningen

For at vurdere eventuelle udviklingstendenser i søerne er der testet for, om der er afvigelser fra nulhypotesen, dvs. om der gennem overvågningsperioden har været en statistisk sikker ændring. Mann-Kendalls ikke-parametriske test er anvendt til at teste for monotone udviklingstendenser. Nulhypotesen er, at der ikke har været en udviklingstendens i overvågningsperioden, og den alternative hypotese er, at der er en statistisk sikker udviklingstendens. Vi har anvendt et signifikansniveau på 10 %, hvorfor der i flere tilfælde kun er tale om udviklingstendenser. I præsentationen er der dog foretaget opdeling i fire klasser baseret på testsandsynligheden: <10 %, <5 %, <1 % og <0,1 %.

Sammenligning af resultater for vandkemi mellem perioderne 2010-2015 og 2016-2021 i KT-søerne

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

Massebalancer

Vand- og næringsstoftilførsel generelt

Vand- og næringsstofbalancer samt –tilførsel tager afsæt i den tekniske rapport 'TR36 - Belastningsopgørelser til søer' (Bjerring et al. 2014), men er opdateret på visse punkter for dels at opnå kompatibilitet med DK-QNP version 2 (Thodsen m fl. 2019), dels for at kvalificere belastningsopgørelserne, hvor det er muligt. I nærværende afrapportering er opgørelsesmetoden udvidet til, at magasinering af vand i søen i en aktuel måned påvirkes dels af tilstrømmende og udstrømmende vand den aktuelle måned, dels af den foregående måneds tilstrømmende vand. Især for de større søer med forholdsvis stor hydraulisk magasinering har det vist sig at være en fordel at tillægge forrige måneds indløb en betydning. Det vil sige, at vandføringen i udløbet fra søen den ene måned også er påvirket af indløbet til søen måneden før. Det er væsentligt at nævne, at der for nogle søer i løbet af overvågningsperioden (fra 1990 og til i dag) er sket en reduktion i antallet af målestationer i programmet. Når målestationer nedlægges, overgår en stadig større andel af oplandsarealet til en sø til kategorien "umålt opland", og usikkerheden øges herved på estimaterne af søernes vand- og næringsstofbelastninger.

Siden forrige opgørelse (Johansson m.fl. 2019) er datagrundlaget, der anvendes til at estimere bidraget fra spredt bebyggelse, blevet modificeret jfr.Miljøministeriet (2021), hvilket medfører en del forskydning mellem bidraget fra spredt bebyggelse og andre kilder.

Som konsekvens af analysefejl af totalkvælstof og totalfosfor er der til opgørelsen af massebalancerne anvendt korrigerede kvælstof- og fosfordata, se Thodsen m.fl. (2021).

Målt vand og næringsstoftilførsel

Der indgår målinger fra nuværende og tidligere nationale overvågningsstationer i vandløb til beregning af belastningsopgørelsen. Der anvendes månedsaggregerede vand- ($m^3\ md^{-1}$) og næringsstoftransporter (kg md^{-1}) fra stationsmålingerne i massebalanceberegningerne.

Vandafstrømning fra umålt opland

For den enkelte søs umålte opland estimeres vand- og næringsstoftilførsel ud fra en søspecifik statistisk modellering og under successiv inddragelse af alle tilgængelige moniteringsdata i overvågningsårene 1990-2020. Vandafstrømningen fra umålt opland bestemmes ved brug af en generel lineær model ud fra den fittede lineære model mellem målt udløb fra og målt indløb til søen, hvor andelen af umålt vand bestemmes ud fra værdien af de fittede parametre. Dette gøres ved at bestemme interaktionen mellem den lineære models fittede parametre og kombinationen af, hvilke målestationer der har været anvendt det pågældende år. Hvis der er sket et skift i, hvilke målestationer der er anvendt fra et år til et andet, så er den lineære model fittet med forskellige relevante parametre mellem disse år. Det estimerede intercept i den lineære model gør det muligt at splitte det umålte indløb op, så det kan opdeles i hhv. umålt baseflow/grundvandstilførsel og umålt overfladeflow. Det umålte baseflow/grundvandsudveksling kan stamme fra umålte kilder i oplandet uden for selve søen eller udveksling af vand gennem søbunden.

Vandbalance

Vandbalancen for søerne er opgjort over to måneder og afstemt som summen af målt og umålt tilførsel samt beregnet nedbør på søoverfladen fratrukket estimeret fordampning fra søens overflade. Udløbet for en måned er udtrykt

som en lineær relation til indløbet i den pågældende måned samt måneden før. For mindre søer med stort tilløb vil modellen vise, at udløbet primært afhænger af indløbet samme måned, og derfor tillægges måneden før kun en lille betydning. Omvendt – ved en større sø med mindre tilløb vil måneden før have en større betydning pga. magasinering af vand fra en måned til den næste.

Til beregning af nedbør og fordampning er anvendt månedssummen af daglige korrigerede værdier fra DMI's 10x10 km klimagrid.

Vandbalancens residual

Når vandbalancen opgøres med den generelle lineære model, opstår der et større eller mindre residual, der skyldes antagelserne bag modellen samt usikkerhed ved de målte vandmængder. For vandbalancen er det især vandspejlsændringer i de større søer, der kan give anledning til en usikkerhed. Desuden indgår der en usikkerhed på estimeret nedbør og fordampning på/fra søen pr. arealenhed. Denne usikkerhed multipliceres med søens areal.

