



SØER 2018

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 354

2019



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

SØER 2018

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 354

2019

Liselotte Sander Johansson

Martin Søndergaard

Peter Borgen Sørensen

Anders Nielsen

Erik Jeppesen

Peter Wiberg-Larsen

Frank Landkildehus

Aarhus Universitet, Institut for Bioscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 354
Titel:	Søer 2018
Undertitel:	NOVANA
Forfattere:	Liselotte Sander Johansson, Martin Søndergaard, Peter Borgen Sørensen, Anders Nielsen, Erik Jeppesen, Peter Wiberg-Larsen & Frank Landkildehus
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	December 2019
Redaktion afsluttet:	November 2019
Faglig kommentering:	Torben Lauridsen
Sproglig kvalitetssikring:	Anne Mette Poulsen
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen
Ekstern kommentering:	Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/SR354_komm.pdf
Finansiel støtte:	Miljø- og Fødevareministeriet
Bedes citeret:	Johansson, L.S., Søndergaard, M., Sørensen, P.B., Nielsen, A., Jeppesen, E., Wiberg-Larsen, 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 Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten beskriver status og udviklingen i udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer i søer siden 1989. Der præsenteres resultater fra søerne, som indgår i kontrolovervågningen af udvikling (KU-søer, 18 stk.), og en del af søerne, som indgår i kontrolovervågningen af tilstand (KT-søer, 93 stk.). Samlet set er der i KU-søerne sket en generel forbedring i miljøtilstanden, baseret på vandkemiske og -fysiske undersøgelser og vegetationsundersøgelser, dog med variationer mellem de enkelte søer. I 40 KT-søer er udviklingen i næringsstofftilstanden i de enkelte søer undersøgt, og for langt de fleste af disse ses der enten positive eller ingen ændringer. Det er ikke muligt at teste udviklingen i fiskesamfundet statistisk endnu, men i mange af søerne ses der positive tendenser i form af faldende samlet biomasse og en stigning i andelen af rovfisk, men også her er der stor variation mellem søerne. Generelt er de største ændringer sket i de første 10-20 år af overvågningsperioden.
Emneord:	Søer, miljøtilstand, overvågning, vandområdeplaner, NOVANA
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Martin Søndergaard
ISBN:	978-87-7156-453-2
ISSN (elektronisk):	2244-9981
ISSN:	2445-6683
Sideantal:	98
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf): http://dce2.au.dk/pub/SR354.pdf
Supplerende oplysninger:	NOVANA er et program for en samlet og systematisk overvågning af både vandig og terrestrisk natur og miljø. NOVANA erstattede 1. januar 2004 det tidligere overvågningsprogram NOVA-2003, som alene omfattede vandmiljøet.

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	7
Overvågningsprogrammet	7
Udviklingen i nøgleparametre	8
Kontrolovervågning af udvikling	8
Kontrolovervågning af tilstand	9
Klima og afstrømning	10
Fejlanalyser	10
Summary	11
1. Undersøgelsesprogrammet	16
1.1 Historik	16
1.2 Parametre i overvågningen	17
1.3 Søtyper i henhold til vandrammedirektivet	18
1.4 Kontrolovervågning	18
1.5 Operationel overvågning	21
1.6 Kortlægning af habitatnaturtyper i søer	21
2. Kontrolovervågning af søernes udvikling	22
2.1 Generel karakteristik	22
2.2 Vandkemi og sigtddybde	23
2.3 Sedimentkemi	39
2.4 Vegetation	44
2.5 Littoralzonens bunddyr og deres biodiversitet	47
2.6 Fisk	52
2.7 Massebalancer	57
3. Kontrolovervågning af søernes tilstand	76
3.1 Generel tilstand	76
3.2 Udviklingstendenser	77
3.3 Udvikling i KT-søer med lange tidsserier	80
4. Klima og afstrømning	88
4.1 Temperatur og global indstråling	88
4.2 Nedbør	89
4.3 Afstrømning	90
4.4 Vindforhold	91
5. Referencer	92
Bilag 1. Datagrundlag og metoder	95
Massebalancer	96

[Tom side]

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 2018.

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 Miljø- og Fødevareministeriet 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 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 fagdatacentre og Miljøstyrelsen (MST). Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) og fagdatacentret for punktkilder hos MST, mens fagdatacentre for vandløb, søer, marine områder, landovervågning samt arter og naturtyper er placeret hos Institut for Bioscience, Aarhus Universitet, og fagdatacentret for atmosfæren hos Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet.

Denne rapport er udarbejdet af Fagdatacenter for Ferskvand. 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 2018. Den seneste rapport er Søer 2017 (Johansson m.fl. 2019). Ikke alle indsamlede data bliver rapporteret hvert år. I år beskrives vandkemiske, sedimentkemiske og biologiske parametre i alle søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling (de 18 KU-søer). Derudover præsenteres kemiske og biologiske data fra søerne i kontrolovervågning af tilstand (KT-søerne), som er indsamlet i indeværende overvågningsperiode, (93 søer undersøgt i perioden 2016-2018). Rapporten beskriver udviklingen i den overordnede tilstand, men forholder sig ikke til mål- og tilstandsvurderinger i henhold til f.eks. EU-direktiver. Disse vurderinger vil fremgå af vandområdeplanerne.

Data fra overvågning af arter og naturtyper er ikke med i dette års rapport. Disse data indgår sammen med de foregående års data fra overvågning af arter og naturtyper i grundlaget for Danmarks rapportering til EU i medfør af habitatdirektivets artikel 17 og fuglebeskyttelsesdirektivets artikel 12. Dette

er rapporteret selvstændigt som DCE's bidrag til Miljø- og Fødevareministeriets rapportering til EU (Fredshavn m.fl. 2019).

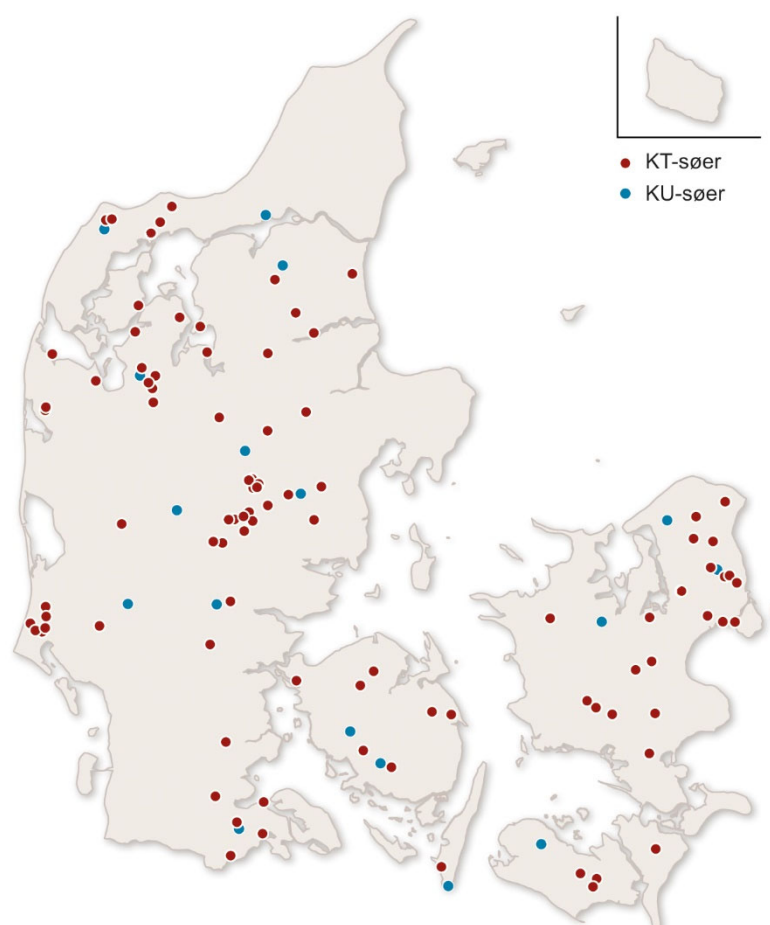
Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenterrapporter i 'Vandmiljø og natur 2018', som udgives i et samarbejde mellem DCE, GEUS og MST.

Sammenfatning

Overvågningsprogrammet

Det nuværende overvågningsprogram for søer (inkluderet i NOVANA) omfatter overvågning i forhold til EU's vandrammedirektiv (Den Europæiske Union 2000) og EU's habitatdirektiv (Den Europæiske Union 1992). Jf. vandrammedirektivet gennemføres der to overordnede typer af overvågning; kontrolovervågningen og den operationelle overvågning. Jf. habitatdirektivet foregår der kontrolovervågning og kortlægning af habitatnaturtyper i søer. For kontrolovervågningen og kortlægningen af habitatnaturtyper i vandhuller og småsøer <5 ha findes der et særskilt program. Placeringen af søerne i kontrolovervågningen, som omtales i denne rapport, er vist i figur 1.

Figur 1. Geografisk placering af søerne, der overvåges jf. vandrammedirektivet, og som beskrives i denne rapport. Disse omfatter 18 KU-søer (heraf 15 undersøgt siden 1989) og 93 KT-søer undersøgt i 2016-2018 (røde). KT=kontrolovervågning af søernes tilstand, KU=kontrolovervågning af søernes udvikling.



Kontrolovervågningen af søer jf. vandrammedirektivet inddeles i to typer: overvågningen af den generelle tilstand i søer (repræsenteret ved de såkaldte KT-søer, som omfatter 180 søer >5 ha, hvor hver sø bliver undersøgt hvert sjette år), samt overvågningen af udviklingen i søer (de såkaldte KU-søer, der omfatter 18 søer >5 ha). Den operationelle overvågning (de såkaldte OP-søer), der er rettet mod søer, som er i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet for deres tilstand, omfatter i perioden 2016-2021 ca. 413 søer (heri er ikke medregnet de søer i kontrolovervågningen, som også overvåges operationelt). Søerne i det operationelle program indgår ikke i dette års rapport. I tabel 1 er der givet en oversigt over søerne (antal og prøvetagningsår), der er repræsenteret i denne rapport.

Tabel 1 Oversigt over antal søer, hvorfra der vises data i denne rapport. År for undersøgelsen er ligeledes angivet.

	Antal søer	Undersøgt i
Overvågning jf. vandrammedirektivet (søer >5 ha)		
Kontrolovervågning af tilstand (KT)	93	2016-2018
Kontrolovervågning af udvikling (KU)	18	1989-2018 ^{*)}

^{*)}Tre af søerne er undersøgt siden 2011

I forhold til implementeringen af vandrammedirektivet og udarbejdelsen af vandområdeplaner arbejdes der i Danmark med 11 forskellige søtyper, der inddeles 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 de fleste tilfælde denne inddeling.

Miljøstyrelsen (MST) forestår den standardiserede prøveindsamling. Alle indsamlede data indberettes til Fagdatacenter for Ferskvand, som udarbejder årlige statusrapporter om den generelle tilstand og udvikling.

Udviklingen i nøgleparametre

En oversigt over fire nøgleparametre (totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* og sigtddybde) i de undersøgte overvågningssøer (KT og KU) er givet i tabel 2. Overordnet er KU-søerne generelt lidt mindre næringsrige og med lavere indhold af klorofyl og større sigtddybde end KT-søerne. Medianværdien for det sommergennemsnitlige indhold af klorofyl *a* er eksempelvis 41 µg/L i KT-søerne mod 30 µg/L i KU-søerne.

Tabel 2. Næringsstofindhold, sigtddybde og indhold af klorofyl *a* i søer omfattet af kontrolovervågningen i søer >5 ha (angivet som medianværdier for sommerperioden), som er præsenteret i denne rapport.

	Kontrolovervågning af tilstand (KT) 2016-2018	Kontrolovervågning af udvikling (KU) 2017-2018
Undersøgelsesår	2016-2018	2017-2018
Antal søer	Alle parametre: 92	Alle parametre: 18
	Total-P og total-N: 57	Total-P og total-N: 18
Total-P (mg/L)	0,099	0,067
Total-N (mg/L)	1,57	1,23
Klorofyl <i>a</i> (µg/L)	41	30
Sigtddybde (m)	1,14	1,66

Kontrolovervågning af udvikling

De 18 KU-søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, dækker et bredt spektrum både morfometrisk (størrelse og dybde) og næringsstofmæssigt. Det sommergennemsnitlige indhold af klorofyl *a* varierer eksempelvis mellem 4 og 202 µg/L og sigtddybden mellem 0,3 og 4,0 m. Alle værdier er fra 2017-2018.

Indholdet af totalfosfor er som sommergennemsnit reduceret i 12 af de 15 KU-søer, der er fulgt siden 1989, og uændret i tre søer. Der er kun sket få ændringer i de seneste 10 år, og her er der kun tale om signifikante ændringer i to søer. Indholdet af totalkvælstof er som sommergennemsnit reduceret signifikant i 13 ud af de 15 søer siden 1989, og to er uændret. Ligesom for totalfosfor

skete de flest ændringer tidligt i overvågningsperioden, og i de seneste 10 år har totalkvælstofkoncentrationen som sommergennemsnit kun ændret sig signifikant i tre søer.

Udviklingen i KU-søerne siden 1989 er generelt gået i retning af mindsket indhold af klorofyl *a* og øget sigtddybde. Således er sommergennemsnittet af klorofyl for hele overvågningsperioden reduceret i seks søer og øget i to søer, mens den sommergennemsnitlige sigtddybde er øget i otte søer og mindsket i én sø. De største ændringer er sket i den første del af perioden, mens ændringerne i de seneste 10 år har været beskedne, hvor kun få søer har ændret sig statistisk signifikant.

Undervandsvegetation er undersøgt i 10 KU-søer siden 1993/94 i mindst 10 år. Der er betydelige variationer fra år til år i planternes dækningsgrad, det plantefyldte vandvolumen og planternes dybdegrænse. I de 16 KT-søer, som har kunnet testes statistisk (mindst syv års data), er der i perioden 1993-2018 sket en signifikant fremgang i det plantedækkede areal i ni søer og en tilbagegang i to søer. Hvis der alene ses på udviklingen siden 2003, er der færre søer, hvor der har været signifikante ændringer, men i de tilfælde, hvor der er, har dette været i retning af større udbredelse.

Littoralzonens bunddyr og deres biodiversitet er for første gang undersøgt i 16 KU-søer i 2017-2018. De 16 søer omfatter fire forskellige søtyper, hvoraf bunddyrenes sammensætning især i de to brakvandssøer skilte sig ud fra de 14 ferskvandssøer. Blandt ferskvandssøerne var forskellen relativt lille. I alt blev der registreret ca. 240 forskellige taxa fordelt på over 100.000 individer. En art fimreorm (*Girardia tigrina*) blev for første gang officielt fundet i Danmark.

Fiskeundersøgelserne i KU-søerne har været gennemført siden 1989. Analyserne peger på, at fiskebestanden er under ændring som følge af den generelt aftagende næringsstofftilførsel. Der er således en tendens til en aftagende andel af karpefisk og en øget andel af rovfisk i en del af søerne, med de største ændringer i biomanipulerede søer samt de søer, som var mest næringsrige i starten af måleperioden.

Modsat forventningen fra de generelle relationer for danske søer og det fiskeindeks, der bruges til at fastsætte den økologiske kvalitet på baggrund af fisk, er gennemsnitsvægten af fisk mindsket markant i mange af søerne. Da små fisk er mere planktivore, vil det have negative effekter på dyreplankton og dermed på græsningstryk på planteplankton. Det vil derfor til dels modvirke effekterne af tiltagene over for næringsstofftilførslen.

Der er opgjort næringsstofbalancer og kildeopsplitning for 10 KU-søer, hvor der findes veldefinerede vandbalancer. Metoder for opgørelsen er opdateret i forhold til den seneste rapportering i 2014. Generelt er den vandføringsvægtede koncentration af kvælstof og fosfor, der løber til og fra søerne, reduceret. Specielt for fosfor er de største ændringer sket i begyndelsen af overvågningsperioden og for kvælstof er der en tendens til en mindre stigning fra 2014. Den relative næringsstofftilbageholdelse viser store variationer og generelt ingen markante ændringer.

Kontrolovervågning af tilstand

De 93 KT-søer, der er undersøgt i 2016-2018, repræsenterer syv forskellige søtyper, hvoraf søtype 9 (lavvandede) og søtype 10 (dybe) er de to typer med flest

data. De fleste af de 93 søer har et højt indhold af klorofyl (median af sommergennemsnit er 41 µg/L) og en relativ lav sigtddybde (median af sommergennemsnit er 1,14 m).

Langt de fleste af de 93 KT-søer er nu undersøgt gennem tre perioder (2004-2009, 2010-2015 og 2016-2018), og det giver mulighed for at vurdere deres udvikling. Generelt er der store variationer søerne imellem, men der er kun tale om små ændringer over de undersøgte tidsperioder. I type 9-søerne er der en tendens til øget plantedække og dybdegrænse, mens der i type 10-søerne er en tendens til et større antal fisk.

En del af KT-søerne er også undersøgt før 2004, og for 40 af disse søer er der mindst syv års data. Dermed er datagrundlaget stort nok til at kunne udføre nærmere statistiske analyser af de enkelte søers udvikling set over hele perioden siden 1989. Denne analyse viser, at det overordnede eutrofieringsniveau i søerne er faldet. Indholdet af totalfosfor er reduceret i 20 søer og kun øget i én sø, mens indholdet af totalkvælstof er reduceret i 25 søer, men ikke øget i nogen. Tilsvarende er klorofylindholdet reduceret i 19 søer og ikke øget i nogen, mens sigtddybde er øget i 19 søer og mindsket i én sø. Analysen viser også, at hvis der kun ses på den seneste 20 års periode, er andelen af søer, hvor der er sket signifikante ændringer, væsentlig mindre, end hvis man betragter hele perioden siden 1989.

For KT-søerne er fiskeundersøgelser kun gennemført i ca. halvdelen af de 180 søer i den seneste 6-års cyklus, og en samlet vurdering af udviklingen er derfor ikke foretaget i denne rapport. For en række af søerne er der data fra en længere periode, hvis også data fra før 2004 inddrages. Set under et viser disse søer en forbedring i form af en aftagende biomasse af karpefisk og en øget andel af rovfisk. Der er vist eksempler på søer, hvor ændringerne, som peger i samme retning, og som forventeligt er der særligt store ændringer i søer, der i perioden er søgt restaureret ved biomanipulation (opfiskning af karpefisk).

Klima og afstrømning

Klimatisk set var 2018 mærkbart varmere end gennemsnittet for de seneste 27 år – årsmiddeltemperaturen for hele Danmark var 9,4 °C i 2018 mod 8,6 °C i perioden 1990-2018. Især i perioden maj-juli var temperaturen markant højere end normalt. I forhold til perioden 1961-1990 var temperaturen som årsgennemsnit 1,7 °C højere i 2018.

Nedbørmængden i 2018 var væsentligt lavere end normalt, 594 mm mod et gennemsnit på 714 mm for perioden 1961-1990 og 755 mm for perioden 1990-2018. Især perioden maj-juli var nedbørsfattig. Den arealspecifikke ferskvandsafstrømning var i 2018 på årsbasis 294 mm, hvilket er en del lavere end normalen for 1990-2018 (325 mm).

Fejlanalyser

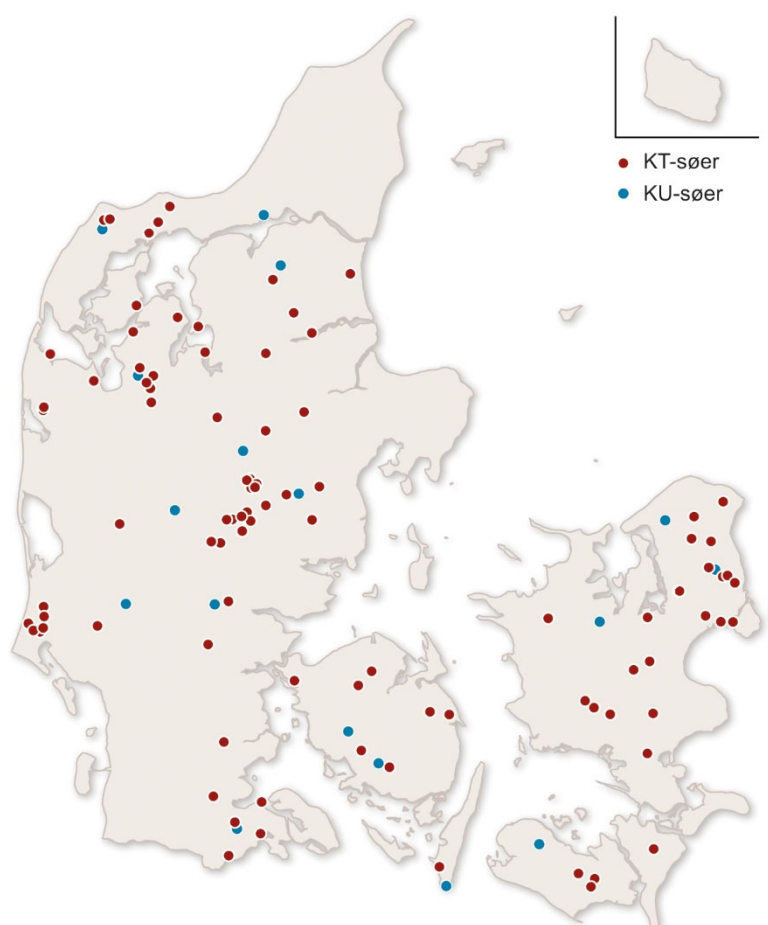
Analyserne af totalkvælstof og totalfosfor var fejlbehæftede i 2016. Derfor indgår de to parametre ikke i rapportering af data fra 2016. Der kan også være fejl i analyser af totalfosfor og totalkvælstof siden 2007, så derfor må tolkning af disse data indtil videre tages med forbehold. I skrivende stund arbejdes der fortsat på en afklaring om, hvordan fejlanalyserne endeligt skal håndteres.

Summary

The monitoring programme

The current monitoring programme for lakes (encompassed by NOVANA) includes monitoring in relation to the EU Water Framework Directive (European Union 2000) and the EU Habitats Directive (European Union 1992). According to the Water Framework Directive (WFD), there are two main types of monitoring – control monitoring and operational monitoring. According to the Habitats Directive, control monitoring and mapping of lake habitats are required. As to control monitoring of lake habitats and mapping of small lakes and ponds <5 ha, a separate programme exists. The location of the lakes in the control monitoring referred to in this report is shown in Figure 1.

Figure 1. Geographical location of the lakes monitored according to the Water Framework Directive described in this report. These include 18 KU lakes (of which 15 have been investigated since 1989) and 93 KT lakes investigated in 2016-2018 (red). KT = monitoring of the state of the lakes, KU = monitoring of the development of the lakes.



The control monitoring of lakes according to the WFD is divided into two types: monitoring of the general state of lakes (represented by the so-called KT lakes, which includes 180 lakes > 5 ha, where each lake is investigated every six years) and monitoring of the development of lakes (the so-called KU lakes, comprising 18 lakes >5 ha). The operational monitoring (the so-called OP lakes) geared towards lakes at risk of not complying with the goals for nature and the environment as far as their environmental state is concerned, a total of 413 lakes >5 ha were investigated (not including the KT and KU lakes already being monitored operationally) during the period 2016-2021. The lakes in the operational programme are not included in this year's report. Table 1 provides an overview of the lakes (number and sampling year) represented in this report.

Table 1 Survey of the number of lakes from which data are described in this report. Year of investigation is also provided.

	Number of lakes	Investigated in
Monitoring according to the Water Framework Directive (lakes >5 ha)		
Control monitoring of environmental state	93	2016-2018.
Monitoring of development (KU)	18	1989-2018 ^{*)}

^{*)}Three of the lakes have been studied since 2011

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), calcium content (calcareous, lime poor), colour (coloured water, non-coloured water) and salinity (fresh, brackish). The presentation of the data in this report mainly follows this classification.

The Danish Environmental Protection Agency (MST) is responsible for the standardised sample collection. All collected data are reported to the National Topic Centre for Freshwater, which prepares annual progress reports on the general environmental state and development in Danish lakes

Development of key parameters

An overview of the four key parameters (total phosphorus, total nitrogen, chlorophyll *a* and Secchi depth) in the investigated monitoring lakes is given in table 2. Overall, the KU lakes are generally slightly less nutrient-rich and have a lower content of chlorophyll and a greater Secchi depth than the KT lakes. For example, the median value of the summer average chlorophyll *a* is 41 µg/L in the KT lakes versus 30 µg/L in the KU lakes.

Table 2. Nutrient levels, Secchi depth and chlorophyll *a* in lakes included in the control monitoring of lakes >5 ha (given as summer median values) presented in this report.

	Control monitoring of state (KT) 2016-2018	Control monitoring development (KU) 2017-2018
Survey year	2016-2018	2017-2018
Number of lakes	All parameters: 92	All parameters: 18
	Total P and total N: 57	Total P and total N: 18
Total P (mg/l)	0.099	0.067
Total N (mg/l)	1.57	1.23
Chlorophyll <i>a</i> (µg/l)	41	30
Secchi depth (m)	1.14	1.66

Monitoring of development (KU)

The 18 KU Lakes included in the control monitoring of development cover a wide spectrum of both morphometric (size and depth) and nutrient factors. The summer average content of chlorophyll *a* varies, for example, between 4 and 202 µg/L and the Secchi depth between 0.3 and 4.0 m. All values are from 2017-2018.

The total phosphorus content has declined as a summer average in 12 of the 15 KU lakes that have been followed since 1989 and is unchanged in three lakes. There have been few changes in the last 10 years, and these are only significant in two lakes. The total nitrogen content as a summer average has declined significantly in 13 out of the 15 lakes since 1989 and only one is unchanged. As for

total phosphorus, most changes occurred early in the monitoring period and in the last 10 years the total nitrogen concentration as a summer average has only changed significantly in three lakes.

Since 1989, the development of the KU lakes has generally been in the direction of a reduced content of chlorophyll *a* and increased Secchi depth. Thus, the summer average of chlorophyll for the entire monitoring period has declined in six lakes and increased in two lakes, while the summer average Secchi depth has increased in eight lakes and decreased in one lake. The main changes occurred in the first part of the period, while the changes in the last 10 years have been modest, with only a few lakes having changed statistically significantly.

Submerged vegetation has been studied in 10 KU lakes since 1993/94 for at least 10 years. There are significant variations from year to year in plant coverage, plant-filled volume and the depth limit of plants. In the 16 KT lakes, which have been statistically tested (at least seven years of data), there was a significant improvement in the plant-covered area in nine lakes during the period 1993-2018 and a decline in two lakes. Focusing solely on the development since 2003, there are fewer lakes where significant changes have occurred, but in these cases most have been in the direction of greater coverage.

Macroinvertebrates in the littoral zone and their biodiversity were investigated for the first time in 16 KU lakes in 2017-2018. The 16 lakes comprise four different types of lakes in which the composition of the macroinvertebrates, especially in the two brackish lakes, differed significantly from the 14 freshwater lakes. Among the freshwater lakes, the difference was relatively small. In total, approximately 240 different taxa were recorded based on more than 100,000 individuals. A flatworm species (*Girardia tigrina*) was officially observed in Denmark for the first time.

The fish investigations in the KU lakes have been carried out since 1989. The analyses indicate that fish stocks are changing as a result of the generally decreasing nutrient input. There is thus a tendency towards a declining proportion of cyprinids and an increased share of predatory fish in several of the lakes, with the largest changes occurring in biomanipulated lakes and the lakes that were most nutrient-rich at the beginning of the monitoring period.

Contrary to the expectation from the general relations in Danish lakes and the fish index used to determine the ecological quality on the basis of fish, the average weight of fish has diminished markedly in many of the lakes. Since small fish are more planktivorous, this will have negative effects on the zooplankton and thus on the grazing pressure on phytoplankton. This will therefore partly counteract the effects of measures taken to reduce the nutrient input.

Nutrient balances and output sources have been calculated for 10 KU lakes for which well-defined water balances exist. Methods for the calculations have been updated relative to the latest reporting in 2014. In general, the water flow-weighted concentrations of nitrogen and phosphorus flows to and from the lakes have declined. Especially for phosphorus, the major changes occurred at the beginning of the monitoring period and for nitrogen there is a tendency to a slight increase from 2014. The relative nutrient retention shows great variations and generally no significant changes.

Control monitoring of state

The 93 KT lakes examined in 2016-2018 represent seven different types of lakes where lake type 9 (shallow) and lake type 10 (deep) are the ones on which most data are available. Most of the lakes have a high content of chlorophyll (median summer average 41 µg/l) and a relatively low Secchi depth (median summer average 1.14 m).

The vast majority of the 93 KT lakes have now been studied through three periods (2004-2009, 2010-2015 and 2016-2018), and this allows for an assessment of their development. In general, there are large variations between the lakes, but these are only small over the time periods examined. In the type 9 lakes, there is a tendency to increased vegetation cover and Secchi depth, while in the type 10 lakes there is a tendency to a larger number of fish.

Part of the KT lakes were also investigated before 2004, and for 40 of these lakes at least eight years of data are available. Thus, the database is large enough to be able to carry out statistical analyses of the development in each individual lake in more detail over the whole period since 1989. This analysis shows that the overall level of eutrophication in the lakes has decreased. The content of total phosphorus has declined in 20 lakes and only increased in one lake, while the total nitrogen content has decreased in 25 lakes, but not increased in any. Similarly, the chlorophyll content has declined in 19 lakes and not increased in any, while Secchi depth has increased in 19 lakes and decreased in one lake. The analysis also shows that, if contemplating only the last 20 years, the proportion of lakes where significant changes have occurred is pronouncedly lower than when considering the whole period since 1989.

For the KT lakes, fish investigations have only been carried out in about half of the 180 lakes in the last 6-year cycle and an overall assessment of development has therefore not been made in this report. For a number of lakes, data are now available from a longer period if also data from before 2004 are included. Overall, these lakes show an improvement, with decreasing biomass of cyprinids and an increased share of predatory fish. There are examples of lakes, where changes point in the same direction and, as expected, particularly significant changes in lakes undergoing restoration during the period by biomanipulation (removal of cyprinids).

Climate and runoff

Climatically, 2018 was slightly warmer than the average for the past 27 years - the annual mean temperature for the whole of Denmark was 9.4 °C in 2018 against 8.6 °C for the period 1990-2018. Especially in the period May-July, the temperature was markedly higher than normal. Compared with the period 1961-1990, the temperature as an annual average was 1.7 °C higher in 2018.

The amount of precipitation in 2018 was higher than usual, 594 mm relative to an average of 714 mm for the period 1961-1990 and 755 mm for the period 1990-2018. In particular, the period May-July was poor in precipitation. The area-specific freshwater runoff in 2018 was 294 mm, which is slightly higher than the average for 1990-2018 (325 mm).

Error analyses

The analyses of total nitrogen and total phosphorus were flawed in 2016. Therefore, the two parameters are not included in the reporting of data from

2016. There may also be errors in the analyses of total phosphorus and total nitrogen since 2007, and interpretation of these data must so far be done with caution. At the time of writing, a clarification is being sought on how to deal with the errors.

1. Undersøgellesprogrammet

1.1 Historik

Siden vedtagelsen af Vandmiljøplan 1 i 1988 er der sket løbende 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 hver sø foretaget to gange pr. måned om sommeren og én gang pr. måned om vinteren – i alt 19 gange. Derudover blev der årligt foretaget planteundersøgelser, mens fiskeundersøgelser blev foretaget hvert femte år i hver sø. I perioden 1998-2003 var antallet af søer reduceret til 31.

I 2004, hvor den første NOVANA-periode trådte i kraft, og i årene derefter blev antallet af intensivt undersøgte søer reduceret yderligere, således at der i 2010 var 15 søer tilbage. Samtidig skete der en reduktion i frekvensen af de biologiske undersøgelser, således at planteundersøgelser nu foretages hvert tredje år og fiske- og planktonundersøgelser hvert sjette år. Fra og med 2015 skete der en reduktion i undersøgelsesfrekvensen af de kemiske/fysiske undersøgelser af søvandet, således at hver af de intensivt undersøgte søer bliver undersøgt hvert andet år. I 2011 blev programmet udvidet med tre søer (hvoraf to søer tidligere har indgået i programmet), således at der nu foretages intensive undersøgelser (kontrolovervågning af søernes udvikling, se nedenfor) i 18 søer. Fra 2016 opførte overvågningen af dyreplankton i NOVANA.

Samtidig med at antallet af de intensivt undersøgte søer i 2004 blev reduceret, blev der inddraget væsentligt flere søer (både mindre og større end 5 ha) 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. Undersøgelsesfrekvensen i hver af de ekstensivt undersøgte søer >5 ha blev fra 2015 reduceret fra syv årlige prøvetagninger til fem, som foregår i perioden maj-september. Disse søer (i alt 180 i en seksårig overvågningsperiode) er fra 2010 indeholdt i kontrolovervågningen af søernes 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 søer i henhold til habitatdirektivet (Den Europæiske Union 1992). Samtidig overgik overvågningen af naturtyper i søer til søprogrammet.

Fra og med 2011 trådte en ny seksårig NOVANA-periode i kraft, som nu er videreført i den indeværende NOVANA-periode, der dækker årene 2016-2021. 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, som omfatter i alt 198 søer, har til formål at ”tilvejebringe dokumentation for søernes tilstand, den generelle udvikling i søerne samt vurdere naturlige eller menneskeskabte langtidsændringer. Desuden skal den medvirke til, at fremtidige overvågningsprogrammer kan udformes effektivt” (Naturstyrelsen 2011).