Kvælstof og fosfor i indsivende og udsivende vand

Målt næringsstofbelastning fra søens opland bruges direkte til at bestemme søens belastning, mens næringsstofmængden fra den umålte del af oplandet/vandet estimeres via den beregnede, umålte vandmængde tilegnet en umålt modelestimeret næringsstofkoncentration for hhv. baseflow/grundvandsudveksling og overfladetilstrømning. Næringsstofkoncentrationen i umålt vand bestemmes ved brug af det målte tilløb, der er korrigeret for den oplandsspecifikke punktkildebelastning, så det alene er det diffuse bidrag, der indgår. De beregnede punktkildebidrag er sammenholdt med det estimerede diffuse bidrag uden tilbageholdelse i målestationen ved brug af DK-QNP-modellen samt den faktiske målte transport. Efter justering for punktkilder laves en kildeopsplitning i næringsstof fra baseflow/grundvandsudveksling og fra mere overfladenær afstrømning. I denne kildeopsplitning anvendes årlig mindstevandføring som estimat for baseflow. For udsivende vand gennem søbunden antages koncentrationen af fosfor og kvælstof at være lig koncentrationen i selve søen repræsenteret som interpolerede månedsgennemsnit.

DK-QNP-modellen

Den diffuse kvælstof- og fosforbelastning estimeres vha. DK-QNP-modellen på ID15-oplandsniveau (Thodsen m.fl. 2019), som også danner datagrundlaget for den nationale havbelastningsopgørelse. Modellens beregnede næringsstofbelastninger repræsenterer oplandsspecifikke jordtyper, dyrkningsgrad, afvandingsgrad, nedbør, temperatur samt årligt overskud af kvælstof- og fosfor fra landbruget.

Kvælstof og fosfor fra umålte oplande

I umålte oplande estimeres vand og næringsstof ud fra en søspecifik statistisk modellering og under successiv inddragelse af alle tilgængelige moniteringsdata i overvågningsårene 1990-2020. Moniteringsdata er i den forbindelse korrigeret for den oplandsspecifikke punktkildebelastning, så det alene er det diffuse bidrag, der estimeres. Disse modellerede næringsstofkoncentrationer er herefter justeret på baggrund af DK-QNP-modellens kvælstof- og fosforkoncentrationer, som estimerer det diffuse bidrag for søernes individuelle deloplande. Estimaterne på bidraget fra søernes umålte deloplande er således et produkt af karakteristikken fra søens målte oplande under hensyntagen til de oplandsspecifikke karakteristika, som DK-QNP-modellen udtrykker.

Atmosfærisk deposition

Direkte på søoverfladerne repræsenteres atmosfærisk deposition ved 20 kg kvælstof ha^{-1} $år^{-1}$ og 0,2 kg fosfor ha^{-1} $år^{-1}$ i perioden 1990-1997 samt 15 kg kvælstof ha^{-1} $år^{-1}$ og 0,1 kg fosfor ha^{-1} $år^{-1}$ fra 1998 og fremefter. Der anvendes lineær udligning af depositionen fra 1990-1998. Månedsværdier estimeres som et simpelt månedsgennemsnit af de årlige værdier.

Punktkilder

Punktkildebelastningen er opgjort specifikt til søernes tilløbsoplande samt til afløbsoplandet fra 1990-2020 og følger tilgangen i Bjerring et al. (2014). I år med manglende punktkildedata anvendes interpolerede værdier. Siden forrige opgørelse (Johansson m.fl. 2019) er datagrundlaget, der anvendes til at estimere bidraget fra spredt bebyggelse, blevet modificeret (Miljøministeriet 2021). Dette har medført en del forskydning mellem bidraget fra spredt bebyggelse og andre kilder, typisk en estimeret mindre udledning fra spredt bebyggelse.

Kvalitetssikring

Data indsamlet i 2021 er hovedsageligt registreret i databasen VanDa. Data indsamlet tidligere er for størstedelens vedkommende overført fra den tidligere anvendte database ODA. I både ODA og VanDa er der af Miljøstyrelsen og DCE foretaget automatisk og faglig godkendelse af data. Data, der var fuldt migreret og kontrolleret, er trukket fra VanDa. Hvor dette endnu ikke var tilfældet, blev data trukket fra ODA.

En beskrivelse af processen fsva. angår data i ODA kan ses i de datatekniske anvisninger på https://ecos.au.dk/forskningraadgivning/fagdatacentre/ferskvand/. Beskrivelser for processen i VanDa forventes at udkomme i form af reviderede datatekniske anvisninger i 2023.

SØER 2021

NOVANA

Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i perioden 2016-2021, og beskriver udviklingen i udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer siden overvågningens begyndelse i 1989. De 180 søer, som indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, er stadigvæk overvejende næringsrige med uklart vand, hvor blågrønalger gennemsnitlig udgør den største andel af algebiomassen. I mange af søerne er der sket forbedringer siden 1989, men den seneste seksårsperiode (2016-2021) viser en forøgelse i indhold af næringsstoffer og klorofyl i forhold til forrige seksårsperiode (2010-2015). Blandt de 10 søer, som indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, og hvor der er veldefinerede massebalancer, er de største ændringer i tilførsel af fosfor sket i begyndelsen i 1990'erne. I hovedparten af de 16 søer, hvor ændringer i planteplanktonet kan vurderes, er der ikke sket nogen signifikante ændringer i planteplanktonets biomasse siden 1989. Miljøfarlige forurenende stoffer er undersøgt i søsedimentet i 85 søer i kontrolovervågningen og 240 søer i den operationelle overvågning. I de fleste søer blev alle metaller, aromatiske kulbrinter og polyaromatiske kulbrinter fundet over detektionsgrænsen. Flere stoffer blev målt i koncentrationer over miljøkvalitetskravet. Pesticider blev målt i vandfasen i otte søer; der blev ikke fundet koncentrationer, der var højere end miljøkvalitetskravet.

ISBN: 978-87-7156-744-1
ISSN: 2244-9981