Den operationelle overvågning, som i perioden 2016-2021 omfatter 413 søer, skal give ”datagrundlaget til at vurdere tilstand for de søer, som er i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet i 2015 (nu 2021, red.). Desuden skal overvågningen bidrage med datagrundlag til at vurdere den nødvendige indsats” (Naturstyrelsen 2011).

Indholdet i de forskellige undersøgelsesprogrammer er tilpasset de enkelte formålsbeskrivelser både mht. undersøgte variable, 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.

1.2 Parametre i overvågningen

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

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

Søernes bufferkapacitet og forsureningsstatus kan beskrives ved måling af alkalinitet og pH, som sammen med bl.a. totaljern kan indgå i beskrivelsen af næringsstoffodynamikken i søerne. Herudover indgår også ilt- og temperaturprofiler, ledningsevne, 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 1.3).

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 planteplankton.

Ud over de kemiske og fysiske faktorer undersøges en række biologiske komponenter, som også er nødvendige til beskrivelse af søers tilstand. Undervandsplanter beskrives ved deres tæthed, artssammensætning og dybdeudbredelse. Fiskebestandens arts- og størrelsessammensætning samt relative biomasse bliver opgjort, og planteplanktons tæthed og taksonomiske sammensætning bliver også beskrevet i udvalgte søer. Bunddyr og benthiske kiselalger undersøges ligeledes i udvalgte søer.

Miljøfarlige forurenende stoffer inden for grupperne aromatiske kulbrinter, blødgørere, organotinforbindelser, phenoler, polyaromatiske kulbrinter

(PAH'er) og metaller måles i sedimentet fra udvalgte søer. I muskelvæv (biota) fra fisk måles kviksølv, og fra 2019 vil dioxiner og furaner, perflourerede forbindelser samt pesticiderne heptachlor og heptachlorepoxyd også indgå i målingerne. En række pesticider vil i begrænset omfang blive målt i vandfasen i 2020.

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

I afsnit 1.4-1.6 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).

1.3 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 (farvetalet), fersk – saltholdig (brak) ved 0,5 ‰ (saltholdighed) og lavvandet – dyb ved en middelvanddybde ved 3 m (i vandområdeplaner indgår også graden af lagdeling).

Søtype	Alkalinitet	Farvetalet	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

1.4 Kontrolovervågning

Kontrolovervågningen omfatter tre hovedtyper: en overvågning af den generelle tilstand af søer >5 ha, en overvågning af udviklingen i søer >5 ha, 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).

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
Små søer (1-5 ha)	35	210

¹⁾ Undersøges hvert andet år for fysik/kemi og hvert tredje år for vegetation

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

Programtype	Areal (hektar)	Antal søer	% af alle	Turnus (år)
Kontrolovervågning, udvikling	7-4000	18	} 33	2*
Kontrolovervågning, tilstand	3-1730	180		6

*) Vandkemiske parametre. Sedimentkemiske og biologiske parametre undersøges med lavere frekvens.

1.4.1 Kontrolovervågning af udvikling (søer >5 ha)

For at kunne give en detaljeret beskrivelse af tilstand og udvikling af udvalgte søtyper gennemføres der en intensiv overvågning af i alt 18 søer. Disse søer benævnes KU-søer (Kontrolovervågning af Udvikling). Femten af disse søer var indtil 2010 en del af "Det intensive program" og har således gennemgået kemiske undersøgelser i søvandet hvert år i perioden 1989-2014, herefter hvert andet år. 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 afstrømningsmønsteret. På baggrund af dette kan næringsstoffdynamikken beskrives detaljeret. De enkelte søers sediment undersøges for totalfosfor, totaljern, tørstof og glødetab hvert 6. år, vegetation og benthiske 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 udvalgte KU søer i sediment og biota (fisk) hvert 6. år.

En af de tre søer, som blev en del af kontrolovervågningen af udvikling i 2011, har tidligere indgået i "Det intensive program", og to i andre dele af overvågningsprogrammet, men disse tre søer indgår, pga. afbrudt tidsserie eller uensartet prøvetagning, ikke i analyser af den generelle udvikling.

Der er kun er 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 respons såvel fysisk-kemisk som biologisk. Det er samtidig muligt at beskrive klimatiske og andre naturgivne forholds indflydelse på søerne og deres respons.

1.4.2 Kontrolovervågning af tilstand (søer >5 ha)

Til overvågning af de danske søers generelle økologiske og kemiske tilstand gennemføres der undersøgelser i gennemsnitligt 30 søer >5 ha pr. år, dvs. i alt 180 søer, over en seksårig periode. Disse søer benævnes KT-søer (Kontrolovervågning af Tilstand). Udvalget af dem er geografisk stratificeret, og de væsentligste danske søtyper, herunder brakvandssøer, er omfattet. En del af disse søer indgår tillige i det operationelle program. KT-søerne var i NOVANA 2004-2009 inkluderet i "Det ekstensive program" eller "Det intensive program" for de større søer (>5 ha). En stor del af KT-søerne er således undersøgt mindst tre gange (mange af dem otte gange eller mere) i løbet af overvågningsperioden (1989-2018), hvilket gør det muligt at beskrive udviklingen i 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 planteplanktonprøver (månedligt fra maj til september) samt undersøgelse af undervandsplanter, benthiske kiselalger og fisk én gang i en seksårig periode.

Ud over vandkemiske og biologiske undersøgelser undersøges sediment, biota (fisk) og vand for miljøfarlige forurenende stoffer i udvalgte søer.

1.4.3 Kontrolovervågning af habitatnaturtyper i søer

Til vurdering af bevaringsstatus og udvikling af habitatdirektivets beskyttede naturtyper i søer bliver der årligt i kontrolovervågningen foretaget ekstensive undersøgelser i ca. 70 søer <5 ha. Tabel 1.4 giver en oversigt over de habitatnaturtyper, der findes i danske søer.

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, der findes på MST's hjemmeside.

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 kransålgler
3150	Næringsrige søer og vandhuller med flydeplanter eller store vandaks
3160	Brunvandede søer og vandhuller

Til kontrolovervågningen af naturtyper i søer <5 ha er søerne udvalgt, så der på baggrund af tidligere undersøgelser er tilstræbt at opnå en nogenlunde ligelig fordeling mellem de seks naturtyper, der er beskrevet i tabel 1.4.

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

Kontrolovervågningen af habitatnaturtyper i søer >5 ha foregår samtidig med kontrolovervågningen af disse jf. vandrammedirektivet. Naturtypen bestemmes i henhold til habitatnøglen og habitatbeskrivelserne (se Miljøstyrelsens hjemmeside), og der indsamles ikke data ud over dem, der indgår i kontrolovervågningen i henhold til vandrammedirektivet.

1.5 Operationel overvågning

For at tilvejebringe data til brug ved vurdering af tilstanden i søer, der er i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet, og for at opnå datagrundlag til at vurdere den nødvendige indsats bliver der hvert år foretaget undersøgelser af vandkemi i 95 søer, vegetation i 50 søer og fisk i 11 søer (antallet af søer er gennemsnitligt). En del af disse søer er også inkluderet i kontrolovervågningen. Søerne i den operationelle overvågning er udpeget af MST.

Søerne er udvalgt efter følgende kriterier (Naturstyrelsen 2011):

- 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.

1.6 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 (ca. 10.000) 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 >5 ha bestemmes i henhold til Miljøstyrelsens habitatnøgle og habitatbeskrivelser.

2. Kontrolovervågning af søernes udvikling

Denne del af rapporten indledes med en generel karakteristik af de 18 KU-søer (figur 2.1). Femten af KU-søerne var i perioden 1989-2010 omfattet af "Det intensive program" og har dermed gennemgået intensive undersøgelser siden 1989. De fysiske og kemiske parametre undersøges hvert andet år (indtil 2014 var det hvert år), og det seneste komplette datasæt, hvor vandkemiske parametre i alle KU-søer er undersøgt, omfatter således data fra perioden 2017-2018. Resultater af målinger af totalkvælstof og totalfosfor for 2016 samt foråret 2017 er dog ikke præsenteret på grund af fejlbehæftede laboratorieanalyser i denne periode. Se også sammenfatningen. Det bemærkes endvidere, at sommeren 2018 vejrsmæssigt var ekstrem med blandt andet en meget lang tørkeperiode (se også kapitel 4). Udviklingstendenser, hvor data fra 2018 indgår, kan være påvirket af disse ekstreme forhold.

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



2.1 Generel karakteristik

Generelt dækker de 18 søer store morfometriske forskelle, hvor f.eks. areal varierer mellem ca. 0,07 km² (Tranemose) og ca. 40 km² (Arresø), altså med mere end en faktor 500. Den hydrauliske opholdstid varierer med omkring en faktor 300 (fra Hinge Sø med en opholdstid på ca. 0,05 år til Furesøen med en opholdstid på ca. 15 år). Tilsvarende er der også store dybdemæssige forskelle, fra søer med en maksimumdybde på 1,1 m (Tranemose) til 38 m (Furesøen).

Vandkemisk varierer KU-søerne fra kalkrige til kalkfattige (sommergennemsnitlig alkalinitet fra 0,01 til 5,14 meq/L) og fra ikke-brunfarvede til brunvandede (sommergennemsnitligt farvetal fra 4,6 til 117 mg Pt/L) (tabel 2.1). Næringsstofmæssigt varierer søerne også meget, sommergennemsnittet varierer for totalfosfor mellem 0,016 og 0,405 mg/L og for totalkvælstof mellem 0,29 og 6,17 mg/L. Dette kommer til udtryk i en sigtdybde, der som sommergennemsnit varierer fra 0,3 til 4 m, og et indhold af klorofyl *a*, der som sommergennemsnitligt spænder fra 3,9 til 202 µg/L. Alle de nævnte værdier er fra overvågningen i 2017-2018.

Tabel 2.1. Vandkemiske forhold i de 18 KU-søer, der indgik i kontrolovervågningen af udvikling i 2017-2018, baseret på års- og sommergennemsnit for de enkelte søer. Der er ikke angivet årsgennemsnit for totalfosfor og totalkvælstof, da analyserne af disse parametre indtil foråret 2017 var fejlbehæftede.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Totalfosfor (mg/L), sommer	0,102	0,067	0,016	0,405	18
Opløst fosfor (ortho-P) (mg/L), år	0,013	0,009	0,001	0,050	18
Opløst fosfor (ortho-P) (mg/L), sommer	0,010	0,004	0,001	0,048	18
Totalkvælstof (mg/L), sommer	1,75	1,23	0,29	6,17	18
Nitrat (NO ₃ -N) (mg/L), år	0,82	0,35	0,06	3,80	18
Nitrat (NO ₃ -N) (mg/L), sommer	0,30	0,04	0,01	1,59	18
Klorofyl <i>a</i> (µg/L), år	45,2	22,7	6,0	246	18
Klorofyl <i>a</i> (µg/L), sommer	52,0	29,5	3,9	202	18
Farvetal (mg Pt/L), år	29	22	4,9	111	18
Farvetal (mg Pt/L), sommer	28	18	4,6	117	18
Sigtdybde (m), år	2,02	1,91	0,28	4,41	18
Sigtdybde (m), sommer	1,90	1,66	0,25	3,97	18
Alkalinitet (meq/L), år	2,09	2,19	0,01	5,78	18
Alkalinitet (meq/L), sommer	1,97	2,04	0,01	5,14	18
pH, sommer	8,1	8,5	4,4	9,6	18

2.2 Vandkemi og sigtdybde

2.2.1 Fosfor

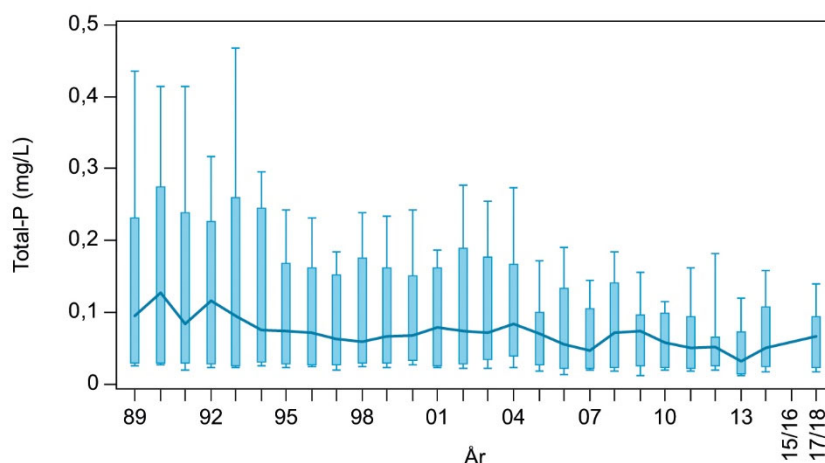
Fosfor i vandmiljøet kommer primært fra landbrugs- og naturarealer, spildevand fra byer og spredt bebyggelse og i mindre omfang fra industrier og dambrug.

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

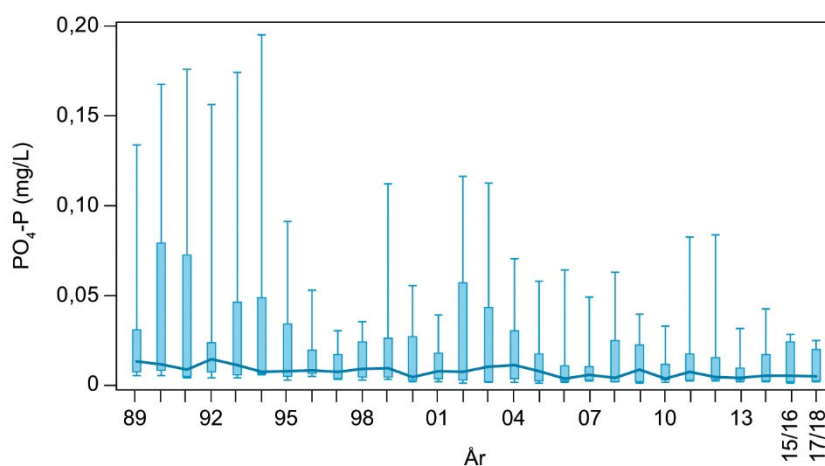
Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2018 af totalfosfor og opløst fosfor i de søer, der er omfattet af kontrolovervågningen af udvikling, og som har været undersøgt siden 1989, er vist i figur 2.2 og 2.3. De tre søer, som kun har været med i kontrolovervågning af søernes udvikling siden 2011, er ikke

medtaget i disse fremstillinger. Resultaterne for de enkelte søer ses i figur 2.4, og her er også de tre søer med data siden 2011 vist.

Figur 2.2. Udviklingen i sommergennemsnit for søkoncentrationen af totalfosfor (total-P) (mg P/L) i 15 af de søer i kontrolovervågningen af udvikling, der har været undersøgt siden 1989. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne. Fra og med 2015 er hver sø undersøgt hvert andet år, hvorfor resultaterne fra 2017 og 2018 er slået sammen. Resultater fra 2015-2016 er ikke afbildet, da analyserne fra 2016 var fejlbehæftede.



Figur 2.3. Udviklingen i sommergennemsnit for søkoncentrationen af orthofosfat ($\text{PO}_4\text{-P}$) (mg P/L) i 15 af de søer i kontrolovervågningen af udvikling, der har været undersøgt siden 1989. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne. Fra og med 2015 er hver sø undersøgt hvert andet år, hvorfor resultaterne fra perioderne 2015-2016 og 2017-2018 er slået sammen.



Det største fald i fosfor er generelt sket i begyndelsen af overvågningsperioden (figur 2.2 og 2.3). Sommermedianen af totalfosforkoncentrationen lå i perioden 1989-1993 på ca. 0,1 mg/L. Fra 1994 og frem til 2010 varierede medianværdierne mellem 0,05 og 0,08 mg/L. Der er en tendens til lavere værdier mod slutningen af perioden, men dog med en stigning mellem 2013 og perioden 2017-2018 fra en medianværdi på 0,032 til 0,066 mg/L. Medianværdierne af orthofosfat var ligeledes generelt højest i den første del af perioden, mens de laveste værdier ses fra 2005 og frem (figur 2.3); niveauet for orthofosfatkoncentrationen har været ret ensartet siden 2012 (omkring 0,005 mg/L).

At det største fald i fosforkoncentrationen skete i begyndelsen af overvågningsperioden, ses også af tabel 2.2. Faldet i årsværdierne for totalfosfor var af samme størrelsesorden som sommerværdierne; medianværdien faldt fra 0,1 til 0,06 mellem de to første 5-års perioder, hvorefter den lå på 0,06-0,07 indtil 2014. Der er ikke beregnet medianværdier af årsgennemsnit for perioderne 2015-2016 og 2017-2018 pga. de omtalte fejlanalyser af totalfosfor i 2016 og frem til foråret 2017. Hvis man ser på femårsperioderne i tabel 2.2, er udviklingen i medianværdierne af orthofosfat ikke så tydelig, dog er der for sommerværdierne en tendens til

reduktion i de seneste 10 år. Årsværdierne af orthofosfatkoncentrationer er gennemgående højere end sommerværdierne, fordi den opløste fraktion af fosfor generelt er højere om vinteren, hvor der ikke optages så meget af algerne.

Et andet mønster i udvikling af fosforkoncentrationen i KU-søerne gennem de seneste 30 år er, at det største fald generelt ses i søer, som fra begyndelsen havde de højeste koncentrationer (figur 2.2 og 2.3 samt tabel 2.2 og 2.3). Således er det generelt maksimumsværdierne og 75 %-fraktilerne, der er faldet mest, hvorimod minimum og 25 %-fraktilerne ikke ændres meget. For totalfosfor var både 75 %-fraktilen og maksimumsværdien mere end halveret mellem perioden 1989-1993 og 2009-2014. Dette gælder både sommergennemsnit og gennemsnit på årsbasis. Reduktionen i de mest næringsrige KU-søer er endnu tydeligere for orthofosfat, hvor 75 %-fraktilen og maksimumsværdierne i 2017-2018 på årsbasis var reduceret til 14-27 % og i sommerperioden 11-38 % af værdierne i perioden 1989-1993. Der kan dog ikke tolkes alt for hårdt på disse kvartilværdier på grund af det lave antal søer, hvor en enkelt eller få søer kan have stor betydning.

Reduktionen i fosforniveauet siden 1989 er også tydelig, hvis man ser på de enkelte søers udvikling, især hvad angår de mest næringsrige søer (figur 2.4, tabel 2.4 og tabel 2.5). Således er årsgennemsnittet af totalfosfor i perioden 1989-2018 reduceret signifikant i 13 ud af de 15 søer og sommergennemsnittet i 12 ud af 15 søer. Hvis der alene ses på den sidste 10-års periode (2008-2018), er der kun to søer, hvor fosforindholdet er reduceret signifikant (5 eller 10 % signifikansniveau), hvilket igen er et udtryk for, at de største ændringer skete tidligt i overvågningsperioden. Et tilsvarende mønster ses for koncentrationen af orthofosfat, men her er der dog to søer, hvor årsgennemsnittet er øget i perioden 1989-2018, og også to søer, hvor sommergennemsnittet er øget i de sidste 10 år.

I de tre søer, som kun har været med i kontrolovervågningen af udvikling siden 2011, varierer koncentrationen af totalfosfor noget fra år til år i alle tre søer, men uden en klar udviklingstendens. Orthofosfatkoncentrationen udgør en meget lille del af totalfosforindholdet i de to brakvandssøer (Keldsnor og Ulvedybet) og en lidt større andel i den brunvandede Tranemose (figur 2.4).

Tabel 2.2. Koncentrationen af totalfosfor angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-6-årsperioder siden 1989 samt 2017-2018 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Baseret på gennemsnit for de enkelte søer. Årsværdier fra og med 2015 og sommerværdier i 2015-2016 er udeladt, da analyser i 2016 og i de første måneder i 2017 er fejlbehæftede.

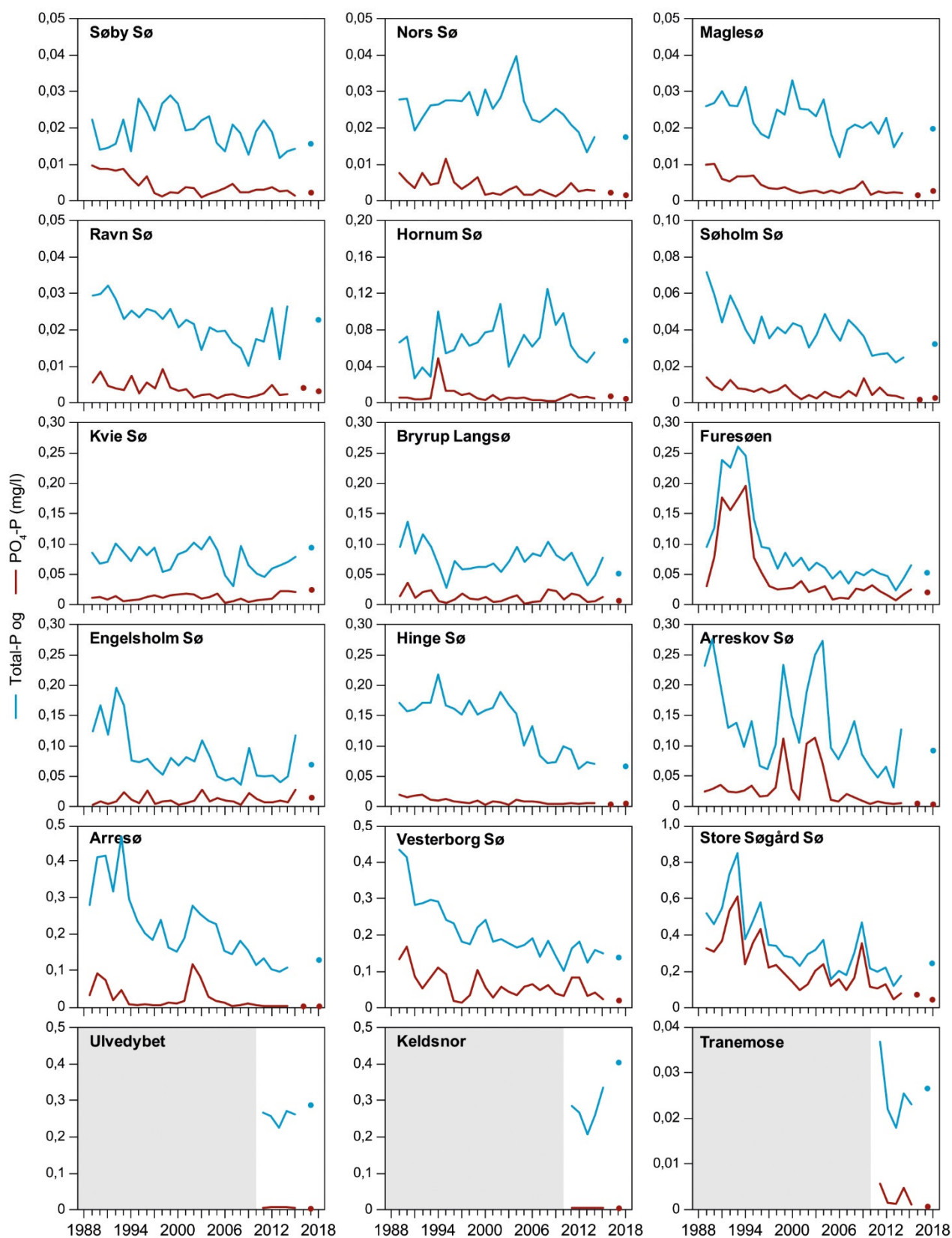
	Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Maks.
Periode	Årsværdier (mg/L)					
1989-1993	0,150	0,021	0,035	0,105	0,228	0,494
1994-1998	0,106	0,021	0,031	0,059	0,155	0,351
1999-2003	0,093	0,024	0,028	0,068	0,147	0,219
2004-2008	0,077	0,019	0,028	0,071	0,118	0,182
2009-2014	0,063	0,017	0,034	0,060	0,075	0,172
	Sommerværdier (mg/L)					
1989-1993	0,162	0,018	0,029	0,105	0,195	0,621
1994-1998	0,112	0,022	0,028	0,070	0,175	0,425
1999-2003	0,103	0,021	0,028	0,074	0,186	0,279
2004-2008	0,088	0,018	0,027	0,075	0,139	0,243
2009-2014	0,069	0,016	0,020	0,059	0,079	0,234
2017-2018	0,074	0,016	0,023	0,066	0,094	0,246

Tabel 2.3. Koncentrationen af opløst fosfor (orthofosfat) angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-8-årsperioder siden 1989 samt 2017-2018 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

	Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Maks.
Periode	Årsværdier (mg/L)					
1989-1993	0,059	0,006	0,008	0,016	0,074	0,345
1994-1998	0,038	0,004	0,008	0,013	0,028	0,253
1999-2003	0,033	0,003	0,009	0,019	0,053	0,118
2004-2008	0,024	0,002	0,004	0,012	0,033	0,115
2009-2016	0,022	0,003	0,005	0,017	0,021	0,096
2017-2018	0,015	0,002	0,003	0,011	0,020	0,050
	Sommerværdier (mg/L)					
1989-1993	0,056	0,005	0,008	0,010	0,052	0,429
1994-1998	0,036	0,004	0,006	0,009	0,025	0,298
1999-2003	0,028	0,003	0,003	0,009	0,047	0,152
2004-2008	0,021	0,002	0,003	0,009	0,017	0,157
2009-2016	0,018	0,002	0,003	0,006	0,014	0,130
2017-2018	0,011	0,002	0,003	0,005	0,020	0,048

Tabel 2.4. Udviklingen i indholdet af totalfosfor i overfladevand over hele perioden 1989-2018 og i de seneste 10 år i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, og som har været undersøgt fra 1989 til 2018. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsgennemsnit		Sommergennemsnit	
	1989-2018	2008-2018	1989-2018	2008-2018
Nors Sø	---	0	---	--
Hornum Sø	0	--	0	0
Hinge Sø	----	0	----	0
Ravn Sø	0	0	----	0
Bryrup Langsø	-	-	0	-
Søby Sø	---	0	-	0
Kvie Sø	--	0	0	0
Engelsholm Sø	---	0	---	0
Store Søgård Sø	----	0	----	0
Arreskov Sø	--	0	---	0
Søholm Sø	----	0	----	0
Arresø	----	0	----	0
Furesøen	----	0	----	0
Maglesø	---	0	---	0
Vesterborg Sø	----	0	----	0
I alt +/++/+++ /++++	0	0	0	0
I alt -/--/---/----	13	2	12	2



Figur 2.4. Udvikling i sommergennemsnitskoncentrationen af totalfosfor (Total-P) og opløst fosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) i de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Bemærk forskellige skalaer på akserne.

Tabel 2.5. Udviklingen i indholdet af opløst fosfor (orthofosfat) i overfladevand over hele perioden 1989-2018 og i de seneste 10 år i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, og som har været undersøgt fra 1989 til 2018. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsgennemsnit		Sommergennemsnit	
	1989-2018	2008-2018	1989-2018	2008-2018
Nors Sø	---	0	---	0
Hornum Sø	0	0	0	0
Hinge Sø	---	0	----	0
Ravn Sø	+	0	---	++
Bryrup Langsø	---	--	0	--
Søby Sø	----	-	---	0
Kvie Sø	0	++	0	++
Engelsholm Sø	++	0	0	0
Store Søgård Sø	----	---	----	---
Arreskov Sø	---	--	----	-
Søholm Sø	----	--	----	-
Arresø	----	--	----	0
Furesøen	----	0	----	0
Maglesø	----	--	----	0
Vesterborg Sø	----	--	--	0
I alt +/++/+++ /++++	2	1	0	2
I alt -/--/--- /----	11	8	11	4

2.2.2 Kvælstof

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

Kvælstof er ligesom fosfor et plantenæringsstof, der har betydning for algemængden og den generelle tilstand i søerne, selvom fosfor i de fleste søer oftest vil være den begrænsende faktor. Der er dog undersøgelser, der peger på, at kvælstof spiller en væsentlig rolle for undervandsplanterne, og at høje kvælstofkoncentrationer kan gøre det vanskeligere at opnå klarvandede forhold (Gonzales Sagrario m.fl. 2005). Se eventuelt rapporten af Bjerring m.fl. (2013), der indeholder et afsnit om betydningen af kvælstof for søers tilstand. I søerne foregår der en naturlig kvælstoffjernelse (denitrifikation), som har betydning for, hvor meget kvælstof der transporteres ud af søerne og videre via vandløbene til havet. Overvågningen af kvælstofkoncentrationerne bidrager med viden om denitrifikationskapaciteten, hvilket muliggør en vurdering af søernes samlede kapacitet til at fjerne kvælstof. Indholdet af totalkvælstof udtrykker den samlede mængde kvælstof, hvoraf en stor del især om sommeren er bundet i partikler som alger. Indholdet af nitrit-nitrat, der som regel udgør den største andel af opløst kvælstof, der er direkte tilgængelig for algernes produktion, reduceres ofte hen over sommeren på grund af algernes optag og øget denitrifikation.

Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2018 af totalkvælstof og nitrit-nitrat i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udviklingen, ses i figur 2.5 og 2.6. Resultaterne for de enkelte søers kvælstofindhold ses i figur 2.7 og tabel 2.6 og 2.7.

Siden 1989 er der sket en reduktion i indholdet af totalkvælstof i søerne, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, såvel på års- som på sommerniveau. Sommermedianen af totalkvælstof lå i perioden 1989-1993 på omkring 1,8 mg/L (figur 2.5), men frem til 1996 skete der et konstant fald i koncentrationen til 1,1 mg/L. I de følgende 10 år varierede totalkvælstofkoncentrationerne som median for de 15 søer mellem 1 og 1,5 mg/L, mens den fra 2007 til 2014 konstant lå under 1 mg/L, hvilket svarer til en halvering i forhold til overvågningsperiodens begyndelse. I perioden 2017-2018 er medianværdien af sommertotalkvælstofkoncentrationen øget til 1,11 mg/L, svarende til en stigning på 0,36 mg/L siden 2014.

Sommermedianen af nitrit-nitratkoncentrationen lå i perioden 1989-1999 mellem 0,1 og 0,25 mg/L, bortset fra årene 1996 og 1997, som pga. lav nedbør og dermed ringe afstrømning fra oplandet i disse år (se afsnit 4) overordnet udviste lavere værdier (0,06 og 0,05 mg/L). Herefter skete der et generelt fald, således at mediankoncentrationerne i alle de følgende år, bortset fra 2001 og 2002, har ligget under 0,1 mg/L (figur 2.6). I modsætning til totalkvælstof øgedes medianværdien af nitrit-nitratkoncentrationen ikke væsentligt fra 2014 til 2017-2018.

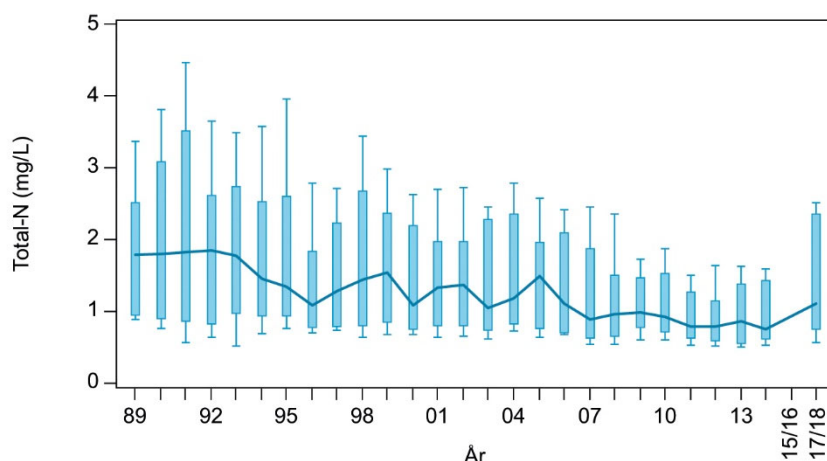
Reduktionen af både totalkvælstof og nitrit/nitrat er især markant for de mest kvælstofrige søer, hvilket kommer tydeligt til udtryk i mindskede værdier for både medianværdier og 75 %-fraktilerne. I perioden 1989-1993 til 2009-2014 er 75 %-fraktilen af årsværdierne af totalkvælstof således reduceret fra 4,2 til 1,8 mg/L, og sommerværdierne er faldet fra 3,1 til 1,6 mg/L i samme periode, men derefter steget til 2,4 mg/L i 2017-2018. Nitrit-nitrat-koncentrationen er i de mest kvælstofrige søer (75 %-fraktilen) på årsbasis halveret fra 3,2 til 1,6 mg/L. For sommerperioden er der, overordnet set, også sket et fald i de mest næringsrige søer. Både på årsbasis og for sommerperioden ses der også en stigning her mellem de to seneste perioder (tabel 2.6).

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

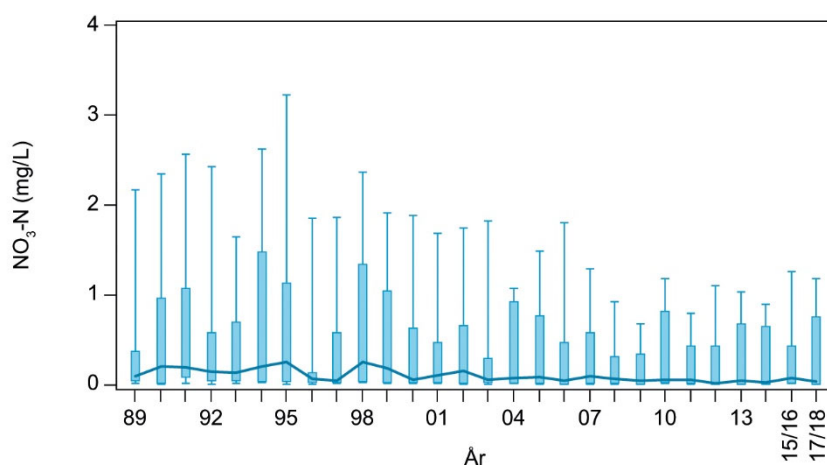
Ser man på enkelt søerne i perioden 1989-2018, er der som helhed sket en reduktion i totalkvælstofkoncentrationen i næsten alle 15 søer (figur 2.7, tabel 2.8), både hvad angår sommergennemsnit (14 søer) og årsgennemsnit (13 søer). Hvis der alene kigges på udviklingen de sidste 10 år (2008-2018), er der kun få søer, hvor indholdet af totalkvælstof har ændret sig; i tre søer har der været et øget sommergennemsnit og i to søer et øget årsgennemsnit, mens der kun er én sø, hvor koncentrationen er reduceret (årsgennemsnit). Indholdet af nitrit-nitrat viser samme udviklingstendens, og også her er der flest søer, hvor koncentrationerne er reduceret, hvis hele perioden 1989-2018 betragtes. Indholdet af kvælstof afspejler således en parallel udvikling til indholdet af fosfor, hvor de største ændringer skete i den første del af overvågningsperioden.

I de tre søer, som indgik i programmet i 2011, har koncentrationen af totalkvælstof varieret noget i løbet af de syv år, de har været med i kontrolovervågningen af udvikling, og for Keldsnor med en opadgående tendens i de seneste tre års målinger (figur 2.7). I alle tre søer udgør den uorganiske kvælstoffraktion en meget lille del af totalkvælstof.

Figur 2.5. Udviklingen i sommergennemsnit for søkoncentrationen af totalkvælstof (total-N) (mg N/L) i de 15 søer, der har været overvåget siden 1989. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne. Fra og med 2015 er hver sø undersøgt hvert andet år, hvorfor resultaterne fra 2017 og 2018 er slået sammen. Resultater fra 2015-2016 er ikke afbildet, da analyserne fra 2016 var fejlbehæftede.



Figur 2.6. Udviklingen i sommergennemsnit for søkoncentrationen af nitrat+nitrit ($\text{NO}_3\text{-N}$) (mg N/L) i de 15 søer, der har været overvåget siden 1989. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne. Fra og med 2015 er hver sø undersøgt hvert andet år, hvorfor resultaterne fra hver af de toårige perioder 2015-2016 samt 2017-2018 er slået sammen.



Tabel 2.6. Koncentrationen af totalkvælstof angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-6-årsperioder siden 1989 samt 2017-2018 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Baseret på gennemsnit for de enkelte søer. Årsværdier fra og med 2015 og sommerværdier i 2015-2016 er udeladt, da analyser i 2016 og i de første måneder af 2017 er fejlbehæftede.

	Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Maks.
Periode	Årsværdier (mg/L)					
1989-1993	2,74	0,45	0,93	2,51	4,24	6,00
1994-1998	2,28	0,48	1,07	1,71	3,85	4,33
1999-2003	1,99	0,44	0,97	1,84	3,11	3,84
2004-2008	1,93	0,42	0,97	1,81	2,61	4,60
2009-2014	1,52	0,34	0,83	1,57	1,79	3,62
	Sommerværdier (mg/L)					
1989-1993	1,97	0,37	0,85	2,03	3,06	4,07
1994-1998	1,68	0,42	0,87	1,42	2,27	3,80
1999-2003	1,48	0,39	0,83	1,23	2,28	2,98
2004-2008	1,39	0,36	0,72	1,35	2,12	2,55
2009-2014	1,04	0,31	0,63	0,82	1,55	1,75
2017-2018	1,42	0,29	0,75	1,11	2,36	2,52

Tabel 2.7. Koncentrationen af nitrat+nitrit angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-8-årsperioder siden 1989 samt 2017-2018 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

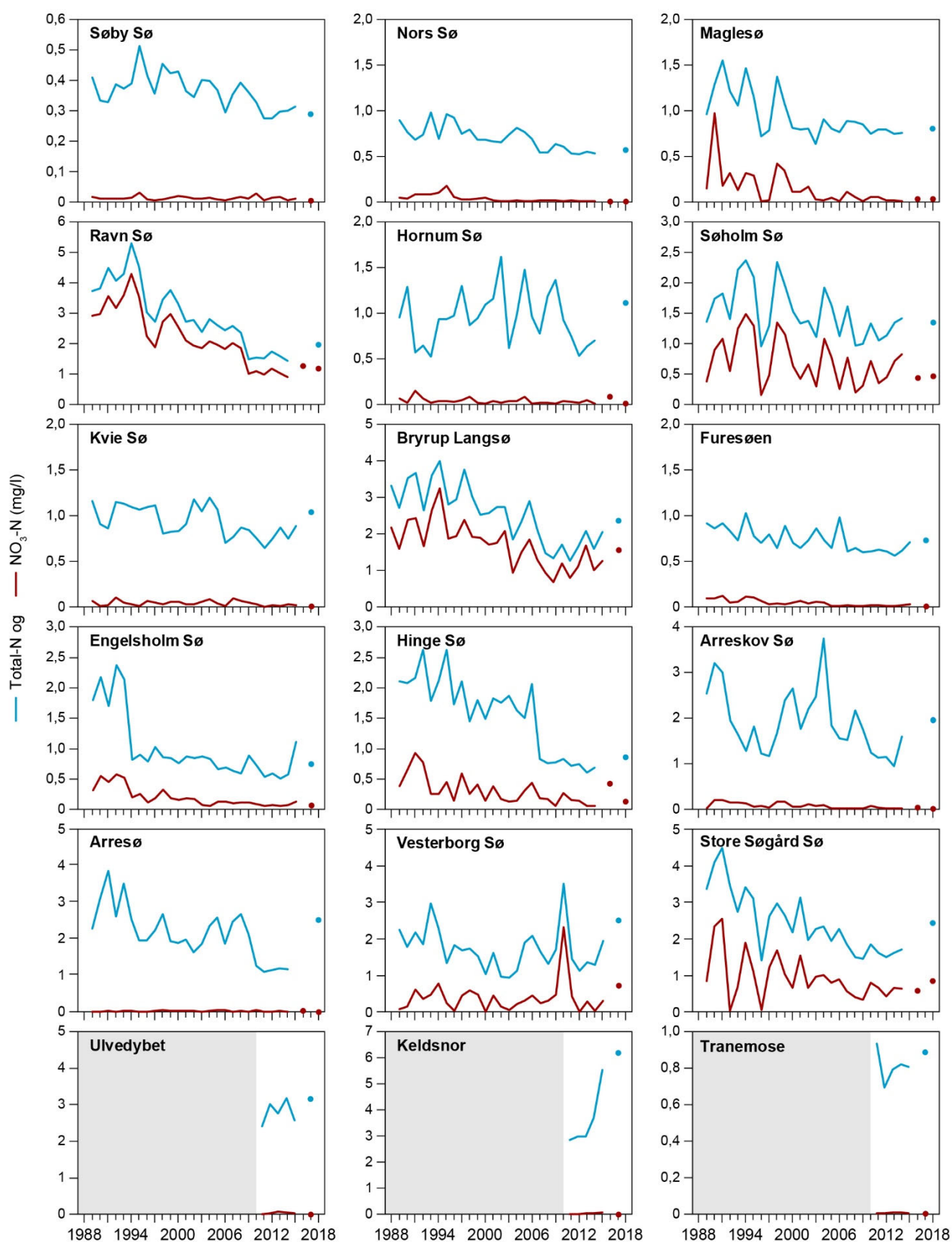
	Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Maks.
Periode	Årsværdier (mg/L)					
1989-1993	1,47	0,08	0,27	0,70	3,21	3,97
1994-1998	1,25	0,08	0,21	0,50	2,92	3,36
1999-2003	1,06	0,09	0,22	0,45	2,47	2,89
2004-2008	0,96	0,07	0,15	0,35	2,02	3,32
2009-2016	0,79	0,04	0,13	0,30	1,33	2,62
2017-2018	0,86	0,04	0,15	0,27	1,60	3,77
	Sommerværdier (mg/L)					
1989-1993	0,64	0,01	0,06	0,35	0,83	3,23
1994-1998	0,60	0,01	0,04	0,21	0,95	2,92
1999-2003	0,45	0,01	0,02	0,15	0,63	2,27
2004-2008	0,37	0,01	0,02	0,06	0,61	1,93
2009-2016	0,29	0,01	0,01	0,03	0,57	1,10
2017-2018	0,34	0,01	0,01	0,03	0,76	1,56

Tabel 2.8. Udviklingen i indholdet af totalkvælstof i søvand over hele perioden 1989-2018 og i de seneste 10 år i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, og som har været undersøgt fra 1989 til 2018. -/+, -/++, -/+ ++, -/+ +++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsgennemsnit		Sommergennemsnit	
	1989-2018	2008-2018	1989-2018	2008-2018
Nors Sø	----	0	----	0
Hornum Sø	0	0	0	0
Hinge Sø	----	--	----	0
Ravn Sø	----	0	----	0
Bryrup Langsø	----	0	----	+
Søby Sø	---	0	---	0
Kvie Sø	0	0	--	0
Engelsholm Sø	----	0	----	0
Store Søgård Sø	----	0	----	+
Arreskov Sø	---	0	--	0
Søholm Sø	--	++	--	++
Arresø	----	0	---	0
Furesøen	----	++	----	0
Maglesø	---	0	---	0
Vesterborg Sø	0	0	0	0
I alt +/+ ++/+++ ++++	0	2	0	3
I alt -/- ---/----	12	1	13	0

Tabel 2.9. Udviklingen i indholdet af nitrat+nitrit i søvand over hele perioden 1989-2018 og i de seneste 10 år i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, og som har været undersøgt fra 1989 til 2018. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsgennemsnit		Sommergennemsnit	
	1989-2018	2008-2018	1989-2018	2008-2018
Nors Sø	----	0	----	0
Hornum Sø	---	0	0	0
Hinge Sø	----	-	---	0
Ravn Sø	----	0	----	0
Bryrup Langsø	----	0	----	+
Søby Sø	--	---	0	0
Kvie Sø	0	0	-	-
Engelsholm Sø	----	0	----	0
Store Søgård Sø	----	0	--	0
Arreskov Sø	---	0	----	0
Søholm Sø	0	0	0	0
Arresø	-	0	0	0
Furesøen	----	++	----	0
Maglesø	---	0	----	0
Vesterborg Sø	0	0	0	0
I alt +/++/+++/++++	0	1	0	1
I alt -/--/---/----	12	2	10	1

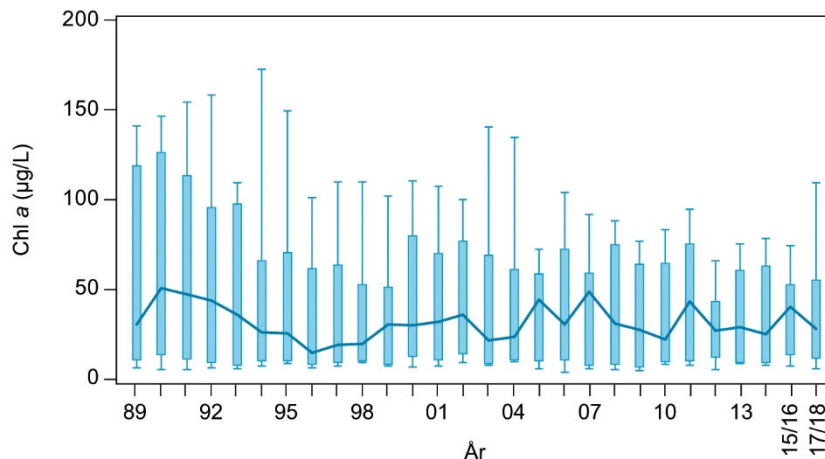


Figur 2.7. Udvikling i sommergennemsnitskoncentrationen af totalkvælstof (Total-N) og nitrat (NO₃-N, inkl. NO₂-N) i hver af de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Bemærk forskellige skalaer på y-akserne.

2.2.3 Klorofyl *a*

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

Figur 2.8. Udviklingen i sommergennemsnit for søkoncentrationen af klorofyl *a* ($\mu\text{g/L}$) i de 15 søer, der har været overvåget siden 1989. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen forbinder medianværdierne. Fra og med 2015 er hver sø undersøgt hvert andet år, hvorfor resultaterne fra perioderne 2015-2016 og 2017-2018 er slået sammen.



Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2017-2018 af klorofyl *a* i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, ses i figur 2.8. Resultaterne for de enkelte søer ses i figur 2.9 og tabel 2.11.

Sommermedianværdierne for de 15 søers indhold af klorofyl *a* har varieret en del fra år til år i undersøgelsesperioden, uden at der er nogen klar udviklingstendens for perioden som helhed. Dog var der et konstant fald fra 1990 til 1996 fra 51 til 15 $\mu\text{g/L}$, hvorefter der var en stigende tendens. I 2017-2018 var den sommergennemsnitlige medianværdi på 28 $\mu\text{g/L}$.

I lighed med ændringerne i næringsstofindholdet er de største reduktioner i klorofylindholdet generelt sket i søer med de højeste klorofylkoncentrationer. Fra perioden 1989-1993 til 2017-2018 blev 75 %-fraktilen af klorofyl *a* på årsbasis mere end halveret, idet der skete en reduktion fra 85 til 37 $\mu\text{g/L}$ (tabel 2.10). I samme periode faldt maksimumsværdien fra 376 $\mu\text{g/L}$ til 99 $\mu\text{g/L}$. Faldet i de høje klorofylkoncentrationer har resulteret i, at klorofylgennemsnittet på årsbasis blev reduceret fra 62 $\mu\text{g/L}$ i 1989-1993 til 29 $\mu\text{g/L}$ i 2017-2018. I samme periode blev sommerværdierne gennemsnitligt reduceret fra 69 $\mu\text{g/L}$ til 41 $\mu\text{g/L}$. Sommerværdierne er generelt noget højere, fordi algemængden om vinteren, der indgår i årsgennemsnittet, er lavere på grund af lavere temperatur og mindre lys.

Klorofylkoncentrationen er i perioden 1989-2018 som helhed reduceret signifikant i syv af de 15 søer som årsgennemsnit og i seks søer af de 15 søer som sommergennemsnit (figur 2.9, tabel 2.11). Klorofylkoncentrationen er øget i to søer både som sommergennemsnit og årsgennemsnit. I mange af de 15 søer har der gennem perioden været tale om betydelige ændringer i indholdet af klorofyl *a* (se f.eks. tabel 2.11). Som for næringsstofferne fosfor og kvælstof ses ændringerne i klorofylkoncentrationen, der er sket i perioden 1989-2018, mest i den første del af perioden. Hvis der alene ses på ændringer i den seneste 10-års periode, er der kun signifikante ændringer i to (årsgennemsnit) henholdsvis tre søer (sommergennemsnit).

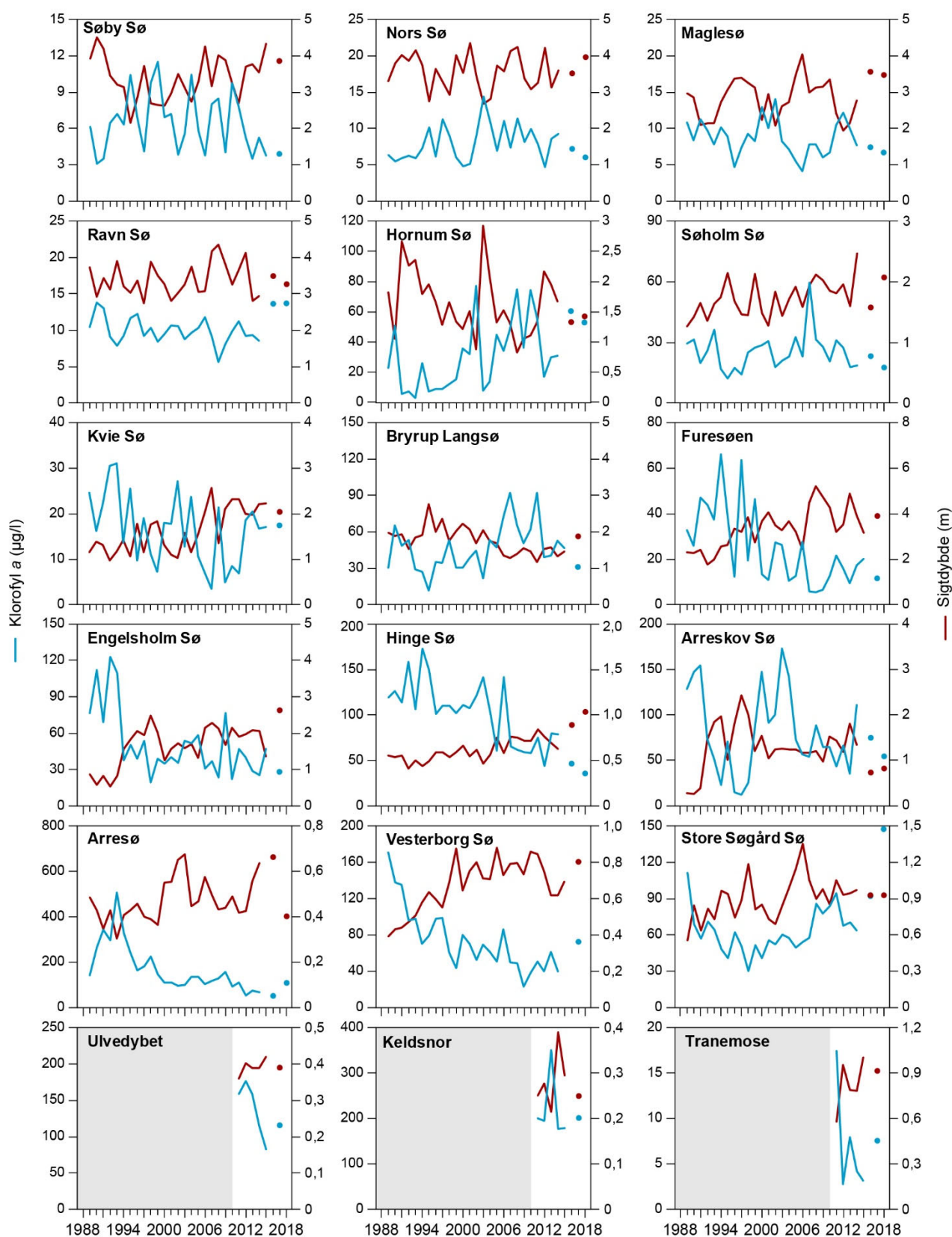
Tabel 2.10. Søkoncentrationen af klorofyl *a* angivet som årsgennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler (overfladevand) for 5-8-årsperioder siden 1989 samt 2017-2018 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Maks.
		Årsværdier (µg/L)					
Klorofyl <i>a</i>	1989-1993	61,9	6,7	10,6	31,1	85,2	376
	1994-1998	43,6	8,0	10,1	22,3	31,2	297
	1999-2003	33,0	7,7	9,7	21,6	45,8	111
	2004-2008	31,6	7,3	9,6	26,1	43,4	101
	2009-2016	26,6	6,6	9,0	25,8	36,5	76
	2017-2018	29,3	6,0	9,5	22,7	37,3	99
		Sommerværdier (µg/L)					
	1989-1993	68,8	5,3	10,8	37,4	111,2	311
	1994-1998	47,1	7,5	10,6	29,0	46,3	228
	1999-2003	44,9	7,0	10,7	33,3	63,1	119
	2004-2008	43,7	6,5	9,5	40,3	66,1	124
	2009-2016	37,3	5,6	10,0	41,1	63,0	87
	2017-2018	40,6	3,9	11,6	28,2	55,1	147

Klorofyl *a*-koncentrationen i de tre ”nye” søer (Ulvedybet, Tranemose og Keldsnor) har varieret noget gennem de seks år og med en nedadgående tendens i Tranemose og Ulvedybet. Indholdet er højt både i Keldsnor og Ulvedybet (figur 2.9).

Tabel 2.11. Udviklingen i indholdet af klorofyl *a* og sigtdybde i hele perioden 1989-2018 og i de seneste 10 år i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, og som har været undersøgt fra 1989 til 2018. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsgennemsnit				Sommergennemsnit			
	Klorofyl <i>a</i>		Sigtdybde		Klorofyl <i>a</i>		Sigtdybde	
	1989-2018	2008-2018	1989-2018	2008-2018	1989-2018	2008-2018	1989-2018	2008-2018
Nors Sø	0	0	0	0	0	0	0	0
Hornum Sø	+++	0	0	0	+++	0	0	+
Hinge Sø	----	0	++++	0	----	0	++++	0
Ravn Sø	0	0	++	0	0	++	0	0
Bryrup Langsø	0	--	0	0	0	0	---	0
Søby Sø	-	0	+	0	0	0	0	0
Kvie Sø	-	0	++++	+++	-	0	++++	0
Engelsholm Sø	----	0	++	0	---	0	+++	0
Store Søgård Sø	+	0	++	0	++	0	++	0
Arreskov Sø	0	0	0	0	0	0	0	0
Søholm Sø	0	0	0	0	0	--	+++	0
Arresø	----	0	++++	0	----	-	++	0
Furesøen	---	+	++++	-	---	0	++++	0
Maglesø	0	0	0	0	0	0	0	0
Vesterborg Sø	----	0	++	0	----	0	++++	0
I alt +/++/+++/++++	2	1	9	1	2	1	8	1
I alt -/--/---/----	7	1	0	1	6	2	1	0



Figur 2.9. Udvikling i sommergennemsnitskoncentrationen af klorofyl *a* og sigt dybde i de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling. Bemærk forskellige skalaer på y-akserne.

2.2.4 Sigtdybde

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

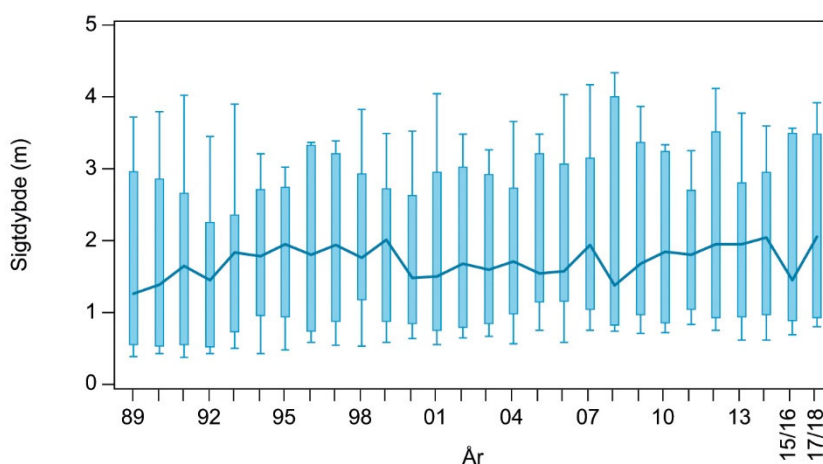
I de fleste søer er sigtdybden tæt koblet til mængden af alger og dermed til indholdet af klorofyl. Vandets farve (f.eks. brunvandede søer) eller resuspenderet materiale fra søbunden i lavvandede søer kan dog også påvirke sigtdybden negativt. Derfor vil de brunvandede og de lavvandede søer alt andet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

Sigtdybden i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, har overordnet vist en stigende tendens siden 1989 (figur 2.10). De største ændringer skete indtil midten af 1990'erne, hvor medianværdien blev øget fra omkring 1,3 m til 1,9 m (sommerværdier). Siden da har medianværdien varieret en del fra år til år, uden at der har været nogen klar udviklingstendens. I den sidste 10-års periode har medianværdien svinget mellem 1,4 og 2,1 m.

Udviklingen i sigtdybden i de enkelte søer har generelt været uændret eller udvist en stigende tendens (figur 2.9, tabel 2.11). For sommergennemsnit har der været en signifikant positiv udvikling i otte ud af de 15 søer, mens der kun er én sø, hvor der har været en signifikant reduceret sigtdybde for perioden 1989-2018. For årsgennemsnit er der i den samme periode ni søer, hvor sigtdybden er øget signifikant. I den sidste 10-års periode er der kun én sø, som har haft en signifikant (positiv) ændring i den gennemsnitlige sommersigtdybde, mens der har været én sø med signifikant øget og én sø med signifikant reduceret sigtdybde, hvis årsgennemsnittet anvendes. Blandt de tre "nye" søer har sommersigtdybden været stort set uændret i Ulvedybet, mens der har været en stigende tendens i Tranemose og Keldsnor i de seks måleår.

Set som gennemsnit er sigtdybden som årsgennemsnit i de 15 søer, der er undersøgt siden 1989, øget fra 1,92 m i perioden 1989-1993 til 2,32 m i 2017-2018 (tabel 2.12). Sommergennemsnittet er i samme periode øget fra 1,73 til 2,17 m. Sommerværdierne ligger generelt lavere end årsværdierne, fordi mængden af alger generelt er mindre om vinteren. Den største ændring i sommergennemsnittet er sket i 75 %-kvartilen, der er øget fra 2,44 til 3,48 m, mens 25 %-kvartilen er øget fra 0,72 til 0,93 m. Allerede i perioden 1994-1998 var 75 %-kvartilen dog øget til 3,16 m.

Figur 2.10. Udviklingen i sigtdybde i de 15 søer, der har været overvåget siden 1989 ud fra sommergennemsnit. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen viser medianværdien. Fra og med 2015 er hver sø undersøgt hvert andet år, hvorfor resultaterne fra perioderne 2015-2016 og 2017-2018 er slået sammen.



Tabel 2.12. Sigtdybden angivet som gennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for 5-8-årsperioder siden 1989 samt 2017-2018 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Baseret på gennemsnit for de enkelte søer.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Maks.
		Årsværdier (m)					
Sigtdybde	1989-1993	1,92	0,37	0,82	1,99	3,34	3,68
	1994-1998	2,16	0,40	0,98	2,14	3,16	3,93
	1999-2003	2,14	0,61	1,14	2,04	3,16	4,08
	2004-2008	2,30	0,56	1,14	1,86	3,65	4,87
	2009-2016	2,32	0,63	1,04	2,04	3,65	4,82
	2017-2018	2,32	0,47	1,01	2,09	3,58	4,41
		Sommerværdier (m)					
	1989-1993	1,73	0,40	0,72	1,46	2,44	3,86
	1994-1998	1,93	0,42	0,94	1,84	3,11	3,27
	1999-2003	1,86	0,56	0,79	1,63	2,97	3,60
	2004-2008	2,04	0,48	1,09	1,73	3,49	3,80
	2009-2016	2,02	0,52	0,95	1,89	3,44	3,95
	2017-2018	2,17	0,40	0,93	2,06	3,48	3,97

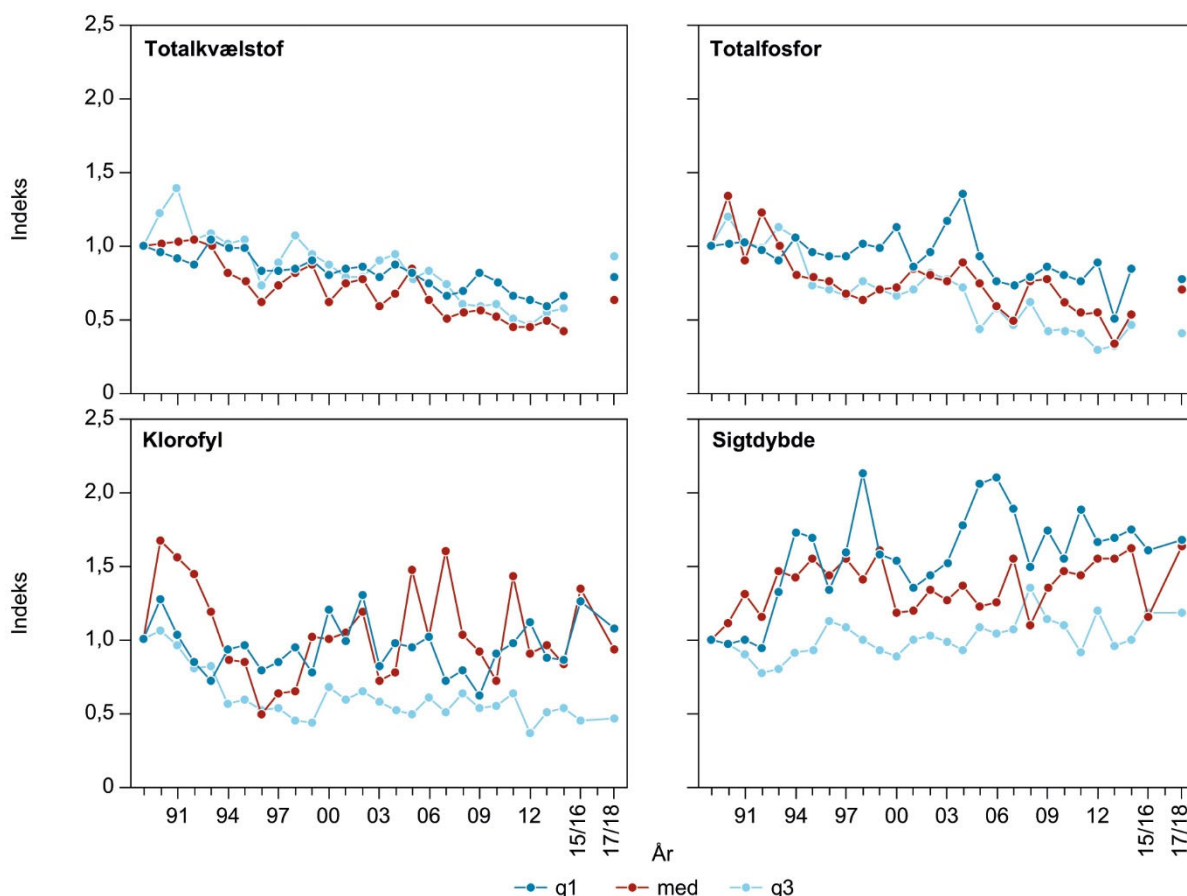
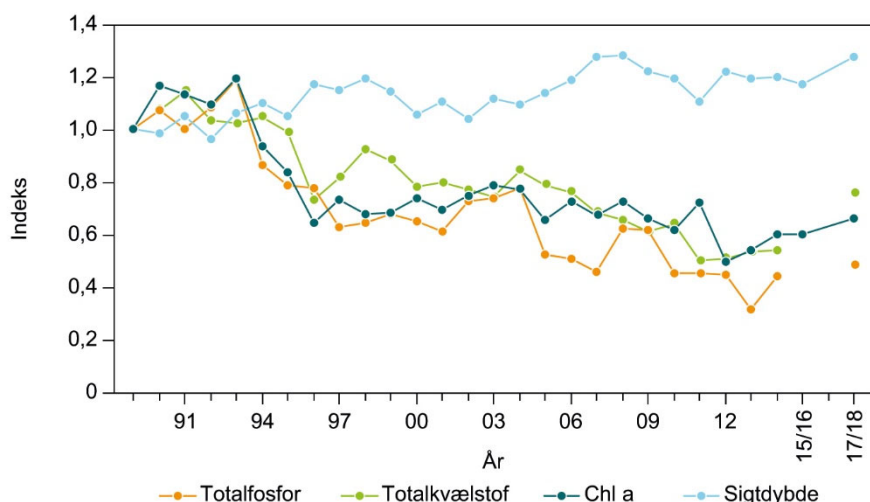
2.2.5 Den relative udvikling i vandkemi og sigtdybde

Den relative udvikling i KU-søernes gennemsnitlige vandkemiske forhold og sigtdybden set i forhold til det første måleår i 1989 og set i forhold til hinanden er vist i figur 2.11. Figuren illustrerer, hvordan ”næringsstofparametrene” totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl overordnet og som gennemsnit følger samme mønster gennem hele overvågningsperioden. Dette understreger koblingen mellem næringsstofindhold og søernes indhold af klorofyl.

Sigtdybden, som indekssværdi set i forhold til 1989 er øget med omkring 20%, mens indholdet af næringsstoffer og klorofyl *a* er reduceret til omkring eller lidt over halvdelen af værdierne i 1989. Sigtdybden øges jævnt over hele måleperioden, mens den største reduktion i indhold af næringsstoffer og klorofyl fandt sted i midten af 1990’erne, men også herefter har de gennemsnitlige værdier haft en faldende tendens frem til omkring 2010.

De tre kvartilers relative udvikling (Q1, median og Q3) i resultater for vandkemi og sigtdybde i den samme periode er vist i figur 2.12. Ved at vurdere udviklingen i kvartiler frem for de gennemsnitlige målinger er det lettere at se, hvilke næringsstofmæssige typer af søer der har ændret sig mest og hvornår. Næringsstofindholdet ses således at være mindsket nogenlunde jævnt over hele perioden for alle tre kvartiler. For klorofylindholdet har der især været ændringer i den øvre kvartil (Q3), der er ca. halveret, men kun små ændringer i medianværdi og den nedre kvartil (Q1) i forhold til udgangspunktet i 1989. Dette peger på, at klorofylindholdet især er mindsket i søerne med højt indhold af klorofyl, hvorimod søerne med lavere indhold af klorofyl i 1989 ikke har ændret sig meget set over perioden som helhed. Det fald, der ses i det gennemsnitlige indhold af klorofyl (figur 2.11), skyldes således først og fremmest, at klorofylindholdet er reduceret i de mest klorofylholdige søer. Ændringen i den øvre kvartils indhold af klorofyl skete især i den første halvdel af 1990’erne.

Figur 2.11. Udviklingen i søkoncentrationen (gennemsnit for søerne, baseret på sommergennemsnit i den enkelte sø) af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl a og sigtdybde i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling, og som har været fulgt siden 1989. Udviklingen er vist som et indeks, hvor 1989 for alle fire parametre er sat til 1.



Figur 2.12. Udviklingen vist som kvartiler i søkoncentrationen (baseret på sommergennemsnit i den enkelte sø) af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl a og sigtdybde i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling, og som har været fulgt siden 1989. Udviklingen er vist som et indeks, hvor 1989 er sat til 1 for alle fire parametre.

2.3 Sedimentkemi

Sedimentet i KU-søerne undersøges gennemsnitligt én gang hvert 6. år. Det betyder, at i de fleste KU-søer er sedimentet undersøgt seks gange siden overvågningsperiodens start i 1989. Tre KU-søer har desuden været undersøgt én eller to gange siden 2011 – Ulvedybet, Tranemose og Keldsnor.

Sedimentet er i de fleste tilfælde undersøgt i seks dybder: 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm og 30-50 cm og analyseret for fire variable: tørstofindhold (% af vådvægt), glødetab (% af tørvægt), totaljern (mg Fe / g tørstof) og totalfosfor (mg P / g tørstof) på tre forskellige prøvetagningsstationer. For hver dybde og station er der puljet sediment fra tre søjler. De tre prøvetagningsstationer ligger jævnt fordelt på de dybere områder af søerne, nærmere specifikt: inden for de 20 % af søens areal og dybder, som svarer til intervallet mellem 70 og 90 %-grænserne på hypsografen, regnet fra land mod søens største dybde.

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

En oversigt over data fra sedimentundersøgelserne (overfladesedimentet) gennemført i 18 KU-søer i perioden 2017-2018 er givet i tabel 2.13.

Tabellen illustrerer, hvor forskelligt sedimentet er i de 18 søer. I overfladesedimentet (0-2 cm) varierer tørvægten mellem 2 og 50 %, glødetabet mellem 4 og 72 %, jernindholdet mellem 3 og 163 mg Fe / g tv og totalfosforindholdet mellem 0,4 og 6,0 mg P / g tv. Samme forhold gør sig gældende for de øverste 10 cm af sedimentet. Her er tørstofindholdet blot større, mens glødetab og totalfosforindhold per tørstofindhold ofte er mindre som et udtryk for, at dybden ned til 10 cm omfatter et ældre og mere komprimeret og omsat sediment end de øverste 2 cm.

Tabel 2.13. De 18 KU-søer, hvor sedimentet er undersøgt i perioden 2017-2018. Tallene er gennemsnit af tre stationer pr. sø. 0-10 cm er gennemsnit af dybdeintervallerne 0-2, 2-5 og 5-10 cm.

Sø	0-2 cm				0-10 cm			
	tørstof (%)	glødetab (%)	jern (mg Fe/g tv)	fosfor (mg P/g tv)	tørstof (%)	glødetab (%)	jern (mg Fe/g tv)	fosfor (mg P/g tv)
Nors Sø	2,0	42,3	43,7	3,13	4,1	35,2	35,8	2,41
Ulvedybet	50,0	4,0	4,6	0,38	52,5	5,1	6,1	0,38
Hornum Sø	6,1	31,4	10,4	1,87	9,7	31,9	7,4	1,48
Tranemose	4,7	71,8	3,0	0,89	10,4	62,6	2,3	0,54
Hinge Sø	10,2	21,7	163,3	4,80	11,4	21,6	144,4	4,01
Ravn Sø	24,4	14,6	37,0	3,77	27,5	13,5	28,1	3,10
Bryrup Langsø	4,4	36,0	56,7	6,03	5,4	33,8	54,9	6,20
Søby Sø	6,8	30,9	125,0	3,15	9,1	29,5	104,6	2,69
Kvie Sø	6,7	31,3	9,8	2,23	17,1	23,3	5,9	1,34
Engelsholm Sø	19,6	24,2	39,3	3,30	12,6	28,2	37,3	2,73
Store Søgård Sø	49,1	22,1	27,1	3,05	55,7	13,1	21,7	2,03
Arreskov Sø	3,5	35,4	19,0	2,40	6,1	37,0	17,6	1,79
Søholm Sø	13,8	16,7	6,7	1,23	16,3	17,5	6,5	1,11
Keldsnor	10,1	23,7	10,6	1,39	20,4	19,5	9,4	1,15
Arresø	3,2	36,5	8,8	1,63	4,5	35,8	11,2	1,80
Furesøen	7,1	24,7	21,3	4,87	9,3	24,9	19,8	3,76
Maglesø	4,0	32,5	11,7	1,57	6,3	30,6	9,5	1,20
Vesterborg Sø	10,5	20,6	12,6	1,60	12,0	20,7	9,1	1,57

Totalfosfor

Indholdet af totalfosfor i overfladesedimentet (0-2 cm) på de tre prøvetagningsstationer i de 18 KU-søer, som er undersøgt gennem overvågningsperioden, er vist i figur 2.13. I de fleste af søerne kan der være ret store forskelle i fosforindholdet på de tre prøvetagningsstationer, og denne heterogenitet bidrager til at gøre det vanskeligt at se eventuelle udviklingstendenser.

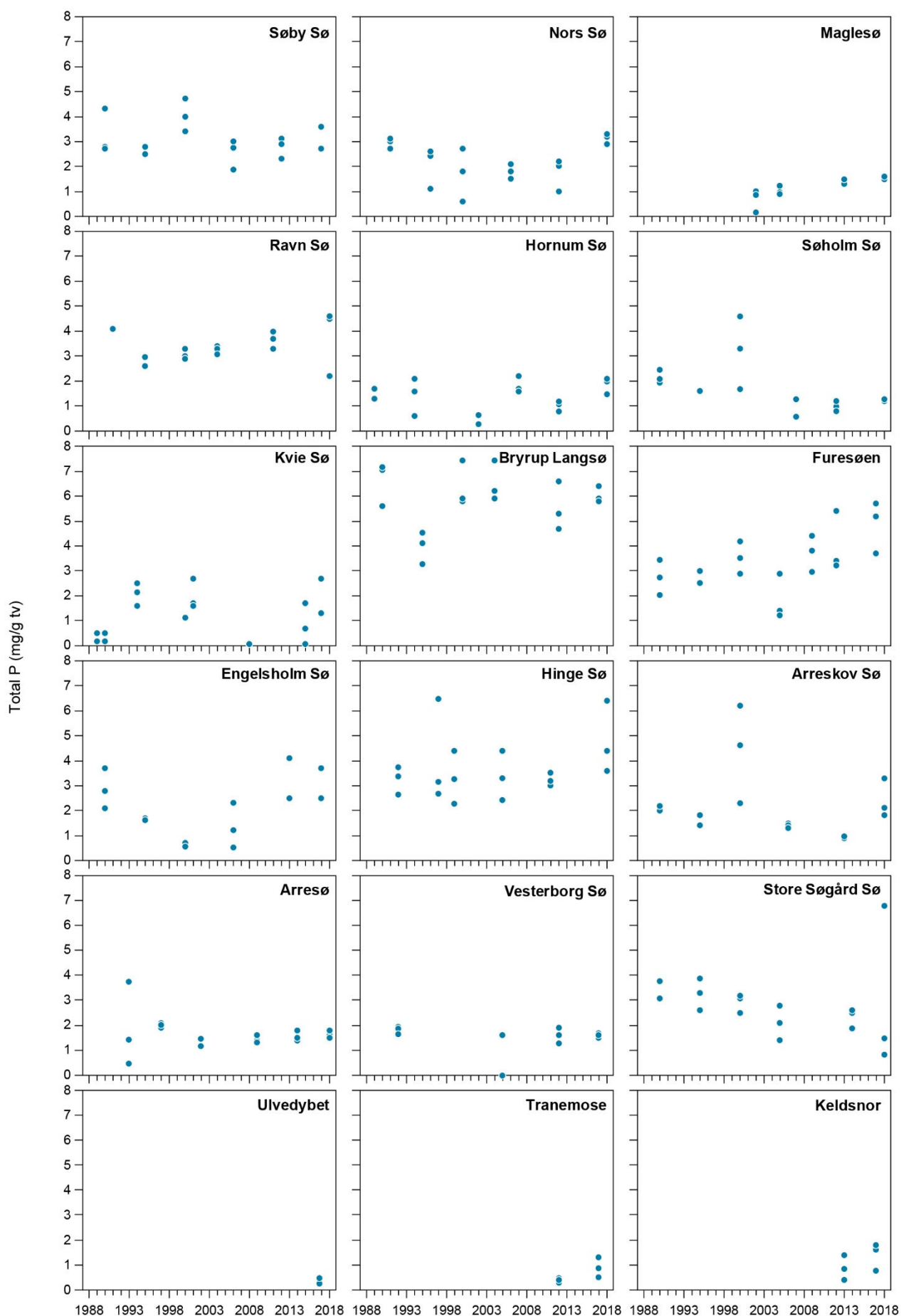
I nogle af søerne er der endvidere tilsyneladende store ændringer i sediment-overfladens indhold af totalfosfor inden for få år. Ofte kan disse ændringer ikke umiddelbart relateres til andre ændringer i søerne eller deres tilførsel af fosfor, og ændringerne skyldes formentlig i de fleste tilfælde lokale horisontale variationer i sedimentets fosforindhold i søerne, som ikke er udtryk for reelle ændringer. Der kan også være søer, som eksempelvis Arreskov Sø, hvor der ser ud til at være et øget fosforindhold i overfladesedimentet ved prøvetagningen i 2000, hvilket evt. kan hænge sammen med de store ændringer, der har været i søens vandkvalitet og næringsstoffdynamik. I Furesøen skal det øgede fosforindhold i overfladesedimentet evt. relateres til søens iltning, som kan have ført til øget bindingskapacitet i overfladesedimentet.

Ved vurderingen af ændringer over tid er det vigtigt at være opmærksom på, at der hele tiden sedimenterer nyt materiale på bunden af søer (via tilløb eller stof produceret i søen). Overfladesedimentet – og også sediment fra andre dybdeintervaller – taget igennem årene vil derfor ikke repræsentere det samme sediment. Sedimentationshastigheden kendes ikke og vil variere meget imellem søerne, men det, der var overfladesedimentet i 1990, ligger måske i 4-6 eller 8-10 cm's dybde 20 år senere ved prøvetagningen i 2010. Udviklingen i overfladesedimentets indhold af fosfor er derfor ikke så meget et udtryk for, om der er optaget eller frigivet fosfor, men i højere grad et udtryk for den sedimentation og de tilbageholdelsesmekanismer (herunder også en eventuel transport af fosfor op fra dybereliggende puljer), der har været gældende i perioden omkring og nogle få år forud for prøvetagningstidspunktet.

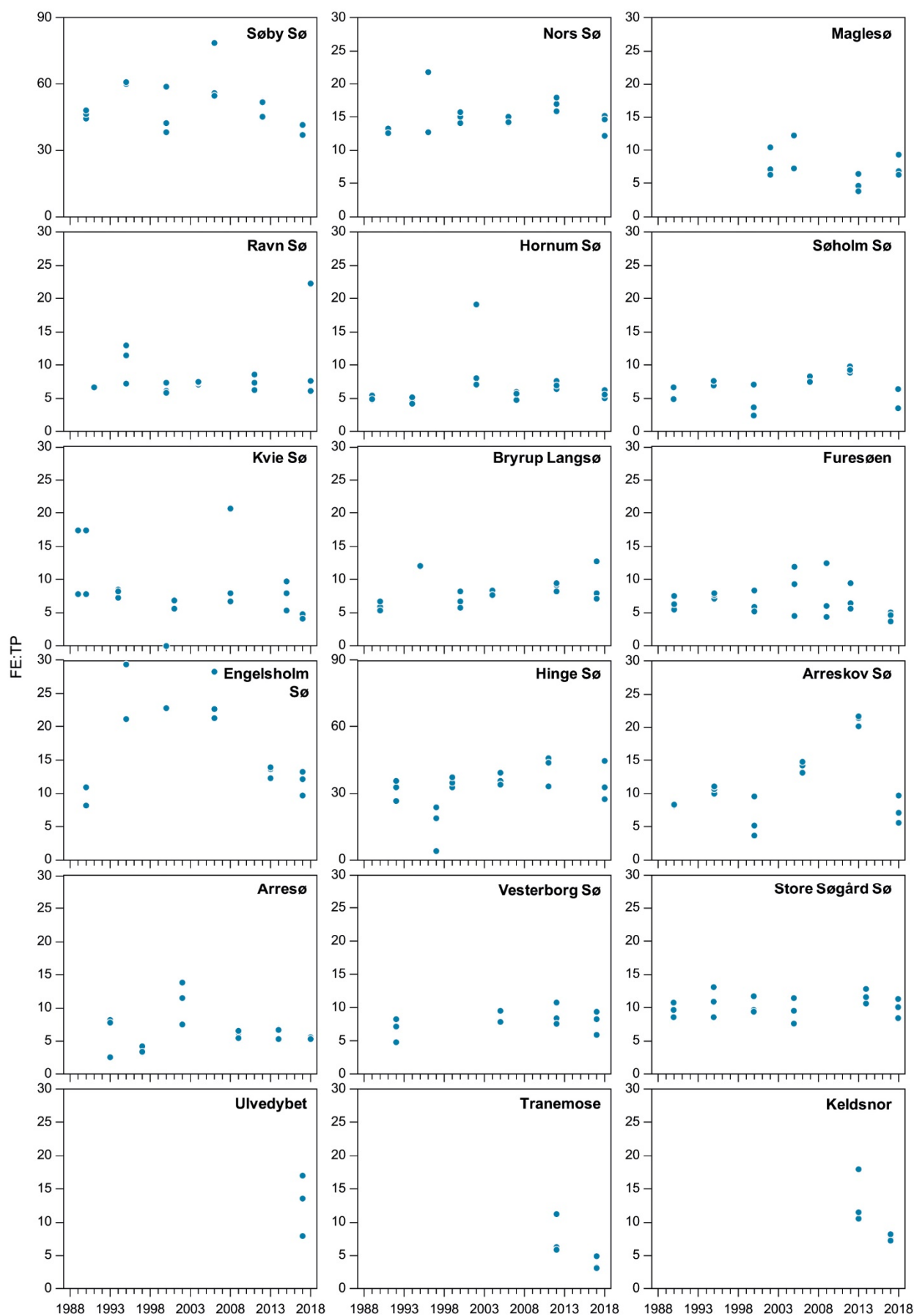
I de tre søer, som kom med i programmet i 2011, er fosforindholdet generelt forholdsvis lavt, ikke mindst i Ulvedybet, hvor det gennemsnitlige indhold på de tre stationer kun er på 0,38 mg P/g tv. Dette kan hænge sammen med brakvandssøers mindre evne til at tilbageholde fosfor pga. større sulfatreduktionsrater og dermed større immobilisering af jern end i ferskvandssøer.

Jern-fosfor forhold

Jern-fosfor-forholdet (Fe:TP-forhold) har betydning for sedimentets evne til at tilbageholde fosfor under iltede forhold – jo højere Fe:TP-forhold, desto større er potentialet for at tilbageholde fosfor i sedimentet. I figur 2.14 er der vist, hvordan dette forhold har ændret sig i overfladesedimentet gennem overvågningsperioden. Som det ses, er det vanskeligt at spore udviklingstendenser i Fe:TP-forholdet gennem perioden, samtidig med at der i nogle søer er en betydelig variation mellem de tre prøvetagningsstationer og i nogle af søerne også fra år til år.



Figur 2.13. Udviklingen i totalfosfor (mg P/g tv) i overfladesedimentet (0-2 cm) i de 18 KU-søer. Hvert punkt repræsenterer én prøvetagningsstation.

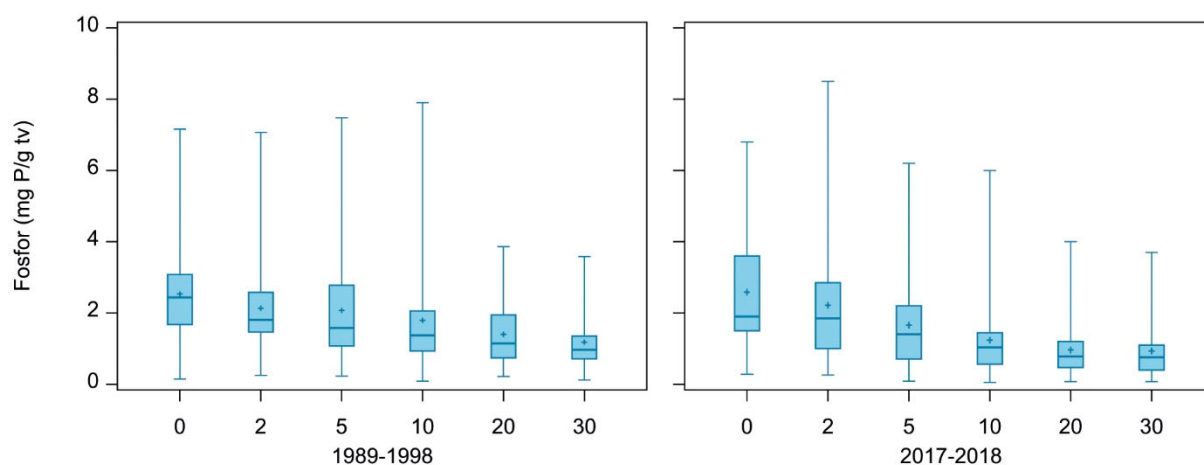


Figur 2.14. Udviklingen i Fe:TP forholdet (vægtbasis) i overfladesedimentet (0-2 cm) i de 18 KU-søer. Bemærk anden skala for Søby Sø og Hinge Sø. Hvert punkt repræsenterer én prøvetagningsstation.

Dybdeprofil

I figur 2.15 er sedimentets dybdeprofil af totalfosforindhold for de 15 KU-søer med data fra perioden 1989-1998 sammenlignet med en dybdeprofil taget i perioden 2017-2018.

Tages variationen søerne imellem og inden for den enkelte sø (se figur 2.15) i betragtning, kan der ikke ses væsentlige ændringer i dybdeprofilerne for totalfosfor gennem de 20-25 år, der er imellem de to hold prøvetagninger. Fosforindholdet synes generelt mere varierende i sedimentet taget i 2017-2018 samtidigt med, at der er en tendens til mindre forskelle mellem overfladelag og det dybere sediment, men ellers er der kun beskedne ændringer i disse gennemsnitlige profiler.



Figur 2.15. Sedimentprofiler af totalfosfor fra KU-søer taget i henholdsvis perioden 1989-1998 og 2017-2018. På x-aksen er vist dybderne: 0-2, 2-5, 5-10, 10-20, 20-30 og >30 cm. Nogle af de dybere sedimentlag (>20 cm dybde) repræsenterer ikke altid præcis 20-30 eller 30-50 cm, men i figuren er de lagt herunder for at gøre data sammenlignelige. Boksplottet angiver minimum og maksimum (to yderste linjer), 25 og 75 %-fraktiler (boksens ender, medianværdi (linjen inde i boksen) og middelværdi (kryds inde i boksen). Figuren omfatter de 14 KU-søer med lange tidsserier, dvs. i alt 14 søer (Maglesø indgår ikke, fordi der ikke er data fra 1989-1998).

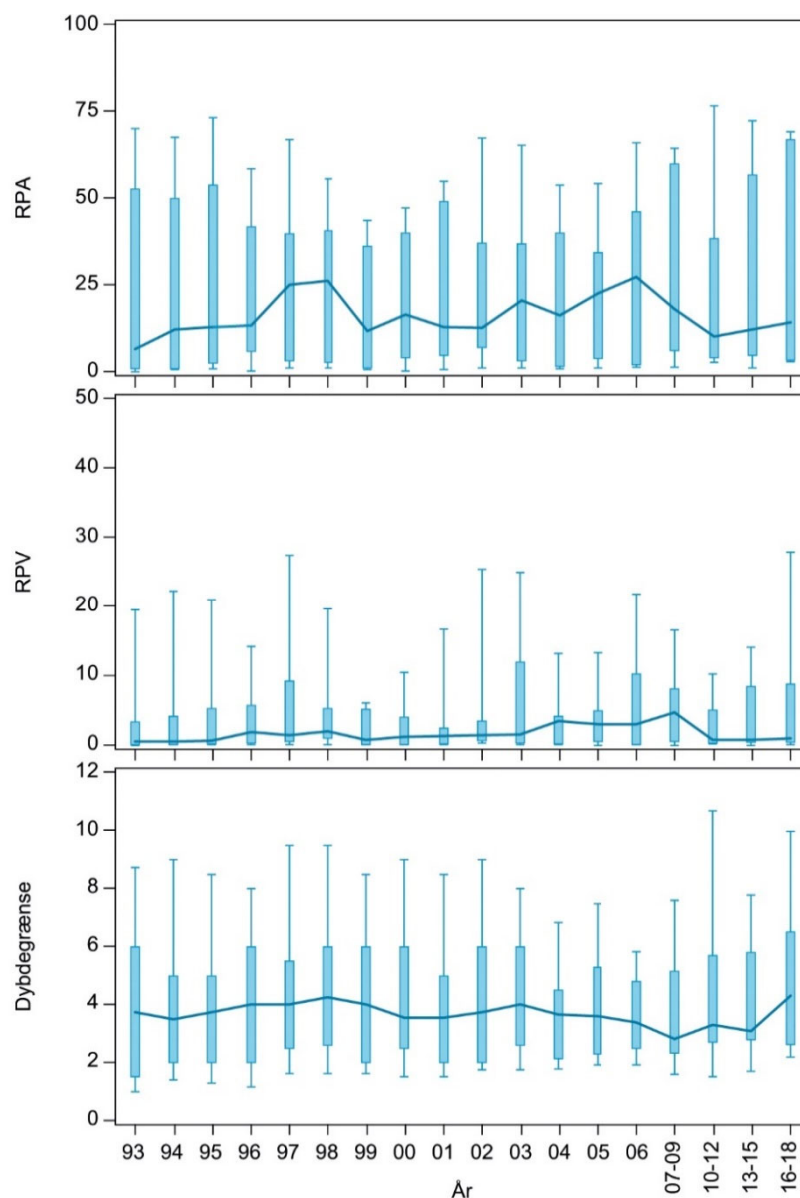
2.4 Vegetation

Undervandsvegetationen i KU-søerne er undersøgt siden 1993/94, men der er sket ændringer undervejs i forhold til antal søer og den måde, undersøgelserne er foretaget på. Ved undersøgelserne før 2004 blev den enkelte sø således inddelt i delområder, men derefter er undersøgelserne foretaget ved en transektundersøgelse. Undervandsplanternes udbredelse blev frem til 2006 undersøgt årligt i 10 af de tidligere 37 overvågningssøer, men fra 2007 blev frekvensen sat ned til hvert andet år og fra 2010 til en gang hvert tredje år.

Udviklingen i undervandsplanternes gennemsnitlige dækningsgrad, det relative plantefyldte volumen og planternes dybdegrænse for alle de 10 søer, som er undersøgt jævnlige siden 1993, er vist i figur 2.16. Der er betydelige variationer fra år til år, og det er vanskeligt at se egentlige udviklingstendenser for perioden som helhed. Det lille antal søer, der indgår i figuren, betyder, at ændringer i enkelte eller få søer kan få en relativ stor indflydelse på resultaterne, der afbildes på figuren. Derudover omfatter de 10 søer både lavvandede og dybe søer, og det betyder, at figuren både dækker over søer, hvor dækningsgrad og plantefyldt volumen kan være meget højt (lavvandede søer), og søer, hvor dækningsgrad og plantefyldt volumen af naturlige årsager vanskeligt kan blive høj (dybe søer). Blandt de lavvandede søer kan der være søer, hvor

planternes dybdegrænse når søbunden og derved ikke kan øges mere, selv om lysforholdene forbedres.

Figur 2.16. Udviklingen i under-vandsplanternes dækningsgrad (RPA, %), relativt plantefyldt volumen (RPV, %) og dybdegrænse (m) i de 10 søer, hvor der i perioden 1993-2006 er foretaget årlige planteundersøgelser. I perioden 2007-2018 er søerne ikke undersøgt årligt, og derfor er perioderne 2007-2009, 2010-2012, 2013-2015 og 2016-2018 præsenteret ved ét punkt på grafen. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjen viser medianværdien.

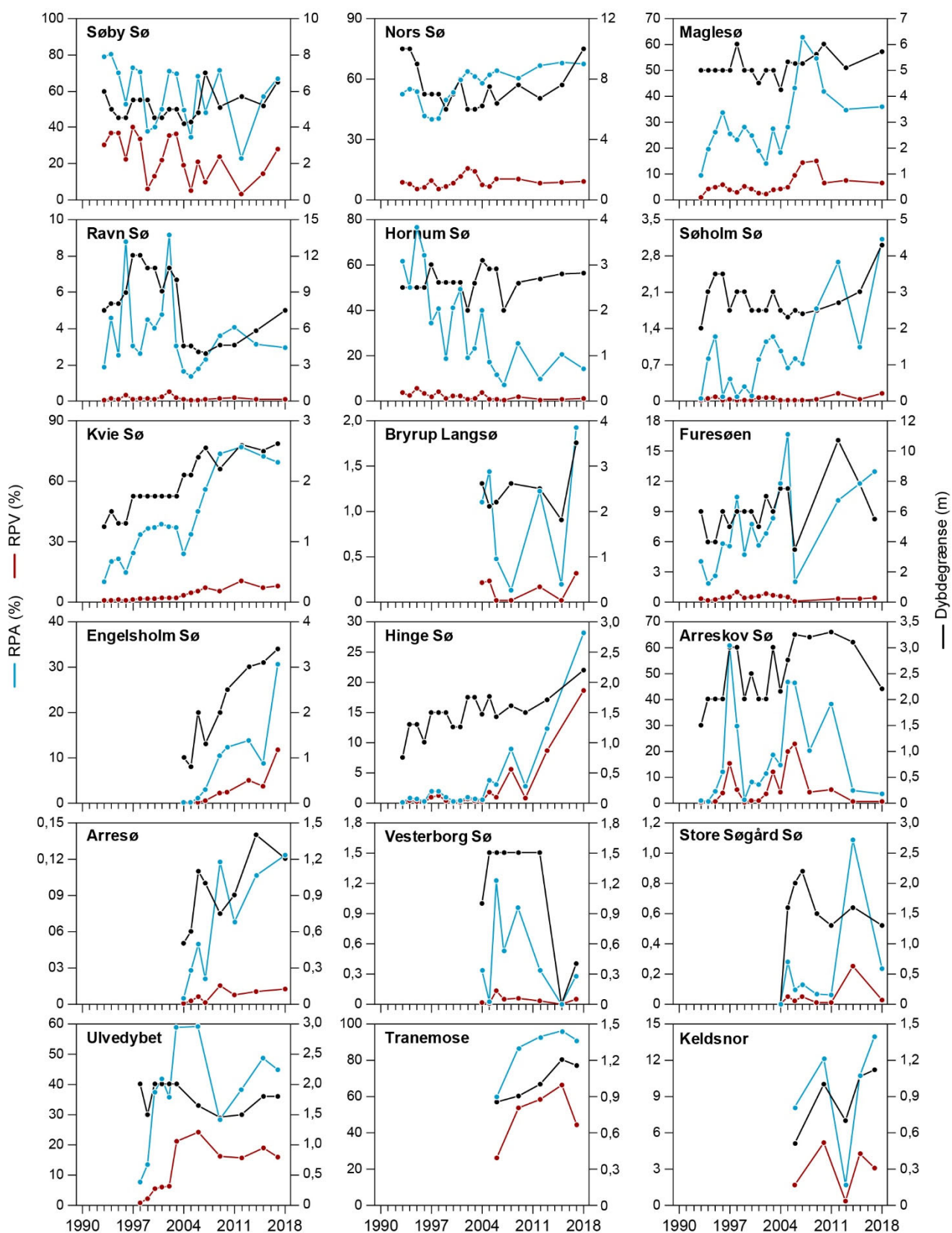


Resultaterne for de enkelte KU-søer er vist i figur 2.17. Figuren omfatter både de 10 søer, som har været fulgt gennem hele overvågningsperioden, de fem søer, som er undersøgt fra 2004, og de tre søer, som kom med i 2011, dermed i alt 18 søer.

I næsten alle KU-søerne er der betydelige variationer fra år til år i de tre variable, men i nogle af søerne ser der også ud til at være en udviklingstendens gennem årene. Dette gælder eksempelvis Kvie Sø, hvor der gennem hele perioden har været en positiv udvikling i planternes udbredelse, og i Hinge Sø, hvor der har været en positiv udvikling i alle tre parametre, især siden 2004.

I tabel 2.14 er udviklingen i vegetationens udbredelse testet statistisk i de 16 søer, hvorfra der er mindst syv års data. Tabellen bekræfter den gennemgående positive udvikling siden overvågningens start i 1993, hvor eksempelvis dækningsgraden er øget i ni søer, men kun reduceret i to søer. I de fleste tilfælde afspejler den positive udvikling i dækningsgraden sig også i det plantefyldte

vandvolumen og i planternes dybdegrænse. Hvis der alene ses på den seneste 15-års periode siden 2003, er der færre søer, hvor der har været signifikante ændringer i de tre parametre, men i søer, hvor der er ændringer, er det i alle tilfælde gået i retning af større udbredelse.



Figur 2.17. Udviklingen i undervandsplanternes dækningsgrad (rpa), plantefyldte volumen (rpv) og den maksimale dybdegrænse i KU-søerne. Bemærk forskellig skala på y-akserne.

Tabel 2.14. Udviklingen i undervandsplanternes dækningsgrad (RPA), plantefyldte volumen (RPV) og dybdegrænse i KU-søer undersøgt i perioden 1993-2018 og perioden 2003-2018, hvorfra der er mindst syv års data. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

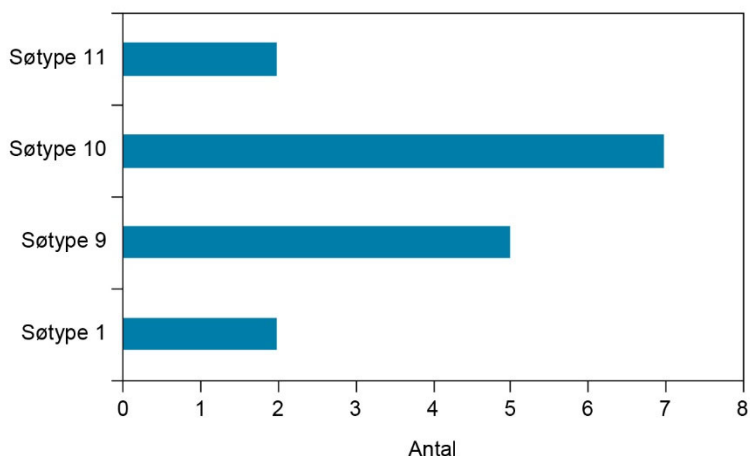
Sø	1993-2018			2003-2018		
	RPA	RPV	Dybde-grænse	RPA	RPV	Dybde-grænse
Nors Sø	++++	0	0	++	0	++
Ulvedybet	+	++	0	0	0	0
Hornum Sø	----	---	+	0	0	0
Hinge Sø	+++	+++	++	++	++	0
Ravn Sø	0	0	-	0	0	0
Bryrup Langsø	0	0	0	0	0	0
Søby Sø	-	-	0	0	0	++
Kvie Sø	++++	++++	++++	++	+++	+++
Engelsholm Sø	+++	+++	+++	+++	+++	+++
Store Søgård Sø	0	0	0	0	0	0
Arreskov Sø	0	0	+++	0	0	0
Søholm Sø	++	0	0	0	0	0
Arresø	++	++	+	++	++	+
Furesøen	+++	0	++	0	0	0
Maglesø	++	++	++	0	0	+
Vesterborg Sø	0	0	0	0	0	0
I alt +/++/+++/++++	9	6	7	5	4	6
I alt -/--/---/----	2	2	1	0	0	0

2.5 Littoralzonens bunddyr og deres biodiversitet

Bundlevende smådyr (makroinvertebrater) er et af de fire såkaldte biologiske kvalitetselementer i vandrammedirektivet. Prøverne fra KU-søerne i 2017-2018 er taget med henblik på at blive anvendt til beregning af indeks til brug ved fastsættelse af den økologiske kvalitet i søerne. Dette indeks (Danish Littoral Macroinvertebrate Index, DLMI, Wiberg-Larsen & Rasmussen 2017) er under udvikling og forventes at komme i anvendelse i 2020. Det er dermed første gang, bunddyrsdata fra NOVANA præsenteres i denne form. I det følgende fokuseres der på bunddyrenes generelle biodiversitet, baseret på resultaterne fra denne prøvetagning. Herunder behandles tre af de i alt fire metrics eller indikatorer (EPTCBO, %COP samt H_1 – se forklaring nedenfor), der indgår i DLMI.

Til nærværende rapportering foreligger der data fra i alt 16 KU-søer undersøgt i 2017-2018 (prøvetagning i Tranemose og Vesterborg Sø blev opgivet pga. bløde bundforhold), fordelt på fire forskellige søtyper (figur 2.18). I hver sø blev undersøgt fire lokaliteter med forskellig grad af menneskeskabt påvirkning langs bredden. Kun fem af søerne er undersøgt tidligere (to i 1988, tre i 2013).

Figur 2.18. KU-søer undersøgt for sammensætning af littoralzonens (bredzonens) bunddyr, 2017-2018. De fleste søer (i alt 12) er af type 9 og 10. To søer havde brak vand (søtype 11), og de sidste to er kalkfattige (søtype 1). Se tabel 1.1 for beskrivelse af søtyper.



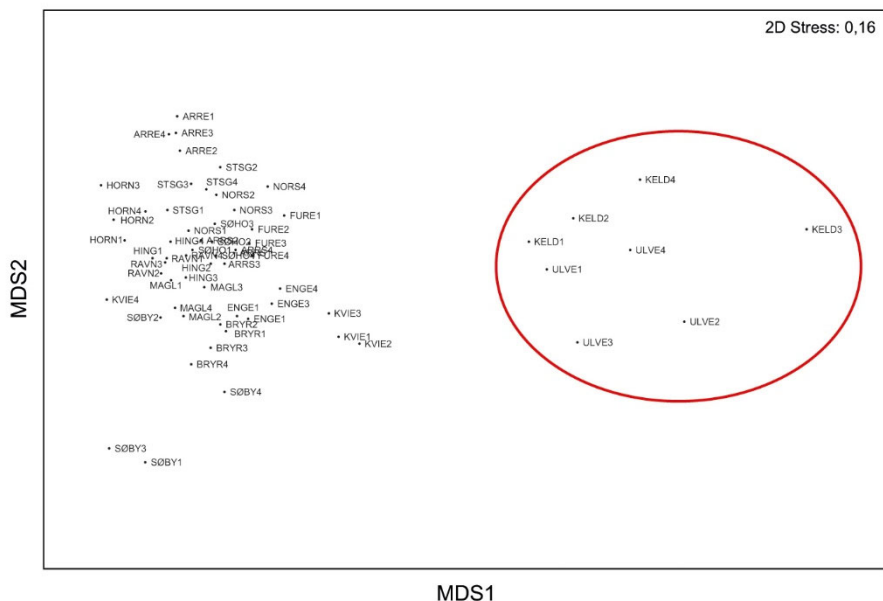
2.5.1 Overordnet biodiversitet

Samlet set blev der i de 16 søer fundet ca. 240 forskellige taxa (arter, slægter, familier, ordener mv.) fordelt på 106.864 individer.

En "MultiDimensionel Scaling" (MDS)-analyse af den kvantitative sammensætning af bunddyr viste ikke overraskende, at brakvandsøerne (Kelsnor, Ulvedybet) skilte sig klart ud fra de ferske søer (figur 2.19). Næsten samtlige arter i de brakke søer (diverse børsteorme, krebsdyr, muslinger og snegle, alle typiske for brakke / marine miljøer) forekom ikke i de ferske, og kun enkelte arter fra sidstnævnte fandtes i de brakke søer (f.eks. vårfluen *Oecetis ochracea* og bugsvømmeren *Paracorixa concinna*).

Analysen viste desuden, at forskellen i biodiversiteten mellem de ferske søer var relativt lille, samt at forskellen inden for den enkelte sø generelt var mindre end forskellen mellem de enkelte søer. Lokale forhold i form af menneskeskabte påvirkninger i / ved bredzonen synes derfor at være af relativt lille betydning. Dette forhold giver anledning til optimisme i forhold til anvendelsen af det kommende indeks for bunddyr, som er "designet" til primært at afspejle eutrofiering.

Figur 2.19. Beskrivelse af den kvantitative sammensætning af bunddyrsprøverne fra 16 undersøgte (2017-2018) søer (fire prøver/stationer i hver sø) ved brug af MDS (MultiDimensionel Skalering, $\log(x+1)$ transformerede data). Jo tættere prøverne er placeret i forhold til hinanden, des mere ens er deres taxonsammensætning. Der henvises til tabel 2.15 for forklaring på de anvendte forkortelser af sønavne (numre angiver station/prøve). Den røde ring markerer de brakke søer.



Antallet af taxa og individer varierede betydeligt fra sø til sø (tabel 2.15). I middel/median var individantallet i en prøve 3370/1850, antal taxa 55/59 og antal EPTCBO (antal taxa af hhv. døgnfluer, slørvinger, vårfluer, biller, muslinger og guldsmede; indgår i DLMI og er et udtryk for biodiversitet) 23/23, hvilket vurderes at være relativt højt. Til gengæld var middel-/medianværdien for % COP (% af biller, guldsmede og slørvinger i forhold til det samlede individantal for samtlige grupper; indgår i DLMI og er et udtryk for biodiversitet) kun 3,9/3.

De brakke søer var specielt fattige på individer, taxa og EPTCBO-taxa, ligesom andelen af % COP var lav (0). Dette er ikke overraskende, fordi der er tale om fysiologisk ”barske” overgangsvandområder mellem det ferske og marine miljø, som kun relativt få arter – hvilket ikke mindst gælder insekter – udviklingsmæssigt har været i stand til at tilpasse sig. Antallet af individer, taxa og EPTCBO var ligeledes lavt i den kalk- og relativt næringsfattige Kvie Sø.

Tabel 2.15. Biodiversitetsmål for bunddyr i littoralzonen i 16 KU-søer, 2017-2018. Tallene angiver sum/middel for fire prøver/stationer i hver sø. Ud over individ- og taxonantal er beregnet tre af de i alt fire såkaldte ”metrics”, som indgår i Dansk Littoralzone Makroinvertebrat Indeks (DLMI): Antal EPTCBO (antal taxa af hhv. døgnfluer, slørvinger, vårfluer, biller, muslinger og guldsmede), %COP (% af biller, guldsmede og slørvinger i forhold til det samlede individantal for samtlige grupper) og H_1 (Hill’s tal 1, defineret som EXP af Shannon-Wiener indekssværdier, som er et mål for generel biodiversitet).

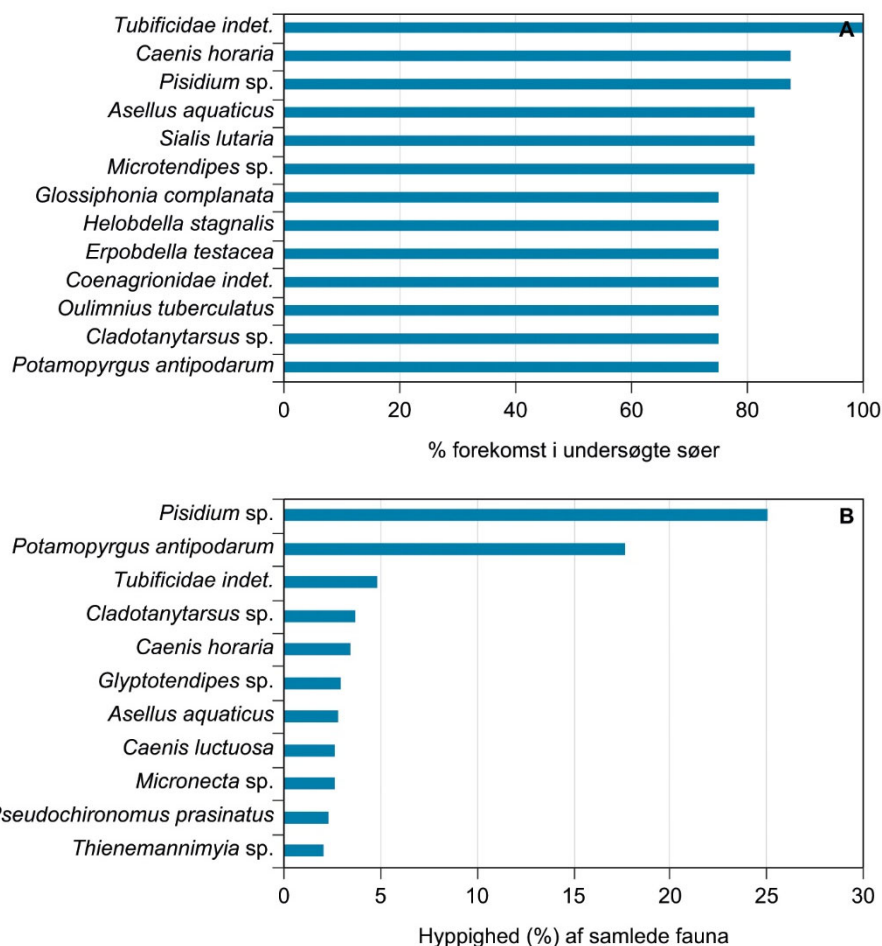
Sø (kode)	Antal individer	Antal taxa	Antal EPTCBO taxa	%COP	H_1
Arresø (ARRE)	5145	57	25	2,76	10,6
Arreskov Sø (ARRS)	14730	53	18	1,22	3,8
Bryrup Langsø (BRYR)	1230	69	32	4,31	17,8
Engelholm Sø (ENGE)	2116	52	20	1,37	10,1
Furesø (FURE)	1716	65	29	10,61	16,9
Hinge Sø (HING)	5535	69	27	1,66	5,8
Hornum Sø (HORN)	1989	53	22	3,67	15,3
Keldsnor (KELD)	571	14	6	0,00	5,0
Kvie Sø (KVIE)	556	37	15	3,42	11,8
Maglesø (MAGL)	728	63	29	9,07	15,8
Nors Sø (NORS)	1589	58	20	9,57	23,0
Ravn Sø (RAVN)	2012	88	38	10,54	25,9
Store Søgård Sø	7322	59	18	0,23	14,1
Søby Sø (SØBY)	803	60	32	2,99	22,4
Søholm Sø (SØHO)	7086	59	24	1,30	5,8
Ulvedybet (ULVE)	831	24	13	0,00	8,3

Ses der på tværs af samtlige 16 undersøgte søer var en række taxa dominerende, når de blev udtrykt som forekomst og/eller relativ hyppighed (figur 2.20). Både vidt udbredte og meget hyppige var Tubificidae (børsteorm), *Asellus aquaticus* (vandbænkebidder), *Caenis horaria* (døgnflue), *Cladotanytarsus* (dansemyg), *Potamopyrgus antipodarum* (snegl) og *Pisidium* (musling). Samme hyppighed blev fundet for de 55 søer, som indgår i udviklingen af DLMI.

P. antipodarum er oprindelig endemisk på New Zealand, men er blevet spredt til store dele af den øvrige verden. I Danmark indvandrede den før 1914 (Thomsen m.fl. 2007) og er nu vidt udbredt i brakvand, søer og vandløb. Arten

betragtes som ”invasiv” og har stor tolerance over for varierende miljøforhold, en effektiv spredningsevne samt et stort formeringspotentiale (Alonso & Castro-Díez 2008). Den finder især fodfæste i vandområder, som er relativt forstyrrede af menneskers aktiviteter, og konkurrerer effektivt med andre sneglearter om tilgængelige føderesurser, primært i form af bundlevende alger (Alonso & Castro-Díez 2008, 2012). Den har væsentlige økosystemeffekter, som dog ikke udelukkende er negative (produktion af høj-energi fæces, der gavner detritusædende arter). Der foreligger ingen undersøgelser på dens effekter i danske vandområder.

Figur 2.20. Oversigt over taxa med >75 % forekomst i 16 KUsøer undersøgt i perioden 2017-2018 (øverst) samt taxa med en andel >2 % af den samlede bunddyrsfauna.



Der blev fundet enkelte relativt sjældne arter, hver med forekomst i kun én sø. Blandt disse kan nævnes fimreormen *Bdellocephala punctata* (Furesø), døgnfluen *Ephemera vulgata* (Bryrup Langsø), guldsmeden *Libellula fulva* (Kvie Sø), klobillen *Riolus cupreus* (Ravn Sø) samt vårfluerne *Notidobia ciliaris* (Bryrup Langsø) og *Oecetis testacea* (Ravn Sø). To mere almindelige vårfluer, *Cyrnus crenaticornis* og *Leptocerus tineiformis*, blev fundet i 1-2 søer hver (Hinge Sø, Nors Sø og Søholm Sø), alle søer med forekomst af finløvet undervandsvegetation, som larverne er nært knyttet til. Alle de nævnte arter er kendt fra flere danske søer, og ingen af de fundne arter har status som ”truede” på den seneste danske rødliste.

Fundet af en enkel art, fimreormen *Girardia tigrina*, er bemærkelsesværdigt (se figur 2.21). Det er nemlig første gang, at arten officielt er fundet i Danmark. Arten er indfødt i den nearktiske region (omfatter hovedsageligt det meste af Nordamerika og Grønland), men er siden spredt til Europa i 1920’erne samt

til Sydamerika, Japan og Australien (Stocchino m.fl. 2019). Spredningen er angiveligt sket via akvarieplanter, og arten findes nu i bl.a. i Spanien, Italien, Frankrig, Schweiz, Luxemburg, Holland, Tyskland og Storbritannien. Det er uvist, hvorfra den ny danske population stammer. Spredning via fugle eller mennesker er begge en mulighed. Fimreormen blev fundet af MST i Engesholm Sø og bestemt af Per Gørtz, Fiskeøkologisk Laboratorium. Arten fandtes på samtlige fire undersøgte stationer i søen, endda i et ret stort antal. Det er muligt, at arten også forekommer i andre danske søer.

Figur 2.21. Fimreormen *Girardia tigrina*. Foto: Mads Kousgaard, MST.



2.5.2 Miljøfaktorerers indflydelse på biodiversiteten

Littoralzonens bunddyr påvirkes af en række forskellige faktorer, hvoraf nogle virker på stor (søens areal, dybdeforhold, vandkemi) eller lille skala (substrat-og vegetationsforhold på prøvetagningsstedet, menneskeskabte påvirkninger langs og på bredden).

Der blev indledningsvis foretaget en analyse af en række ”stor-skala”-miljøvariable for at bestemme overordnede, betydende faktorer. Midlet var en såkaldt PCA (Principal Components Analysis, se fx Wiberg-Larsen & Rasmussen 2017). Der blev kun foretaget analyse på de 14 ferske søer, fordi de to brakke var så fundamentalt forskellige pga. af deres høje saltindhold. Der blev ved analysen bestemt to betydende ”faktorer” (analysens to første akser). Disse, benævnt PCA1 og PCA2, udtrykte hhv. eutrofiering (karakteriseret ved en række variable, i betydende rækkefølge: sigtdybde, klorofyl *a*, totalfosfor, totalkvælstof, ledningsevne samt farvetal) og kalkholdighed (karakteriseret primært ved pH og alkalinitet). Samlet forklarede de to akser / ”faktorer” hhv. 55 og 22 % af variationen i data. I forhold til de to akser placerede analysen hver sø med et sæt PCA1- og PCA2-koordinater (se nedenfor).

Biodiversitetsmålene (antal individer, antal taxa, antal EPTCBO taxa, %COP og H_1) blev herefter analyseret i forhold til stor-skala-faktorerne eutrofiering (PCA1) og alkalinitet (PCA2) samt med parametre, som karakteriserede bundforholdene på prøvetagningsstederne analyseret ved brug af simpel Pearsons korrelationsanalyse. Bundforholdene blev således beskrevet ved substrat- og vegetationsforhold (se Wiberg-Larsen & Rasmussen 2017) og H_1 _sub, som beskriver diversiteten af de forekommende substrattyper.

Analysen viste, at eutrofiering (PCA1) var signifikant positivt korreleret med samlet individantal ($r=0,66$, $P=0,01$) og negativt korreleret med %COP ($r=-0,55$, $P<0,05$), mens der kun var en signifikant korrelation mellem alkalinitet (PCA2) og antal taxa ($r=-0,55$, $P<0,05$). Dette kan tolkes således, at øget næringsstofniveau (øget primærproduktion) øger mængden af individer, mens andelen af formodet "følsomme" taxa som biller, guldsmede og slørvinger reduceres ved stigende næringsstofniveau. Desuden øges antallet af taxa i søer med stigende kalkholdighed (og pH).

Det var lidt overraskende, at der ikke blev fundet nogen sammenhæng mellem de øvrige biodiversitetsmål som antal EPTCBO-taxa og H_1 , som indgår i det kommende DLMI, og de to miljøvariable. For H_1 var der dog tendens til signifikans ($r=-0,55$, $P=0,055$) i forhold til eutrofiering (PCA1). Der er tidligere fundet signifikante korrelationer mellem de tre "metrics" (der som nævnt alle indgår i DLMI) og eutrofiering ved undersøgelse af et større datasæt end det foreliggende.

2.6 Fisk

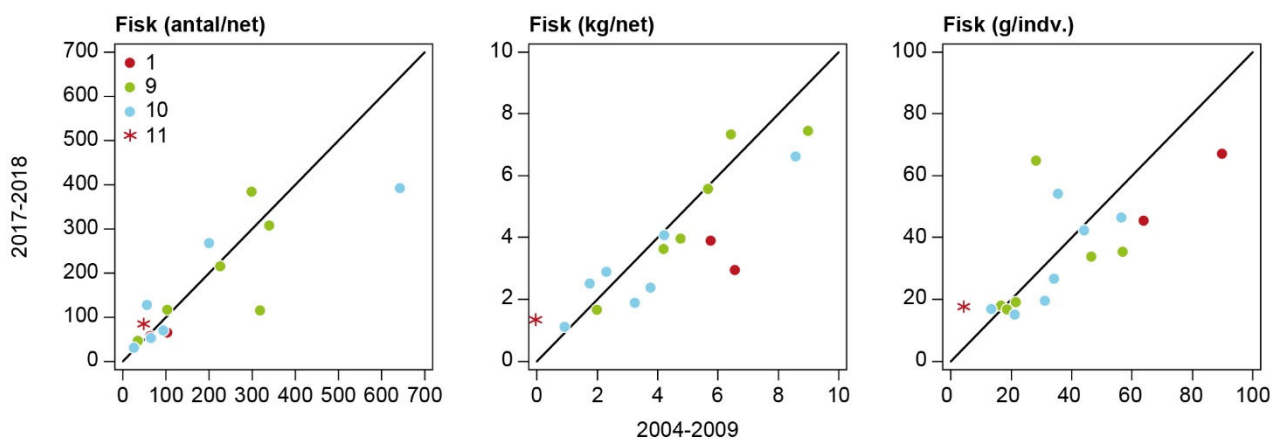
En oversigt over karakteristika for fiskebestanden i 16 af KU-søerne, som har været fulgt i de tre overvågningsperioder, er vist i tabel 2.16.

Tabel 2.16. Oversigt over karakteristika for fiskebestanden i 16 af KU-søerne i tre perioder: 1, 2 og 3, som er hhv. 2004-2009, 2010-2015 og 2017-2018. Data er volumenkorregerede i forhold til udstrækning af dybdezonerne i søen. CPUE er således den gennemsnitlige volumenkorregerede fangst pr. net pr. nat. Rovfisk: gedde, aborre og sandart, alle >10 cm. Karpfisk: skalle, brasen og deres hybrider.

Periode	Gennemsnit			Median			Minimum			Maksimum		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
CPUE (antal/net)	168	156	151	98	112	102	25	41	31	643	415	392
CPUE (kg/net)	4,3	3,9	3,7	4,2	4,0	3,2	0,2	1,1	1,3	9,0	7,7	7,5
Gns. vægt (g/indiv.)	36	30	35	33	27	30	4,3	11,6	14,9	90	58	84
%rovfisk på vægtbasis	43	36	44	45	30	54	0	0	0	91	72	91
%karpfisk på vægtbasis	43	46	38	50	49	34	2,2	3,5	4,0	81	68	87

Der er tendens til et gradvist fald i både gennemsnits- og maksimumsværdierne af CPUE både som antal og på vægtbasis. Median CPUE på vægtbasis er også aftagende, mens minimumsbiomassen og minimumsgennemsnitsvægten viser en stigende tendens (tabel 2.16). Derimod er der ikke nogen klar tendens i andelen af rovfisk eller af karpfisk på vægtbasis (tabel 2.16). Rovfisk er defineret som gedde, aborre og sandart, alle >10 cm, karpfisk er defineret som skalle, brasen og deres hybrider.

Fiskebestanden har været fulgt i 16 søer hvert 5.-6. år siden 1989. Dog har der været anvendt forskellige garntyper og opgørelsesmetode i perioden 1989-2003 og i den efterfølgende periode, hvilket vanskeliggør en egentlig sammenligning. Først vurderes ændringerne fra 2004-2009 til 2017-2018, hvor samme metode har været benyttet.

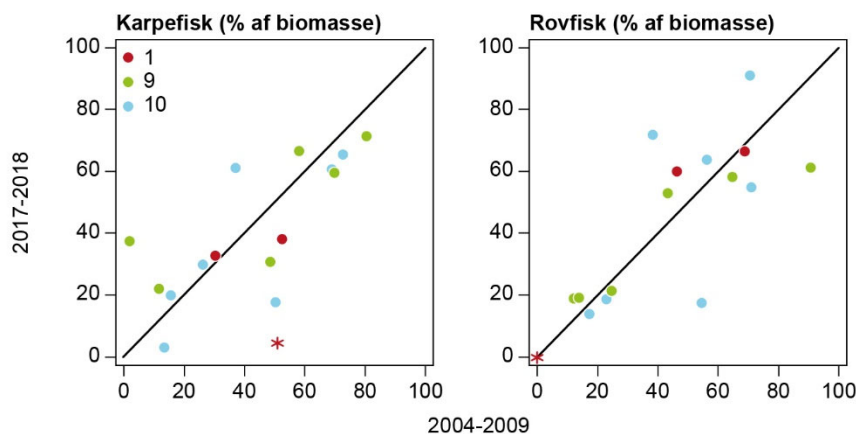


Figur 2.22. Sammenligning af det totale antal fisk pr.net, biomassen pr. net og gennemsnitsvægten af fiskene i perioden 2017-2018 i forhold til perioden 2004-2009 i KU-søerne. De forskellige typer, som søerne tilhører, har særskilte symboler. 1 er ferske, lavalkaline, klarvandede, lavvandede søer, 9 og 10 er ferske, alkaliske, klarvandede hhv. lavvandede og dybe søer, og 11 er brakke, alkaliske, klarvandede, lavvandede søer. Fangsterne er volumenkorrigerede i forhold til udstrækning af dybdezonerne i søen.

Parvise analyser (t-test) viser ingen signifikante ($P > 0,10$) ændringer i antal, biomasse og individvægt af fisk fra perioden 2004-2009 til 2017-2018. Mens der ikke er tydelige tendenser for antal fisk, så ligger hhv. 10 og 11 af de 16 søer under 1:1 linjen for både biomassen og gennemsnitsvægten, indikerende aftagende værdier i perioden (figur 2.22). Samme tendens blev fundet for perioden 2010-2015 sammenlignet med perioden 2004-2009 (Johansson m.fl. 2016). En aftagende gennemsnitsvægt af fiskene stemmer ikke med forventningerne, man måtte have for søer, som har været udsat for en reduktion i næringsstofftilførslen (Jeppesen m.fl. 2000). Den skulle tværtimod stige. Forklaringen kunne være en klimabetinget øget temperatur i søerne (især i de lavvandede). Et omfattende studie af den næringsrige Søbygård Sø har således vist faldende gennemsnitsvægt af skalle og aborre over de sidste 20 år sammenstemt med en øget temperatur i søen. Det er sket på trods af et fald i næringsstofniveauet, som alt andet lige skulle betyde en øget gennemsnitsvægt. En mindsket gennemsnitsstørrelse vil kunne øge prædationstrykket på dyreplanktonet og dermed mindske deres græsningstryk på algerne, som resultaterne fra Søbygård Sø også viser (Gutierrez m.fl. 2016).

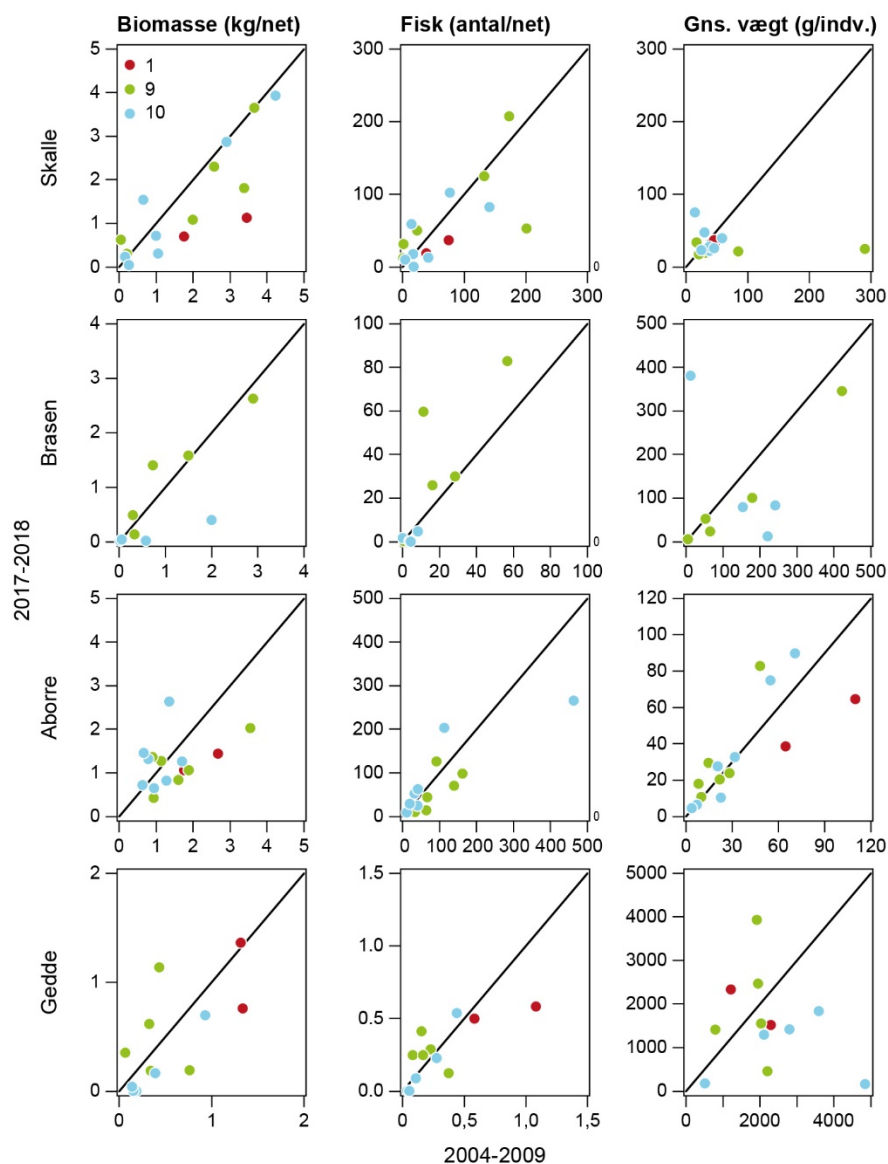
Der var derimod ingen klar tendens til ændring (ikke signifikant ved parvis t-test) i biomasseprocenten af karpefisk eller i andelen af rovfisk (figur 2.23).

Figur 2.23. Biomasseandel af karpefisk (defineret som skalle, brasen og deres hybrider) og rovfisk (gedde, aborre og sandart, alle > 10 cm) i 16 KU-søer. For symboler – se figur 2.22. Data er volumenkorrigerede i forhold til udstrækning af dybdezonerne i søen.

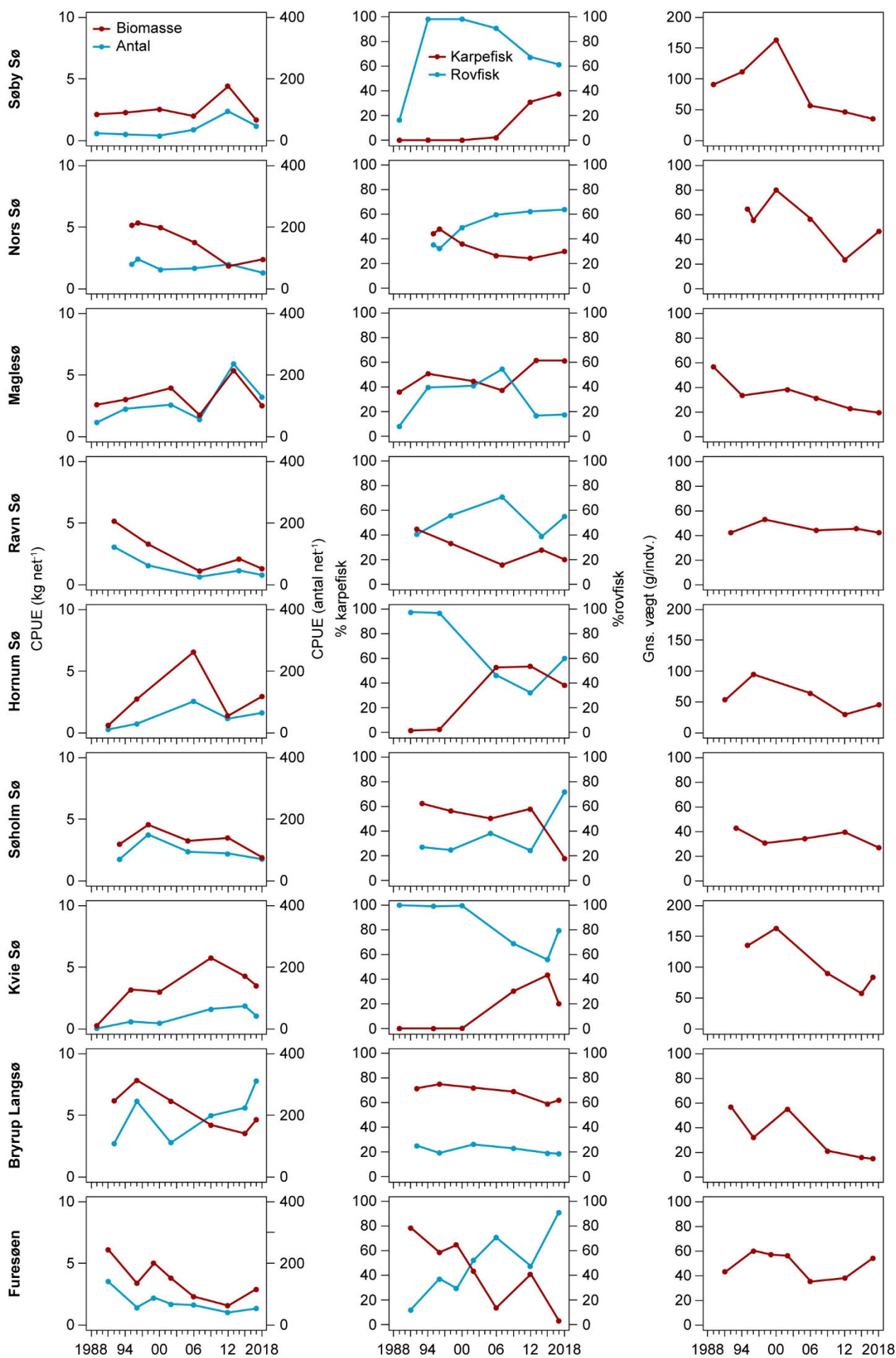


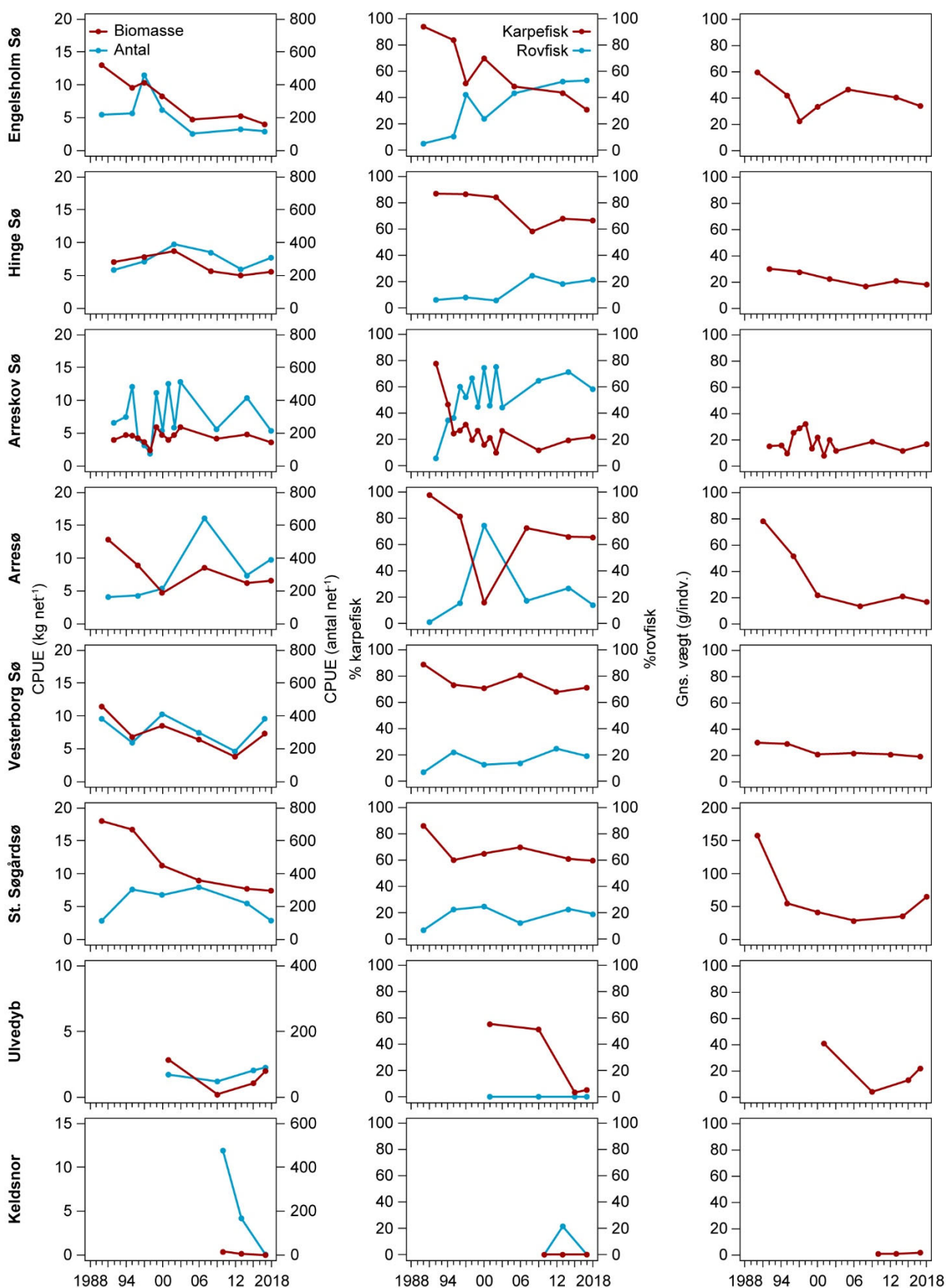
I figur 2.24 er det totale antal pr. net, biomassen pr. net og gennemsnitsvægten af de dominerende fiskearter i perioden 2017-2018 afbildet mod samme variable for perioden 2004-2009. Resultaterne peger på aftagende biomasse af aborre, gedde og skalle, når søerne betragtes under et. Desuden er der tendens til mindsket størrelse af gedde, skalle og brasen, mens antallet af fisk ikke synes ændret. Parvise tests viser dog ingen signifikante ændringer i hverken antal, vægt eller gennemsnitsvægt ($P > 0,15$).

Figur 2.24. Sammenligning af det totale antal pr. net, biomassen pr. net og gennemsnitsvægten af de dominerende fiskearter i perioden 2017-2018 i forhold til perioden 2004-2009. De forskellige typer, som søerne tilhører, har særskilte symboler, se figur 2.22. Data er volumenkorrigerede i forhold til udstrækning af dybdezonerne i søen..



På grund af skift i fiskemetode i 2004 kan der ikke foretages valide statistiske analyser for hele perioden siden 1989, men der er dog nogle klare tendenser for en del af søerne (figur 2.25).





Figur 2.25. Ændringer i det totale antal pr. net, biomassen pr. net og gennemsnitsvægten for fisk i overvågningsperioden 1989-2018 i KU-søerne. Andelen (%) af rovfisk og karpefisk på vægtbasis er også vist. Forskellige fangstmetoder har været benyttet i perioderne 1989-2003 og 2004-2018.

I de næringsrige lavvandede søer, Store Søgård Sø, Vesterborg Sø og Arresø, er totalbiomassen af fisk faldet markant i perioden, men der er også væsentlige fald i middeldybe og dybe søer, såsom Bryrup Langsø, Nors Sø og Ravn Sø, og de biomanipulerede søer Engelsholm og Furesøen. Rovfiskenes andel på vægtbasis er også steget i en række søer: Arreskov Sø, Nors Sø, Hinge Sø, Ravn Sø og Søholm Sø. I de biomanipulerede søer (Engelsholm Sø, Arreskov Sø, Furesøen) er der sket størst stigning i andelen af rovfisk. Omvendt tyder resultaterne på, at andelen af karpefisk er øget i Hornum sø, Kvie Sø, Magle Sø og Søby Sø – alle søer med relativt lavt næringsstofniveau. Der er sket et fald i gennemsnitsvægten af fiskene i en stor del af søerne, meget markant i Arresø og Store Søgård Sø.

2.7 Massebalancer

2.7.1 Næringsstofkilder og -balancer

Af de 18 søer, som indgår i kontrolovervågningen af udvikling, er der opstillet næringsstofbalancer for alle undersøgelsesår siden 1990 for de søer (10 stk.), hvor det er vurderet, at en betydelig del af det vand, der til- og fraføres søen, kan måles. I forhold til den seneste opgørelse af næringsstofkilder og -balancer, som indgår i NOVANA (Johansson m.fl. 2015), er selve opgørelsesmetoden opdateret på visse områder. Opdateringen har været nødvendig for at gøre opgørelser af næringsstofkilder og -balancer i regi af søer kompatibel med DK-QNP version 2 (datagrundlaget for den nationale havbelastningsopgørelse), som giver vand og næringsstof på ID15 oplandsniveau (Thodsen m.fl. 2019b). Resultaterne kan derfor i større eller mindre grad afvige fra tidligere opgørelser.

I de opgjorte vand- og næringsstofftilførsler (kvælstof og fosfor) til søerne indgår tilførsler fra de målte tilløb til de enkelte søer samt et modelleret diffust bidrag fra det umålte opland. Endvidere er der medtaget oplandsspecifikke punktkilder. Det umålte opland varierer over tid, da målestationer kan være flyttet, nedlagt eller oprettet, og dette er medtaget i opgørelsen, så alle væsentlige monitoringsdata kontinuert inddrages. I umålte oplande estimeres vand og næringsstof ud fra sø-specifik statistisk modellering og under successiv inddragelse af alle tilgængelige monitoringsdata i overvågningsårene 1990-2018. For vand opstilles massebalancen over søen i en generel lineær model, der forudsætter lineær sammenhæng på månedsværdier mellem det målte tilløb og det målte udløb. Herudfra bestemmes andelen af umålt vand, der opdeles i hhv. umålt baseflow / grundvandsudveksling og overfladeflow.

Næringsstofbelastningen til søen er opgjort som summen af stof fra søens målte oplandsdel og næringsstof fra den umålte del samt atmosfærisk bidrag. Målt næringsstof indgår direkte, mens næringsstof fra den umålte del findes via modelestimer for den umålte vandmængde og en associeret, modelleret umålt næringsstofkoncentration for hhv. baseflow / grundvandsudveksling og overfladetilstrømning. Næringsstofkoncentrationen for umålt vand bestemmes med brug af det målte tilløb, der er korrigeret for den oplandsspecifikke punktkildebelastning, så det alene er det diffuse bidrag, der indgår. For at overføre estimer til det umålte vand fortages yderligere en skalering, hvor de modellerede næringsstofkoncentrationer for umålt opland justeres på baggrund af DK-QNP-modellens kvælstof- og fosforkoncentrationer for søernes individuelle deloplande. Det betyder, at estimerne på bidraget fra søernes umålte deloplande er et produkt af karakteristikken fra søens målte oplande under hensyntagen til de oplandsspecifikke forskelle, som DK-QNP-modellen

udtrykker, dvs. forskelle i jordtype, dyrkningsgrad, afvandingsgrad, nedbør, temperatur samt årligt kvælstof- og fosforoverskud fra landbruget.

Som følge af fejlanalyser af totalfosfor og totalkvælstof (se sammenfatningen) er der i vandkemiprøver fra vandløb foretaget en foreløbig korrektion af resultaterne fra 2007 til 2014. Se Thodsen m.fl. (2019a) for nærmere redegørelse.

2.7.2 Vandbalancer

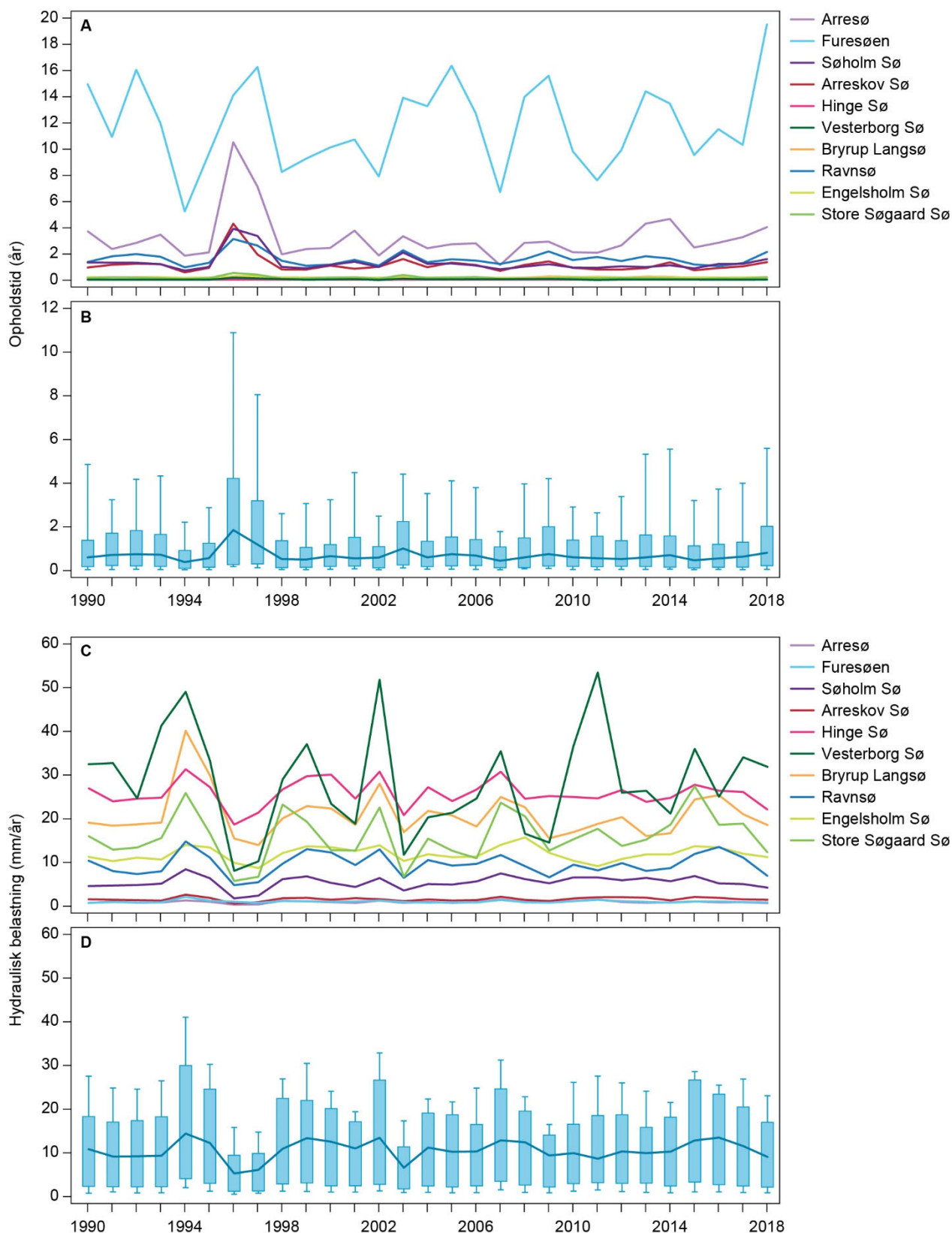
Etableringen af gode vandbalancer er en vigtig forudsætning for at kunne lave pålidelige massebalanceberegninger af fosfor og kvælstof. Generelt varierer vandtilførslen betydeligt fra år til år, hvilket også påvirker tilførslen af næringsstoffer.

Mest markant i overvågningsperioden siden 1990 har været de to tørre år: 1996 og 1997. Dette gav tilsvarende anledning til en lavere afstrømning (figur 4.1) og betydeligt længere opholdstid i søerne (figur 2.26). Året 2003 var ligeledes et relativt tørt år med forholdsvis lang opholdstid i de fleste søer. Der er stor variation i både opholdstid og vandtilførsel, og der ses ingen generel tidslig udvikling (figur 2.26). I 2018 var opholdstiden for nogle af søerne lidt højere end i de foregående år (figur 2.26). Medianen for opholdstiden i søerne var i 2018 på 0,81 år, med et maksimum på 19,5 år i Furesøen (den højeste registrerede opholdstid i overvågningsperioden) og minimum på 0,04 år i Vesterborg Sø.

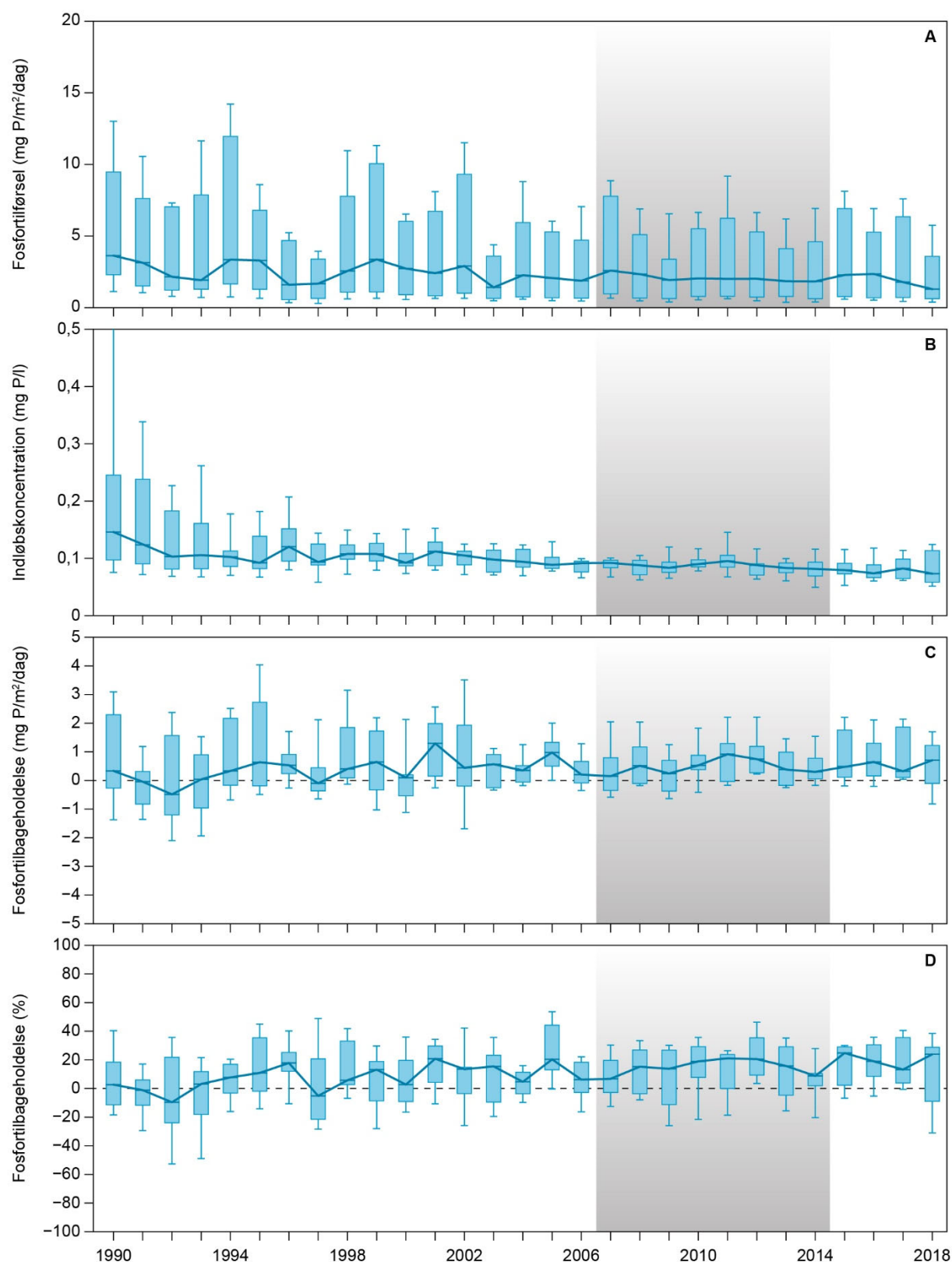
2.7.3 Fosforbalancer

Vandtilførslen har en væsentlig betydning for den specifikke tilførsel af fosfor, da udvaskningen fra det åbne land øges med større vandtilførsel. Tilførslen af fosfor var meget lille i de to tørre år 1996 og 1997, ligesom tilførslen var relativ lille i de tørre år 2003, 2009 og 2018 (illustreret i figur 2.27A, 2.28). Tilsvarende var fosfortilførslen høj i de våde år 1994, 1998, 1999 og 2002 og til dels også i 2007 og 2015 for en del af søerne.

Den vandføringsvægtede fosforkoncentration i det vand, der strømmer til søerne, er reduceret betragteligt (figur 2.27B, 2.28) fra et gennemsnit på omkring 0,17 mg P/l i perioden 1990-1994 til 0,12 mg P/l i perioden 1995-1999, mens reduktionen siden da har været relativt begrænset, dog med et svagt jævnt fald (tabel 2.17). Den gennemsnitlige koncentration i tilført vand i 2018 (0,084 mg P/l) svarer dermed til niveauet for den foregående treårige (2015-2017) periode. I lighed med fosforindholdet i søvandet er det primært de højeste koncentrationer af fosfor i tilført vand, der er reduceret markant i begyndelsen af overvågningsperioden. Medianen for koncentrationen i tilført vand afspejler også et fald på 34 % fra perioden 1990-1994 (0,11 mg P/l) til 2018 (0,073 mg P/l) (tabel 2.17), mens der har været en endnu større ændring i tilførslen af fosfor, hvor medianen for fosfortilførslen i 2018 (1,3 mg P/m²/dag) var 57 % lavere end for perioden 1990-1994 (3,0 mg P/m²/dag) (tabel 2.17). Nedgangen i koncentrationen af fosfor i tilført vand var signifikant for alle 10 KU-søer set over hele overvågningsperioden, mens tre søer har oplevet et signifikant fald i koncentrationen i de seneste 13 år. Seks søer har oplevet et signifikant fald i den arealspecifikke fosforbelastning i perioden 1990-2018, mens tre søer havde signifikant fald set over de seneste 13 år (tabel 2.19).

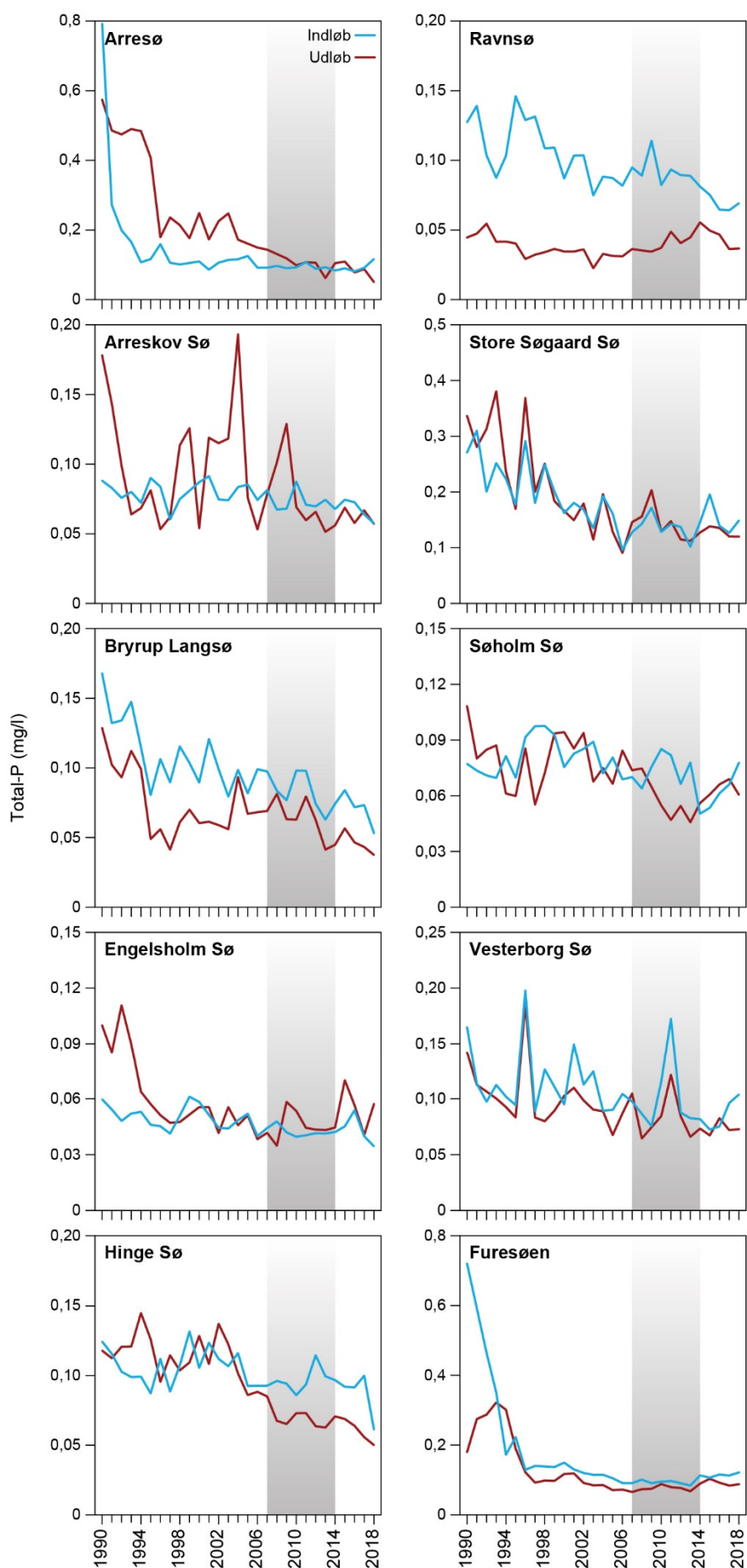


Figur 2.26. Opholdstid (år) for de 10 KU-søer med næringsstofbalancer 1990-2018 for de enkelte søer (A) samt generelt for de 10 KU-søer (B). Hydraulisk belastning (m/år) for de 10 KU-søer enkeltvis (C) samt generelt for de 10 KU-søer (D). Bjælkerne i boksplottene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier. Den hydrauliske belastning er beregnet som den totale tilførte vandmængde pr. år i m^3 divideret med søens overfladeareal i m^2 .



Figur 2.27. Fosforudviklingen i de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer i perioden 1990 til 2018. A: Totalfosfortilførsel ($\text{mg P/m}^2/\text{dag}$), B: vandføringsvægtet koncentration (mg P/l) af totalfosfor i tilført vand, C: fosfortilbageholdelsen ($\text{mg P/m}^2/\text{dag}$), D: fosfortilbageholdelse i % af tilførslen. Bjælkerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da analyser i denne periode er under udredning for at være udført med forklaret metode, der fejlestimerer resultaterne. De anvendte koncentrationer er korrigerede med en foreløbig korrektionsfaktor.

Figur 2.28. Udvikling i den årlige vandføringsvægtede koncentrationen af totalfosfor (Total-P) i tilført vand samt i udløb til hver af de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da analyser i denne periode er under udredning for at være udført med forkert metode, der fejlestimerer resultaterne. De anvendte koncentrationer er korrigerede med en foreløbig korrektionsfaktor.



Reduktionen i fosforkoncentrationen i tilført vand til søerne forklares af reducerede punktkildetilførsler, som har været markante – f.eks. spildevand fra rensningsanlæg (figur 2.30). Reduktioner i fosforkoncentrationen i udløbet er dels et resultat af den lavere koncentration i tilført vand, men også af ændringer i fosfortilbageholdelsen i søerne. I starten 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 2.28). Faldet i fosfortilførslen i de mest belastede søer har resulteret i, at gennemsnitskoncentrationen i udløbene er faldet med mere end 50 % fra 1990-1994 frem til 2018 (tabel 2.17). Faldet er signifikant for alle 10 KU-søer i perioden 1990-2018 (tabel 2.19). Fem af disse søer har også en signifikant faldende udløbskoncentration set over de seneste 13 år, mens en stigende tendens ses i Ravn Sø og Furesøen (tabel 2.19 og figur 2.28). Det generelle fald i udløbskoncentrationen set over alle 10 søer er størst i den første del af overvågningsperioden (37 % fra 1990-1994 til perioden 1995-1999). I perioden 2015-2017 er der sket en mindre stigning i forhold til den forrige periode (tabel 2.17). Den gennemsnitlige udløbskoncentration af totalfosfor var i 2018 14 % lavere end gennemsnittet for den forrige periode (2015-2017).

Tabel 2.17. Totalfosforkoncentration (Total-P konc (mg P/l)) samt fosfortilførslen (Total-P mængde (mg P/ m²/dag)) i det vand, der strømmer til (tilløb) og fra (udløb) de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer fra 1990 til 2018 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004 og 2005-2009, 2010-2014 og 2015-2017 samt 2018. Årsværdier. * er 3-årsperiode i modsætning til de øvrige 5-årsperioder. Analyser i perioden 2007-2014 er under udredning for at være udført med forkert metode.

	Periode		Gns.	Min.	25 %	50 %	75 %	Maks.
Tilførsel Total-P konc (mg/l)	1990	1994	0,170	0,048	0,081	0,113	0,170	0,792
	1995	1999	0,116	0,041	0,088	0,106	0,131	0,292
	2000	2004	0,103	0,044	0,083	0,101	0,116	0,193
	2005	2009	0,089	0,040	0,076	0,091	0,096	0,172
	2010	2014	0,088	0,040	0,074	0,088	0,097	0,172
	2015	2017*	0,085	0,040	0,064	0,075	0,094	0,196
	2018	2018	0,084	0,034	0,055	0,073	0,110	0,149
Tilførsel Total-P mængde (mg/m ² /dag)	1990	1994	5,160	0,460	1,321	3,013	8,047	16,674
	1995	1999	3,799	0,279	0,665	2,142	5,639	16,790
	2000	2004	3,739	0,357	0,686	2,115	6,231	16,298
	2005	2009	3,180	0,386	0,571	2,275	5,430	9,716
	2010	2014	3,502	0,368	0,605	1,938	5,453	25,670
	2015	2017*	3,652	0,352	0,596	2,130	6,379	15,442
	2018	2018	2,612	0,335	0,440	1,294	3,330	9,248
Udløb Total-P konc (mg/l)	1990	1994	0,176	0,042	0,086	0,112	0,256	0,574
	1995	1999	0,111	0,029	0,054	0,087	0,126	0,408
	2000	2004	0,104	0,023	0,057	0,094	0,121	0,249
	2005	2009	0,082	0,031	0,064	0,074	0,089	0,203
	2010	2014	0,072	0,037	0,050	0,065	0,084	0,148
	2015	2017*	0,073	0,036	0,056	0,068	0,083	0,138
	2018	2018	0,063	0,037	0,044	0,057	0,067	0,120

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 2.27C, D, 2.29) i visse søer (f.eks. Furesøen, Arreskov sø og Arresø). Tilbageholdelsen varierer også over sæsonen (Søndergaard et al.,

2012). Den årlige fosfortilbageholdelse var generelt forholdsvis lav i begyndelsen af 1990'erne (figur 2.27, 2.29), hvilket er et udtryk for påvirkning fra en fosforpulje ophobet i sedimentet. Flere søer havde således negativ fosfortilbageholdelse i perioden 1990-1994, mens den fluktuerer i medianværdi fra 0,35-0,52 mg P / m² / dag i de efterfølgende perioder indtil 2017. I 2018 var fosfortilbageholdelsen 0,71 mg P / m² / dag (tabel 2.18). Signifikant øget fosfortilbageholdelse sås i tre søer fra 1990-2018, hvoraf kun Hinge Sø også viste en signifikant øget tilbageholdelse set over de seneste 13 år (tabel 2.19, figur 2.27 og 2.29).

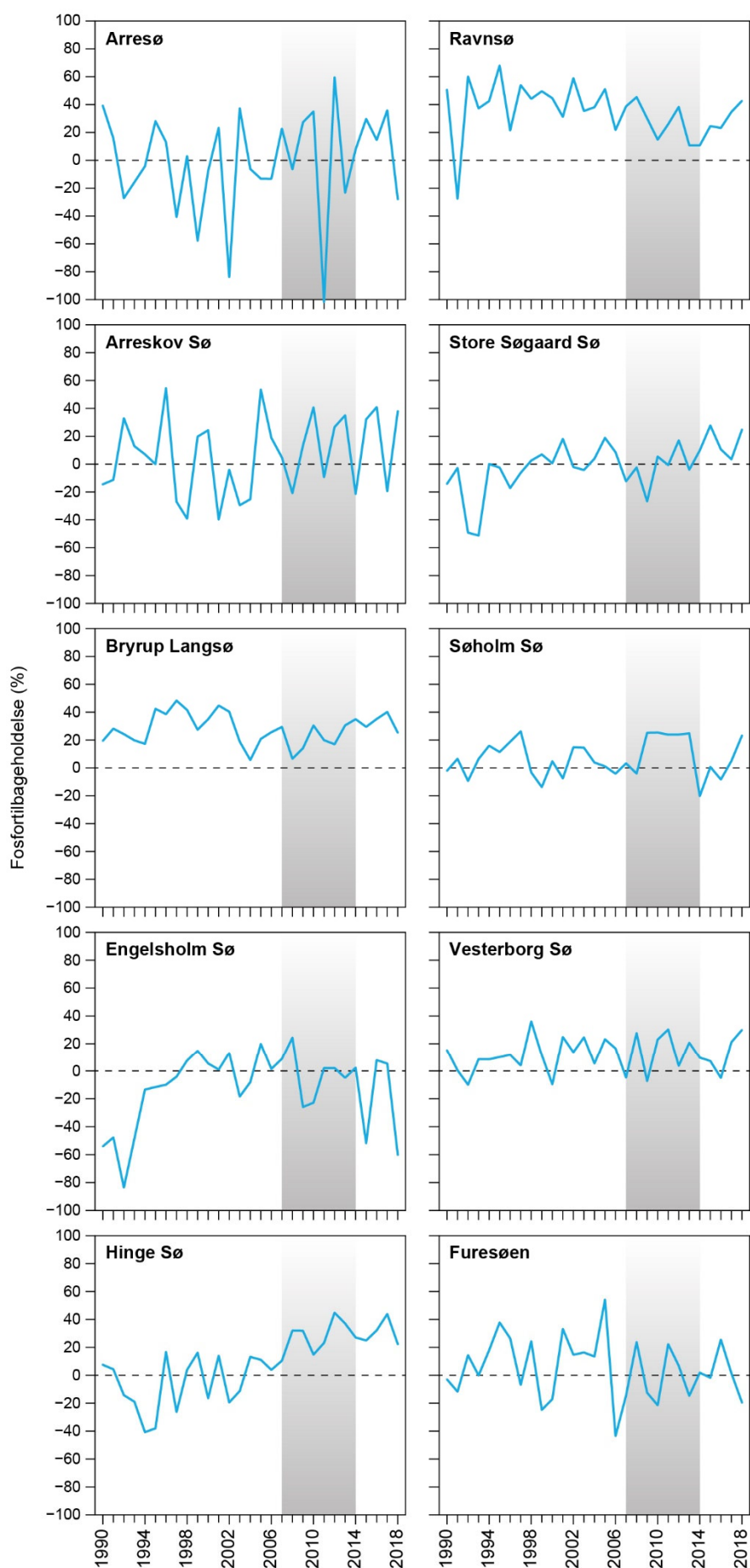
Tabel 2.18. Specifik (Total-P ret (mg P/m²/dag)) og relativ (Total-P ret (% af tilførsel)) tilbageholdelse af totalfosfor i hver af de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer fra 1990 til 2018 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 og 2015-2017 samt 2018. Årsværdier. * er 3-årsperiode i modsætning til de øvrige 5-årsperioder. Analyser i perioden 2007-2014 er under udredning for at være udført med forkert metode.

	Periode		Gns.	Min.	25 %	50 %	75 %	Maks.
Total-P ret (mg/m ² /dag)	1990	1994	0,131	-6,926	-0,994	0,029	1,348	4,516
	1995	1999	0,728	-2,642	-0,201	0,406	1,548	4,422
	2000	2004	0,562	-1,948	-0,221	0,346	1,175	3,559
	2005	2009	0,503	-1,948	-0,151	0,386	1,183	2,338
	2010	2014	0,809	-1,047	0,034	0,516	1,179	7,872
	2015	2017*	0,924	-1,131	0,076	0,412	1,689	4,578
	2018	2018	0,646	-0,845	-0,524	0,706	1,118	2,848
Total-P ret (% af tilførsel)	1990	1994	-1,239	-83,604	-14,371	0,258	15,898	60,170
	1995	1999	10,252	-57,635	-6,546	11,479	26,956	68,088
	2000	2004	7,633	-83,692	-7,570	9,389	23,880	58,974
	2005	2009	11,172	-43,547	-4,474	12,243	24,797	54,096
	2010	2014	11,917	-101,552	1,965	15,905	26,286	59,488
	2015	2017*	15,716	-51,698	2,458	22,198	30,941	43,882
	2018	2018	9,869	-60,087	-23,618	23,894	27,591	42,712

Tabel 2.19. Udviklingen i overvågningssøernes næringsstofbalancer (årsværdier) for totalfosfor i hele perioden 1990-2018 og i de seneste 14 år. -/+, -/++, -/+++, -/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Pi er koncentrationen i tilført vand i mg P/l. Pu er udløbskoncentrationen. Ptilm2 er fosfortilførslen i mg pr. m² pr. dag. Pretm2 er den arealspecifikke fosfortilbageholdelse (mg P / m² / dag), og Pret(%) er den relative tilbageholdelse (%). Analyser i perioden 2007-2014 er under udredning for at være udført med forkert metode.

	Pi		Pu		Ptilm2		Pretm2		Pret (%)	
	1990-2018	2005-2018	1990-2018	2005-2018	1990-2018	2005-2018	1990-2018	2005-2018	1990-2018	2005-2018
Arresø	---	0	----	----	---	--	0	0	0	0
Furesøen	----	0	----	++	----	0	0	0	0	0
Arreskov Sø	---	---	--	--	0	0	0	0	0	0
Bryrup Langsø	----	---	----	----	----	-	--	0	0	++
Engelsholm Sø	----	0	---	0	0	0	+	0	0	0
Hinge Sø	---	0	----	----	-	0	++++	+	++++	++
Ravn Sø	----	--	0	++	---	--	-	0	0	0
Store Søgaard Sø	----	0	----	0	-	0	+++	0	+++	0
Søholm Sø	--	0	----	-	0	0	0	0	0	0
Vesterborg Sø	--	0	---	0	0	0	0	0	0	0
Antal stigende	0	0	0	2	0	0	3	1	2	2
Antal faldende	10	3	9	5	6	3	2	0	0	0

Figur 2.29. Udvikling i den årlige tilbageholdelse af totalfosfor (% af tilførslen af totalfosfor) i hver af de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da analyser i denne periode er under udredning for at være udført med forkert metode, der fejlestimerer resultaterne. De anvendte koncentrationer er korrigerede med en foreløbig korrektionsfaktor.



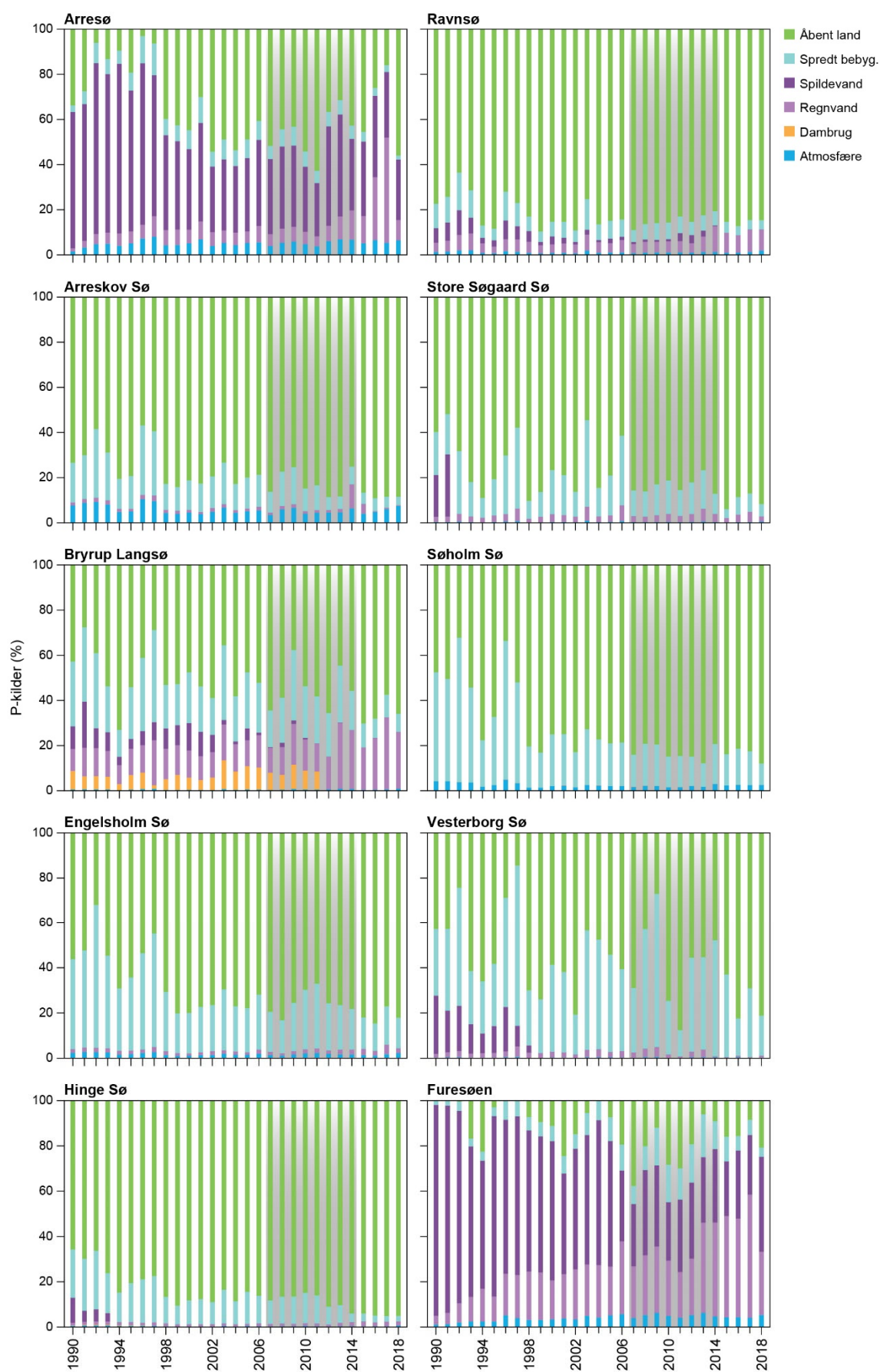
Fosforkilder

Ud af de 18 KU-søer er der sammenlignelige data for kildeopsplitning siden 1990 i 10 søer. Igennem overvågningsperioden er der sket betydelige ændringer i den relative fordeling af fosforkilderne til søerne (figur 2.30). 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 – specielt i de første 5-10 år af overvågningsperioden - eller afskåret helt (figur 2.30). Det reducerede spildevandsbidrag indebærer, at betydningen af bidraget fra det åbne land (baggrund + landbrugsbetinget) relativt bliver større og generelt er steget fra 51 % til 70 % i løbet af perioden 1990-1994 til 2015-2017, mens bidraget fra det åbne land i 2018 var på 75 % af den samlede fosforbelastning (tabel 2.20), 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, og fra 2013 til 2014 er den spildevandsbetingede tilførsel af fosfor til Ravn Sø minimeret grundet afskæring af rensningsanlæg i oplandet (figur 2.30).

Ud over tiltag til reduktion af belastningen i søernes oplande varierer de enkelte kilders bidrag til næringsstofbelastningen fra år til år afhængigt af blandt andet mængden af nedbør og dermed afstrømningens størrelse. Den gennemsnitlige andel af den spredte bebyggelses samlede fosforbelastning til de 10 KU-søer faldt fra 22 til 7 % i de enkelte perioder. Det er kun to søer (Hinge Sø og Bryrup Langsø) af de tilbageværende KU-søer med næringsstofmålinger, hvor dambrug har været placeret opstrøms. Driften opstrøms disse søer blev dog nedlagt i hhv. 1996 og 2012. Fra 2012 og frem er der ingen af søerne, der har registreret dambrugstilførsel (tabel 2.20).

Tabel 2.20. Den procentuelle årlige kildefordeling for fosfortilførslen i de 10 KU-søer med næringsstofbalancer fra 1990 til 2018 opdelt i seks perioder samt for året 2018. Fordelingen er beregnet som gennemsnit af de enkelte søers årlige procentfordeling. I tilfælde af negativt bidrag fra åbent land er værdien sat til nul. * er 3-årsperiode i modsætning til de øvrige 5-årsperioder. Analyser i perioden 2007-2014 er under udredning for at være udført med forkert metode.

Periode		Spildevand	Regnvand	Spredt bebyg.	Dambrug	Atmosfære	Åbent land
1990	1994	19,6	3,8	22,4	0,6	2,3	51,3
1995	1999	14,4	5,4	21,1	0,5	2,4	56,2
2000	2004	9,9	5,4	17,3	0,7	2,0	64,7
2005	2009	7,6	6,1	17,5	0,9	2,3	65,6
2010	2014	6,8	7,6	15,0	0,3	2,3	68,1
2015	2017*	6,0	12,0	9,7	0,0	2,2	70,1
2018	2018	6,9	7,9	7,0	0,0	2,9	75,4



Figur 2.30. Den procentuelle årlige kildefordeling for fosfortilførslen til de 10 KU-søer med næringsstoftilførselsmålinger i perioden 1990-2018. Analyser i perioden 2007-2014 er under udredning for at være udført med forkert metode.

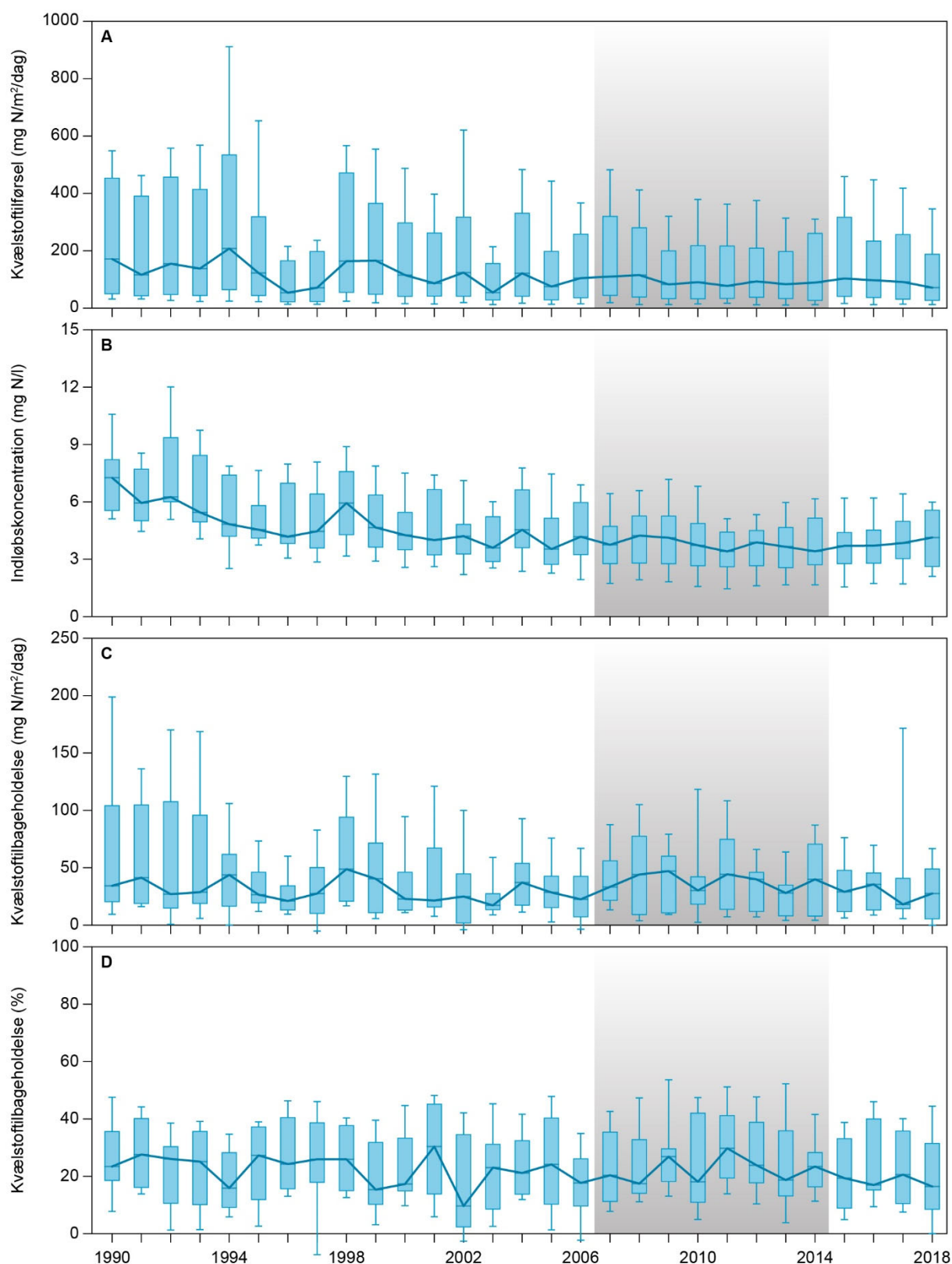
2.7.4 Kvælstofbalancer

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 siden 1990, som generelt har vist en faldende tendens (figur 2.31, 2.32).

Den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration i det vand, der strømmer til søerne, har været signifikant faldende i alle 10 KU-søer i perioden 1990 til 2018 (figur 2.31B, 2.33), og udviklingen er fortsat signifikant i seks af de 10 KU-søer set over de seneste 13 år af overvågningsperioden (tabel 2.24). Medianen for koncentrationen i det tilstrømmende vand til de 10 KU-søer er således faldet med ca. 38 % fra første halvdel af 1990'erne til perioden 2015-2017. Medianen var i 2018 (4,14 mg N / l) og er dermed steget i forhold til niveauet for perioden 2015-2017 (tabel 2.22). Generelt set er der sket en reduktion frem til perioden 2010-2014, mens der for perioden 2015-2017 og i 2018 er sket en mindre stigning i den vandføringsvægtede indløbskoncentration (tabel 2.22). I 2018 var medianen for den specifikke kvælstoftilførsel 71 mg N / m² / dag, hvilket er lavere end de forgående perioders median i overvågningsperioden. Otte ud af 10 KU-søer viser et signifikant fald i den specifikke kvælstoftilførsel set over hele overvågningsperioden, og tre af disse har også oplevet et signifikant fald i de seneste 13 år (tabel 2.24).

Tabel 2.21. Udviklingen i overvågningssøernes næringsstofbalancer (årsværdier) for totalfosfor i hele perioden 1990-2018 og i de seneste 14 år. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Pi er koncentrationen i tilført vand i mg P/l. Pu er udløbskoncentrationen. Ptilm2 er fosfortilførslen i mg pr. m² pr. dag. Pretm2 er den arealspecifikke fosfortilbageholdelse (mg P/ m² /dag), og Pret(%) er den relative tilbageholdelse (%). Analyser i perioden 2007-2014 er under udredning for at være udført med forkert metode.

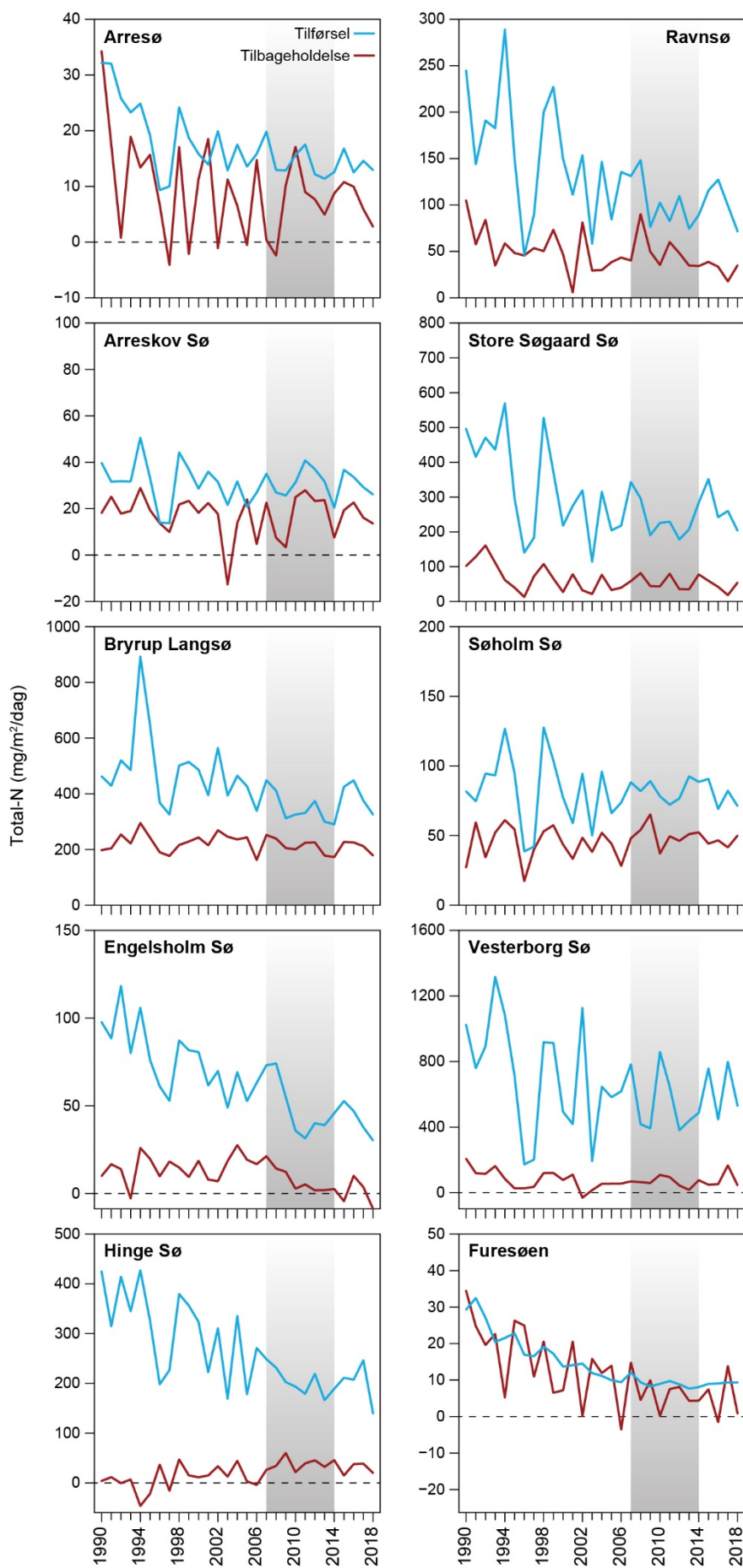
	Pi		Pu		Ptilm2		Pretm2		Pret (%)	
	1990- 2018	2005- 2018	1990- 2018	2005- 2018	1990- 2018	2005- 2018	1990- 2018	2005- 2018	1990- 2018	2005- 2018
Arresø	---	0	----	----	---	--	0	0	0	0
Furesøen	----	0	----	++	----	0	0	0	0	0
Arreskov Sø	---	---	--	--	0	0	0	0	0	0
Bryrup Langsø	----	---	----	----	----	-	--	0	0	++
Engelsholm Sø	----	0	---	0	0	0	+	0	0	0
Hinge Sø	---	0	----	----	-	0	++++	+	++++	++
Ravn Sø	----	--	0	++	---	--	-	0	0	0
Store Søgaard Sø	----	0	----	0	-	0	+++	0	+++	0
Søholm Sø	--	0	----	-	0	0	0	0	0	0
Vesterborg Sø	--	0	---	0	0	0	0	0	0	0
Antal stigende	0	0	0	2	0	0	3	1	2	2
Antal faldende	10	3	9	5	6	3	2	0	0	0



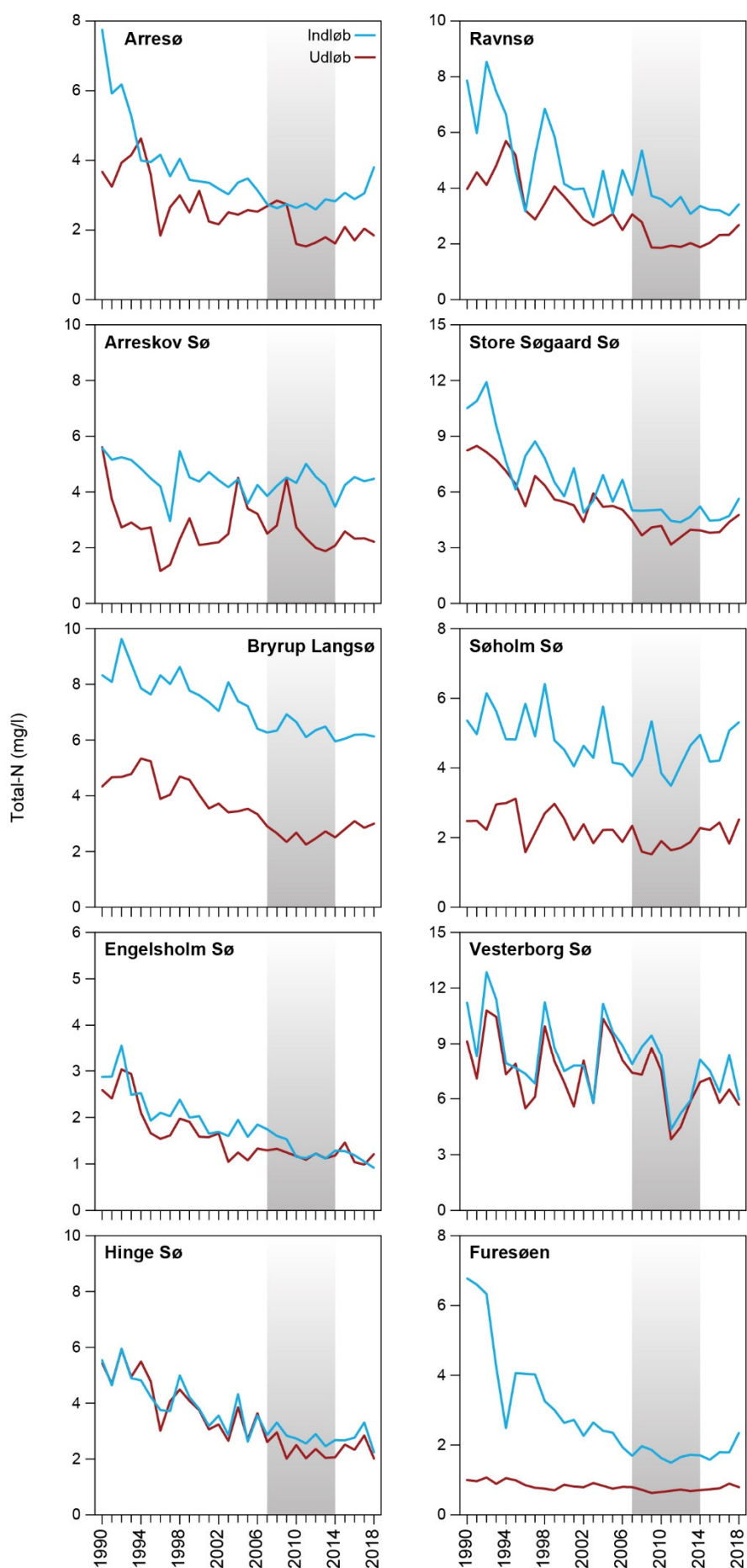
Figur 2.31. Kvælstofudviklingen i de 10 KU-søer med massebalancer i perioden 1990 til 2018.

A: Total kvælstoftilførsel (mg N/m²/dag), B: vandføringsvægtet koncentration af totalkvælstof (mg N/l) i tilført vand, C: kvælstoftilbageholdelsen (mg N/m²/dag), D: kvælstoftilbageholdelse i % af tilførslen. Bjælkerne viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da analyser i denne periode er under udredning for at være udført med forkert metode, der fejlestimulerer resultaterne. De anvendte koncentrationer er korrigerede med en foreløbig korrektionsfaktor.

Figur 2.32. Udvikling i årlig tilførsel og tilbageholdelse af totalkvælstof (Total-N) i hver af de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da analyser i denne periode er under udredning for at være udført med forkert metode, der fejlestimerer resultaterne. De anvendte koncentrationer er korrigerede med en foreløbig korrektionsfaktor.



Figur 2.33. Udvikling i den årlige vandføringsvægtede koncentrationen af totalkvælstof (Total-N) i tilført vand samt i udløb til hver af de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da analyser i denne periode er under udredning for at være udført med forkert metode, der fejlestimerer resultaterne. De anvendte koncentrationer er korrigerede med en foreløbig korrektionsfaktor.



Tabel 2.22. Totalkvælstofkoncentration (Total-N konc. (mg P/l)) samt kvælstoftilførslen (Total-N mængde (mg N/ m²/dag)) i det vand, der strømmer til (tilløb) og fra (udløb) de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer fra 1990 til 2018 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014, 2015-2017 samt 2018. Årsværdier. * er 3-årsperiode i modsætning til de øvrige 5-årsperioder. Analyser i perioden 2007-2014 er under udredning for at være udført med forkert metode.

	Periode		Gns.	Min.	25 %	50 %	75 %	Maks.
Tilførsel	1990	1994	6,60	2,48	4,87	6,06	8,00	12,86
Total-N konc	1995	1999	5,25	1,93	3,74	4,70	6,84	11,25
(mg N/l)	2000	2004	4,57	1,60	2,99	4,23	5,76	11,16
	2005	2009	4,31	1,53	2,68	3,81	5,35	9,65
	2010	2014	3,76	1,11	2,57	3,55	4,81	8,35
	2015	2017*	3,89	1,04	2,72	3,74	4,62	8,35
	2018	2018	4,03	0,92	2,30	4,14	5,48	6,13
Tilførsel	1990	1994	292,95	20,43	32,34	135,35	432,69	1317,09
Total-N mængde	1995	1999	201,44	9,35	28,70	99,28	310,94	918,03
(mg N/m ² /dag)	2000	2004	188,15	11,15	30,08	95,17	313,10	1125,78
	2005	2009	173,41	8,24	26,32	86,34	259,84	783,22
	2010	2014	156,82	7,66	31,38	85,63	222,64	858,79
	2015	2017*	188,89	8,96	31,43	95,42	253,26	799,04
	2018	2018	142,23	9,34	19,52	71,47	171,81	531,83
Udløb	1990	1994	4,53	0,89	2,70	4,24	5,55	10,80
Total-N konc	1995	1999	3,58	0,70	1,87	3,09	4,74	9,95
(mg N/l)	2000	2004	3,22	0,79	2,01	2,75	3,80	10,35
	2005	2009	3,09	0,63	1,73	2,69	3,47	9,44
	2010	2014	2,37	0,65	1,60	2,01	2,59	7,49
	2015	2017*	2,67	0,74	1,76	2,33	2,85	7,12
	2018	2018	2,67	0,79	1,53	2,37	2,84	5,68

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 2.31, 2.32), hvilket bl.a. er nedbørsafhængigt.

Den specifikke kvælstoftilbageholdelse er gennemsnitligt set ca. 27 % lavere i de senere år (2015-2017) sammenlignet med niveauet i den første del af overvågningsperioden (1990-1994) (tabel 2.23). Tilbageholdelsen i 2018 ligger på niveau med den foregående periode. I alt fem af de 10 KU-søer viser et signifikant fald i specifik kvælstoftilbageholdelse (tabel 2.24) set over hele overvågningsperioden, mens dette er tilfældet i én af disse fem søer set over de seneste 13 år. Den relative kvælstoftilbageholdelse er som gennemsnit for alle 10 KU-søer i overvågningsperioden præget af stor variation hen over tid, og der ses ingen klar generel trend (figur 2.31D). I 2018 ligger den gennemsnitlige relative kvælstoftilbageholdelse lavere end i alle de foregående perioder (tabel 2.23). Tre søer har signifikant forøget relativ kvælstoftilbageholdelse i forhold til tilførslerne set over hele overvågningsperioden, mens ingen søer har signifikant relativ kvælstofforøgelse set over de seneste 13 år (tabel 2.24).

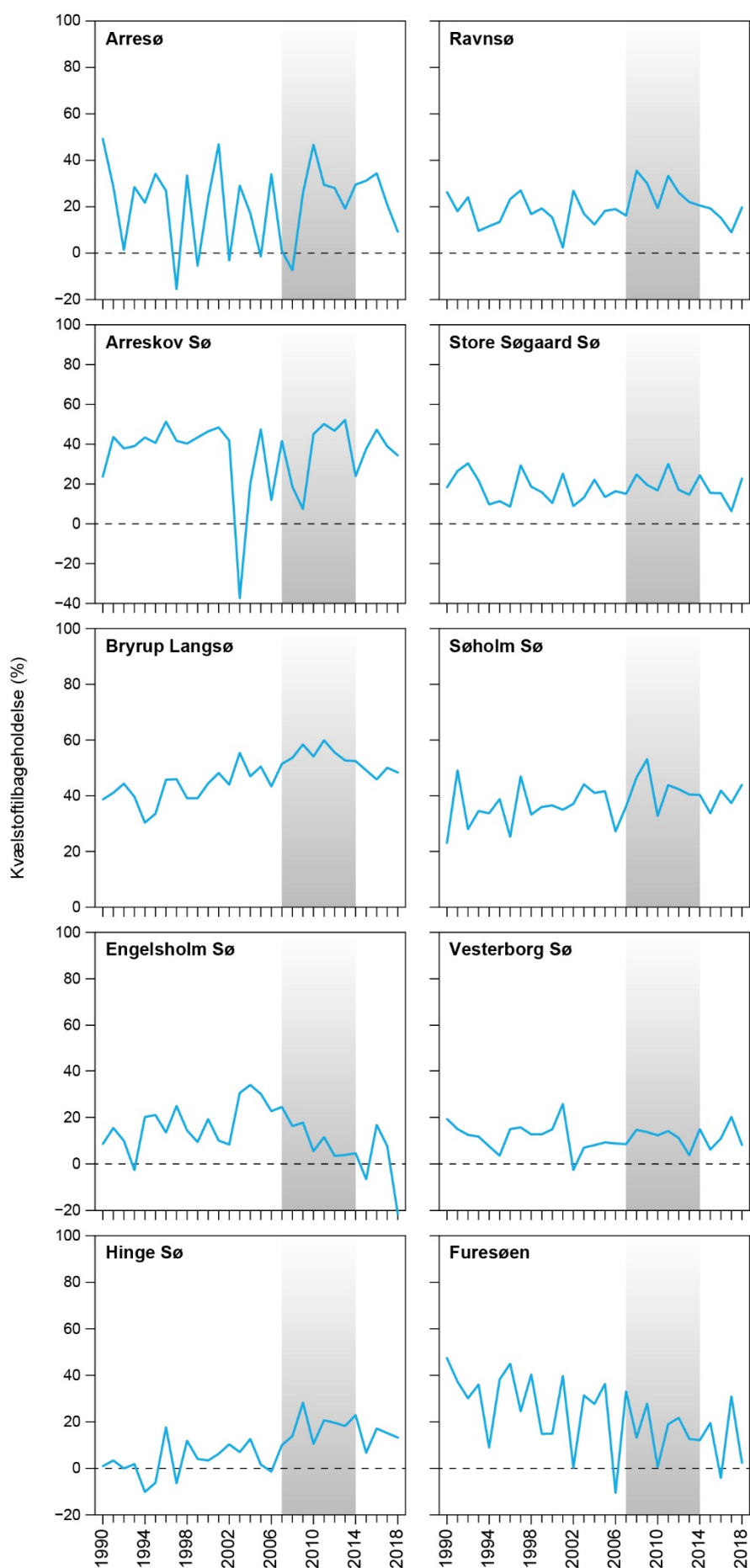
Tabel 2.23. Specifik (Total-N ret. (mg N/m²/dag)) og relativ (Total-N ret. (% af tilførsel)) tilbageholdelse af totalkvælstof i de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-1999, 2000-2004, 2005-2009, 2010-2014 og 2015-2017 samt 2018. Årsværdier. * er 3-årsperiode i modsætning til de øvrige 5-årsperioder. Analyser i perioden 2007-2014 er under udredning for at være udført med forkert metode.

	Periode		Gns.	Min.	25 %	50 %	75 %	Maks.
Total-N ret (mg/m ² /dag)	1990	1994	67	-46	17	34	103	295
	1995	1999	50	-22	14	27	54	244
	2000	2004	49	-30	12	22	48	269
	2005	2009	50	-4	11	34	58	252
	2010	2014	49	0	8	35	50	226
	2015	2017*	49	-4	10	28	45	227
	2018	2018	39	-9	2	28	48	178
Total-N ret (% af tilførsel)	1990	1994	23	-10	10	23	35	49
	1995	1999	24	-15	13	24	38	51
	2000	2004	23	-37	10	21	37	55
	2005	2009	23	-10	13	19	35	58
	2010	2014	26	1	13	22	40	60
	2015	2017*	23	-7	10	19	36	50
	2018	2018	18	-21	5	16	29	48

Tabel 2.24. Udviklingen i overvågningssøernes næringsstofbalancer (årsværdier) for totalkvælstof i hele perioden 1990-2018 og i de seneste 14 år. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Ni er koncentrationen i tilført vand i mg N/ l. Nu er udløbskoncentrationen. Ntilm2 er kvælstoftilførslen pr. m²/dag. Nretm2 er den arealspecifikke kvælstoftilbageholdelse (mg N/ m²/dag) og Nret(%) er den relative tilbageholdelse (%). Analyser i perioden 2007-2014 er under udredning for at være udført med forkert metode.

	Ni		Nu		Ntilm2		Nretm2		Nret(%)	
	1990-2018	2005-2018	1990-2018	2005-2018	1990-2018	2005-2018	1990-2018	2005-2018	1990-2018	2005-2018
Arresø	----	0	----	---	----	0	-	0	0	0
Furesøen	----	0	----	0	----	-	----	0	---	0
Arreskov Sø	--	0	0	---	0	0	0	0	0	0
Bryrup Langsø	----	---	----	0	---	0	0	0	++++	0
Engelsholm Sø	----	----	----	0	----	---	---	----	-	----
Hinge Sø	----	--	----	--	----	--	+++	0	++++	0
Ravn Sø	----	--	----	-	----	0	--	0	0	0
Store Søgaard Sø	----	--	----	0	---	0	---	0	0	0
Søholm Sø	--	0	--	0	0	0	0	0	+	0
Vesterborg Sø	---	--	--	---	-	0	0	0	0	0
Antal stigende	0	0	0	0	0	0	1	0	3	0
Antal faldende	10	6	9	5	8	3	5	1	2	1

Figur 2.34. Udvikling i den årlige tilbageholdelse af totalkvælstof (%) i hver af de 10 KU-søer, hvor der er beregnet næringsstofbalancer. Perioden 2007 til 2014 er markeret med grå baggrund, da analyser i denne periode er under udredning for at være udført med forkert metode, der fejlesterimerer resultaterne. De anvendte koncentrationer er korrigerede med en foreløbig korrektionsfaktor.

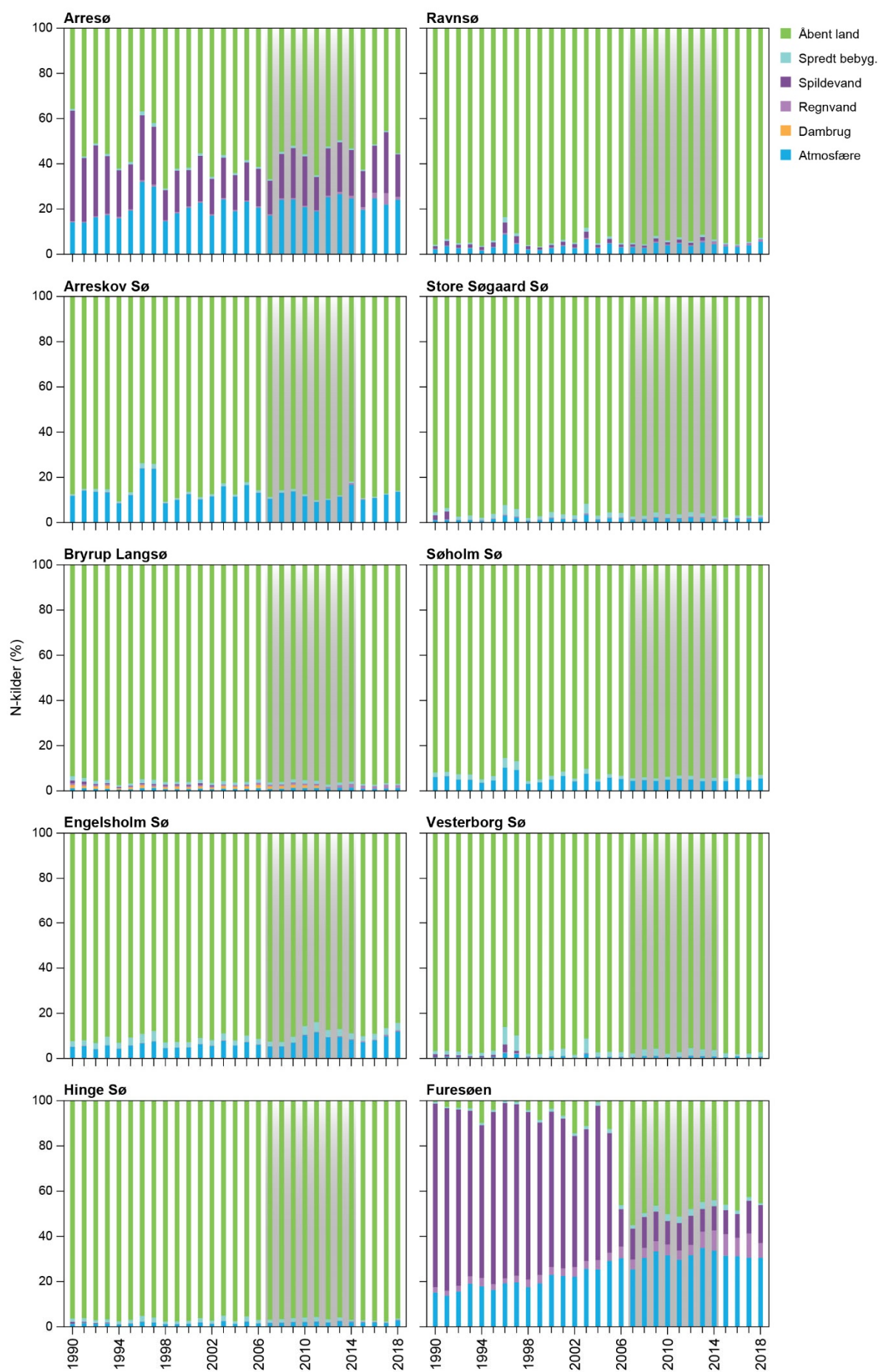


Kvælstofkilder

Kvælstofbelastningen fra det åbne land (landbrugs- og baggrundsbidrag) udgjorde i 2018 ca. 84 % af den totale tilførsel (tabel 2.25) i de 10 KU-søer med kildeopsplitning. Trods tæt på en halvering af den samlede tilførsel har andelen fra det åbne land været tilnærmelsesvis konstant siden 1990 (figur 2.35, tabel 2.25). Det atmosfæriske bidrag udgør den næststørste kilde siden 2005 (sammenligning af de opdelte tre- og femårsperioder i tabel 2.25) med en gennemsnitlig andel på ca. 9 %. Spildevand, regnvandsbetingede tilledninger og spredt bebyggelse har samlet set siden 2005 gennemsnitligt været mindre væsentlige kilder til kvælstoftilførslen til søerne. Det kan noteres, at kvælstofbidraget fra spildevand er faldet betragteligt i de syv spildevandsbelastede søer, og at Hinge Sø, Store Søgård Sø og Vesterborg Sø i en længere periode ikke har modtaget spildevand (figur 2.35). Endvidere er den spildevandsbetingede tilførsel af kvælstof til Ravn Sø faldet kraftigt fra 2013 til 2014. Dermed er den gennemsnitlige spildvandsbelastning for de 10 KU-søer reduceret fra ca. 11 til ca. 4 % i overvågningsperioden siden 1990 (tabel 2.25).

Tabel 2.25. Den procentuelle årlige kildefordeling for kvælstoftilførslen i de 10 KU-søer med næringsstofbalancer fra 1990 til 2018, opdelt i seks perioder samt for året 2018. Fordelingen er beregnet som gennemsnit af årsværdier for de enkelte søers procentfordeling. * er 3-årsperiode i modsætning til de øvrige 5-årsperioder. Analyser i perioden 2007-2014 er under udredning for at være udført med forkert metode.

Periode		Spildevand	Regnvand	Spredt bebyg.	Dambrug	Atmosfære	Åbent land
1990	1994	11,1	0,5	1,4	0,1	6,1	80,8
1995	1999	9,9	0,6	2,0	0,1	7,8	79,6
2000	2004	8,3	0,6	1,7	0,1	7,7	81,6
2005	2009	4,1	0,7	1,5	0,1	8,5	85,0
2010	2014	3,2	0,9	1,7	0,0	9,2	84,9
2015	2017*	3,3	1,6	1,1	0,0	8,6	85,4
2018		3,6	1,1	1,1	0,0	9,8	84,4



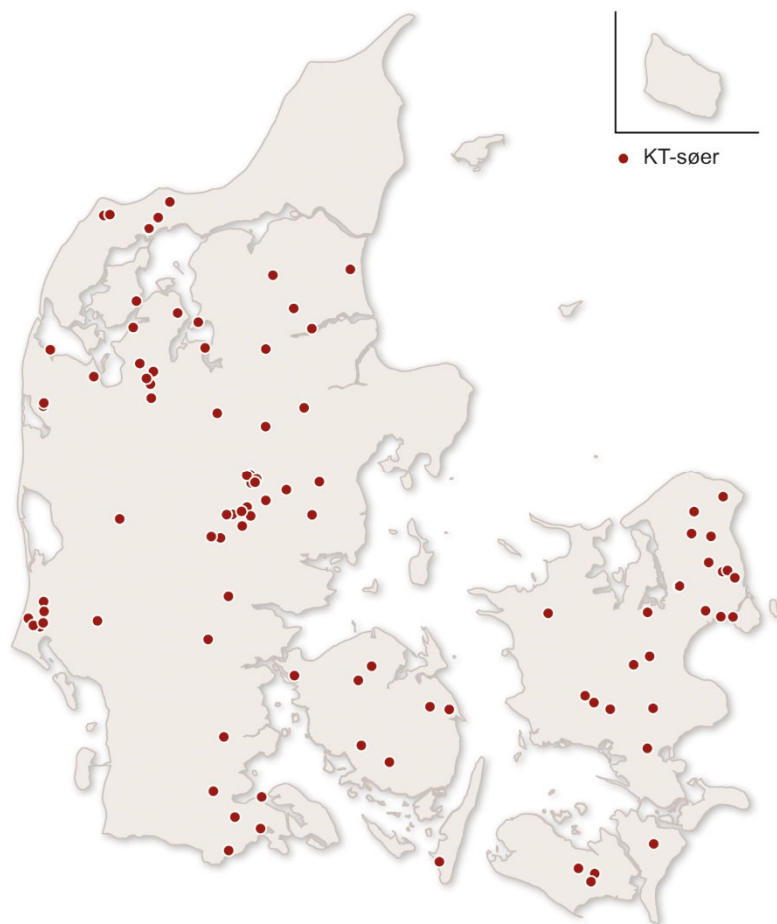
Figur 2.35. Den procentuelle årlige kildefordeling for kvælstoftilførslen til de 10 KU-søer med næringsstofmålinger i perioden 1990-2018. Analyser i perioden 2007-2014 er under udredning for at være udført med forkert metode.

3. Kontrolovervågning af søernes tilstand

Overvågning af de danske søers generelle økologiske og kemiske tilstand omfatter i alt 180 søer (KT-søer) >5 ha over en seksårig periode. I 2016 påbegyndtes en ny seksårig overvågningsturnus, hvoraf 93 søer nu er undersøgt i perioden 2016-2018. De sidstnævnte 93 søers placering fremgår af figur 3.1. Det er primært data fra disse søer, som præsenteres i dette kapitel.

Præsentationen af data omfatter undersøgelser af vandkemi, vandplanter og fisk. Data for koncentrationer af totalkvælstof og totalfosfor i 2016 er fejlbehæftede (Larsen m.fl. 2018) og derfor udeladt. Ud over beskrivelsen af resultater opnået i 2016-2018 gives der et overblik over udviklingen i en del af de 93 søer, som er undersøgt tidligere. Denne udvikling omfatter primært perioden tilbage til 2004, men for en del KT-søers vedkommende findes også data længere tilbage, og for disse er der lavet en selvstændig beskrivelse og analyse.

Figur 3.1. Geografisk placering af de 93 KT-søer, der indgik i overvågningen i 2016-2018.



3.1 Generel tilstand

I tabel 3.1 er der givet en samlet oversigt over morfometriske parametre, farvetal, sigtdybde og klorofyl *a* for de 93 undersøgte KT-søer. De 93 søer omfatter syv forskellige søtyper, hvoraf type 9 og 10 er de to hyppigst repræsenterede. Søernes areal spænder fra en nedre grænse på 5 ha op til 861 ha. Størstedelen er lavvandede søer (median for middeldybde er 1,7 meter og gennemsnittet 2,5 meter), men også dybe søer med en maksimaldybde på op til 30,9

meter forekommer. Flertallet af søerne har et forholdsvis højt klorofylindhold (median af sommergennemsnit er 41 µg/L) og en relativt lav sigtdybde (median af sommergennemsnit er 1,14 m).

Som gennemsnit har undervandsplanterne en dækningsgrad på 19,7 % og et plantefyldt volumen på 8,4 % (tabel 3.1). Halvdelen af søerne har en dækningsgrad på 11,5 %, 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 %). Som gennemsnit vokser undervandsplanterne ud til 2,3 meters dybde.

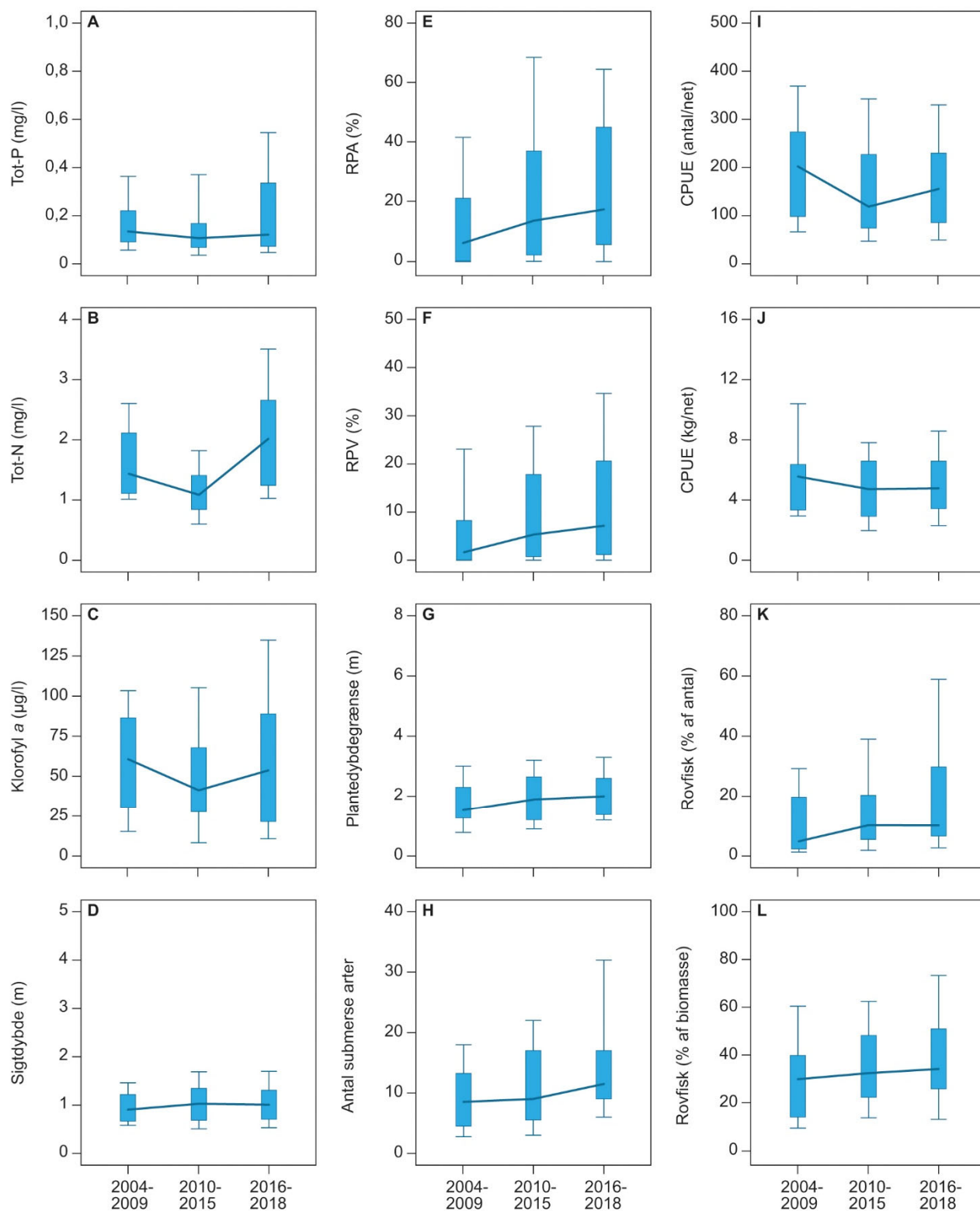
Den gennemsnitlige fangst af fisk i de biologiske oversigtsgarn er hhv. 143 stk. pr. garn og 4 kg pr. garn (tabel 3.1). Dette svarer stort set til medianværdien, men tallene dækker over store variationer blandt de 93 søer. I antal spænder fangsten fra 0,17 til 430 fisk pr. garn og i vægt mellem 0,01 og 16,1 kg pr. garn.

Tabel 3.1. Oversigt over morfometriske samt vandkemiske nøgleparametre (sommer-værdier) for de 93 KT-søer, som er undersøgt i 2016-2018. Resultater for totalfosfor og totalkvælstof fra 2016 er udeladt (se tekst). De 93 søer omfatter syv søtyper jf. typologien anvendt i forbindelse med vandrammedirektivet og udarbejdelsen af vandplaner (søtype 1: 1 sø, søtype 5: 5 søer, søtype 6: 1 sø, søtype 9: 45 søer, søtype 10: 24 søer, søtype 11: 10 søer og søtype 13: 7 søer). Søer uden undervandsplanter indgår ikke i data vedr. dybdegrænse og antal arter.

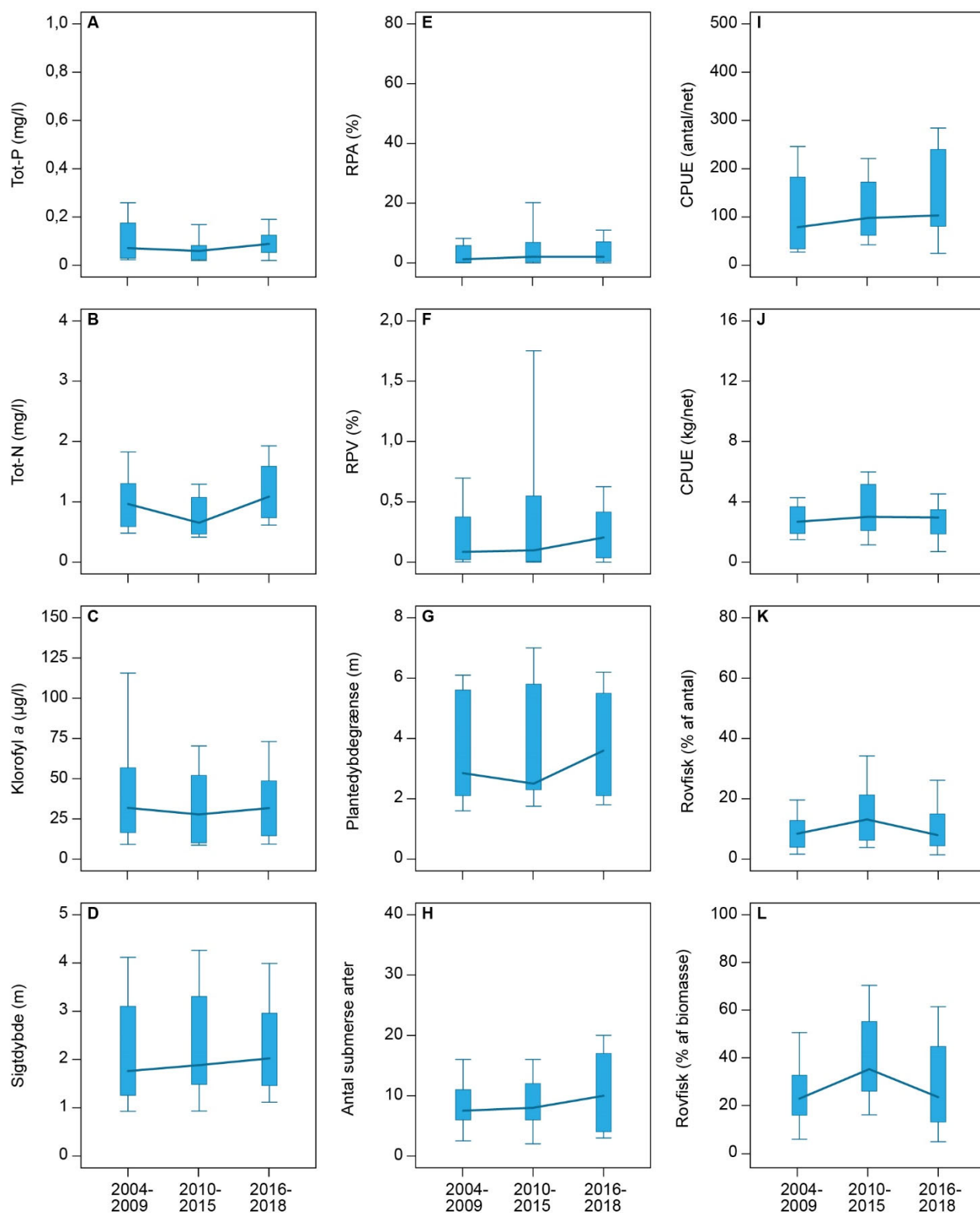
	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Søareal (ha)	93,7	22,3	4,9	860,7	93
Middeldybde (m)	2,5	1,7	0,3	13,7	93
Maksimumsdybde (m)	5,5	3,5	0,7	30,9	93
Totalfosfor (mg/L)	0,16	0,099	0,015	0,81	57
Totalkvælstof (mg/L)	1,71	1,57	0,58	5,33	57
Sigtdybde (m)	1,36	1,14	0,24	4,44	92
Klorofyl a (µg/L)	57	41	5	389	92
Farvetal (mg Pt/L)	34	25	4	188	92
Undervandsplanter, dækningsgrad (%)	19,7	11,5	0,0	86,9	92
Undervandsplanter, plantefyldt vol. (%)	8,4	2,2	0,0	60,2	91
Undervandsplanter, dybdegrænse (m)	2,3	2,0	0,7	7,5	83
Undervandsplanter, antal arter	12	10	1	39	83
Fisk, CPUE-antal (antal/net)	143	111	0,17	430	92
Fisk, CPUE-vægt (kg/net)	4,03	3,44	0,01	16,11	92

3.2 Udviklingstendenser

Langt størsteparten af de 93 KT-søer er nu undersøgt gennem tre perioder (2004-2009, 2010-2015 og 2016-2018), og det giver mulighed for at vurdere eventuelle udviklingstendenser blandt disse søer. En oversigt over værdierne for 12 nøglevariable, der beskriver vandkemiske og biologiske data for de to søtyper med flest data, henholdsvis de lavvandede søer (søtype 9) og de dybe søer (søtype 10), er vist i figur 3.2 og 3.3. Det skal understreges, at denne analyse ikke giver et billede af de danske søer som helhed, men kun omfatter dem, der er undersøgt i alle tre perioder.



Figur 3.2.Udviklingstendenser for totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl og sigtdybde (sommer gennemsnit) samt forhold, der beskriver undervandsplanter og fisk, fra perioden 2004-2009 til 2010-2015 og til 2016-2018 i de KT-søer, som tilhører søtype 9 (fersk, lavvandet, alkalisk, ikke farvet). RPA er undervandsplanternes relative dækningsgrad som % af hele søarealet, mens RPV er den gennemsnitlige del af vandmasserne, der er fyldt med undervandsplanter. CPUE er den relative fangst af fisk i biologiske oversigtsgarn målt som antal eller vægt. Næringsstofdata omfatter 27 søer, klorofyl- og sigtdybde data 44 søer, RPA og RPV 45 søer, dybdegrænse og artsantal 36 søer og fisk 44 søer. Boksplottene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier.



Figur 3.3.Udviklingstendenser for totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl og sigtdybde (sommergennemsnit) samt forhold, der beskriver undervandsplanter og fisk, fra perioden 2004-2009 til 2010-2015 og til 2016-2018 i de KT-søer, som tilhører søtype 10 (dyb, fersk, alkalisk, ikke farvet). RPA er undervandsplanternes relative dækningsgrad som % af hele søarealet, mens RPV er den gennemsnitlige del af vandmasserne, der er fyldt med undervandsplanter. CPUE er den relative fangst af fisk i biologiske oversigtsgarn målt som antal eller vægt. Næringsstofdata omfatter 15 søer, klorofyl- og sigtdybde data 24 søer, RPA og RPV 23 søer, dybdegrænse og artsantal 19 søer og fisk 21 søer. Boksplottene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier.

For søtype 9-søerne er der set over hele perioden generelt tale om små ændringer, og de tre perioder omfatter store variationer søerne imellem. For undervandsplanterne synes der at have været en tendens til øget plantedækket areal, øget plantefyldt volumen, øget dybdegrænse og et øget antal arter. Biomassen af fisk ser ud til at falde en smule, samtidig med at andelen af rovfisk er stigende i nogle af søerne, men generelt er der tale om usikre tendenser (se afsnit 3.2.2 for flere resultater vedr. fisk). For søtype 10-søerne er der tilsvarende kun tale om små ændringer, og også her er der store variationer imellem de undersøgte søer (se afsnit 3.3).

3.3 Udvikling i KT-søer med lange tidsserier

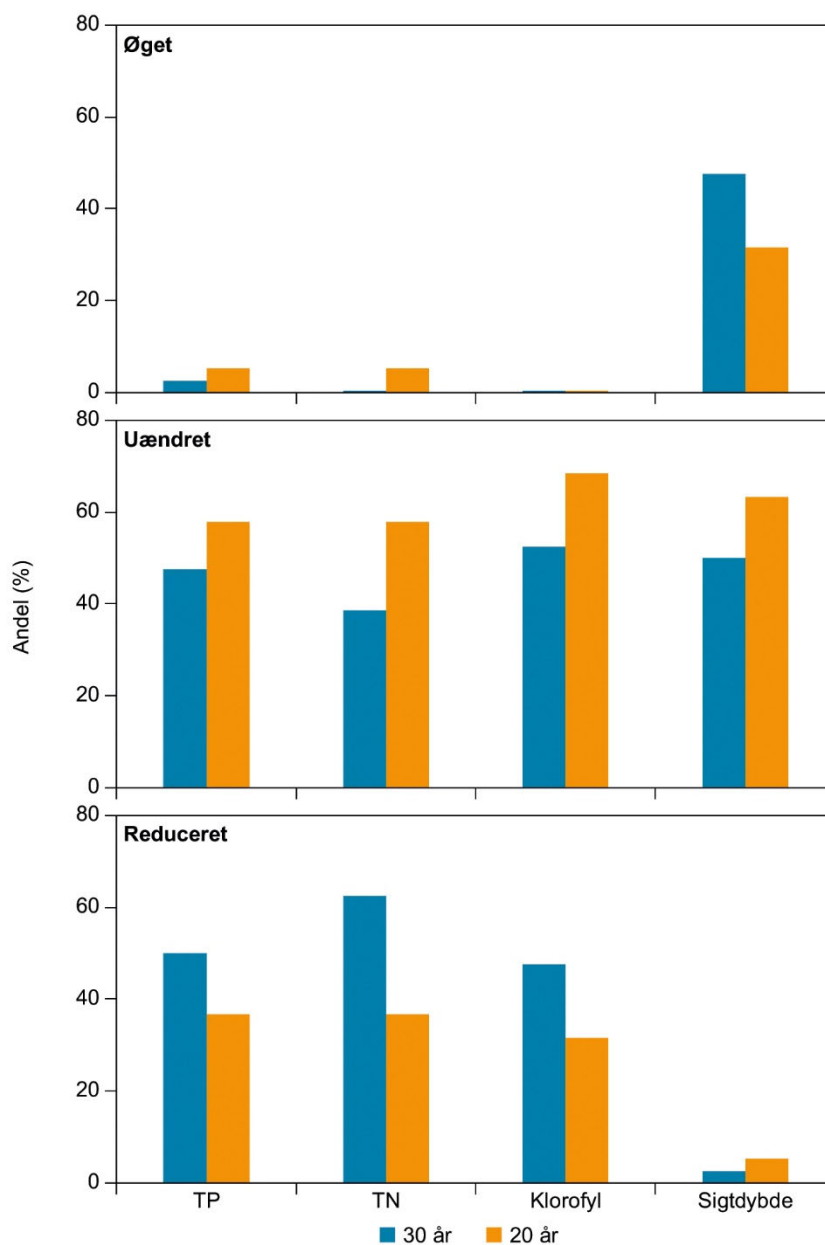
3.3.1 Vandkemi

I det foregående afsnit blev en række nøgleparametre, som var undersøgt i de tre perioder 2004-2009, 2010-2015 og 2016-2018, sammenlignet for at se, om der har været en udvikling over disse perioder, men en del af KT-søerne, som er undersøgt i årene 2016-2018, er også undersøgt før 2004. For mange af disse søer er der efterhånden opnået så lange tidsserier, at det er muligt at vurdere og teste udviklingstendenser for de enkelte søer. I alt er der 40 KT-søer, som er undersøgt mindst syv år igennem de sidste 30 år (siden 1989), hvoraf 24 er undersøgt i mindst 10 år og enkelte af søerne i over 20 år (tabel 3.2 og 3.3). Hvis der kun ses på udviklingen de sidste 20 år (siden 1999), er der 19 søer, som er undersøgt 7-13 år, og som kan testes individuelt. Hovedparten af søerne med lange tidsserier udgøres af søtype 9- og søtype 10-søer, der udgør henholdsvis 36 søer ud af de 40 søer og 18 søer ud af de 19 søer.

I omkring halvdelen af KT-søerne med lange tidsserier ses statistisk signifikante ændringer, hvis udviklingen betragtes over de seneste 30 år. I de fleste tilfælde er der tale om ændringer i ”den rigtige retning”, dvs. næringsstof- og klorofylindhold er reduceret, mens sigtddybden er øget (tabel 3.2 og 3.3). Indholdet af totalfosfor er således reduceret i 19 søer og kun øget i én sø, mens indholdet totalkvælstof er reduceret i 25, men ikke øget i nogen. I overensstemmelse hermed er klorofylindholdet reduceret i 19 søer og ikke øget i nogen, mens sigtddybden er øget i 19 søer og mindsket i én sø.

Hvis der kun ses på udviklingen i de seneste 20 år, er der flere søer, hvor næringsstof- og klorofylindhold og sigtddybden er uændret (tabel 3.2, tabel 3.3 og figur 3.4). Således er næringsstofindholdet ikke ændret signifikant i 11 af de 19 søer, mens klorofylindhold er uændret i 13 søer og sigtddybden i 12 af de 19 søer. Dette peger på, som vist tidligere og også for KU-søerne, at de største ændringer i søernes tilstand siden overvågningsperiodens start skete i løbet af 1990'erne. De færre år, som indgår i testen, når der kan ses 20 år tilbage, påvirker også muligheden for at påvise statistisk signifikante ændringer. I de fleste af de søer, hvor der er sker signifikante ændringer i de seneste 20 år, er udviklingen gået i retning af mindsket næringsstofindhold, mindsket indhold af klorofyl og øget sigtddybe.

Figur 3.4. Andelen af KT-søer med mindst syv års data, hvor indholdet af totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl *a* samt sigtdybde statistisk set er uændret, øget eller reduceret. Der er vist data, som omfatter henholdsvis de seneste 30 år (i alt 40 søer) og de seneste 20 år (i alt 19 søer).



Tabel 3.2. Udviklingen (sommergennemsnit) i indholdet af totalfosfor og totalkvælstof i perioden 1989-2018 samt for perioden 1999-2018 i de KT-søer, som er undersøgt i mindst syv år (dog kun seks års data for en enkelt sø pga. usikkerhed om korrekte analysemetoder). -/+, --/+, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Type angiver VRD-søtype anvendt i vandområdeplanerne (tabel 1.1). Antal år angiver, hvor mange år der er data fra.

Sønr.	Sønavn	Type	Antal år 1989- 2018	Total- fosfor	Total- kvælstof	Antal år 1999- 2018	Total- fosfor	Total- kvælstof
1200003	LEGIND SØ	9	7	0	-			
1600006	KILEN	11	13	---	--			
1600037	SKØR SØ	1	8	0	0			
1800014	KLEJTRUP SØ	9	14	0	--	8	0	0
2000026	STUBBERGÅRD SØ	9	8	0	0			
2100014	STIGSHOLM SØ	9	8	0	0			
2100016	LYNGSØ	9	7	--	-			
2100264	KARL SØ	9	8	0	--			
2100276	TORUP SØ	10	17	0	---	10	0	0
2100282	HALD SØ	10	22	----	0	12	-	+
2100293	ØRNSØ	10	18	----	----	8	-	--
2500020	HAMPEN SØ	10	14	0	--			
2500039	RØRBÆK SØ	10	16-17	----	----	7-8	0	0
2500076	ENSØ	9	9	0	0			
3000088	ÅL PRÆSTESØ	13	9	0	--	8	0	--
3200005	FÅRUP SØ	10	19	--	----	9	0	---
3400010	SKÆRSØ	9	16	-	-	8	-	0
3700017	STEVNING DAM	9	13	----	--			
4100008	VARNÆS SKOV SØ	11	7	0	0			
4100056	KRUSÅ MØLLESØ	9	7-8	0	0			
4200001	HOSTRUP SØ	9	12	0	0	9	0	0
4400005	HJULBY SØ	9	9	-	--			
4400009	VOMME SØ	10	10	0	0			
4500006	DALLUND SØ	9	12	--	0	7	0	0
4500007	LANGESØ	10	16	----	----	7	--	--
4500008	NØRRESØ, FYN	9	15	+	-	8	+++	0
4600005	SØBO SØ, FYN	10	14	0	-	8	0	0
4800003	GURRE SØ	9	7	0	0			
5000001	BAGSVÆRD SØ	9	23	----	----	13	---	-
5000026	LYNGBY SØ	9	10	--	0	9	0	0
5200005	ØSTRUP-GUNDSØMAGLE SØ	9	23	----	----	13	----	---
5300036	GENTOFTE SØ	9	8	---	0			
5300041	VALLENSBÆK SØ	9	8	0	--			
5500001	SKARRESØ	9	6-8	0	0			
5700020	TYSTRUP SØ	10	19	----	----	9	0	--
5800004	KIMMERSLEV SØ	10	7	--	--			
6100001	VIRKET SØ	10	10	---	--			
6400001	HEJREDE SØ	9	18	----	-	9	---	0
6400003	RØGBØLLESØ	9	15	----	0			
6400004	MARIBO SØNDERSØ	9	20	0	--	10	0	0
I alt +/++/+++ /++++				1	0		1	1
I alt -/- /--- /----				20	25		7	7

Tabel 3.3. Udviklingen (sommergenomsnit) i indholdet af klorofyl a og sigtgybde i perioden 1989-2018 i de KT-søer, som er undersøgt i mindst syv år (dog kun seks års data for en enkelt sø pga. usikkerhed om korrekte analysemetoder). -/+, --/++, ---/+++, ---/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Type angiver VRD-søtype anvendt i vandområdeplanerne (tabel 1.1). Antal år angiver, hvor mange år der er data fra.

Sønr,	Sønavn	Type	Antal år 1989-2018	Klorofyl	Sigtgybde	Antal år 1999-2018	Klorofyl	Sigtgybde
1200003	LEGIND SØ	9	8	0	0			
1600006	KILEN	11	14	--	++++			
1600037	SKØR SØ	1	8	0	0			
1800014	KLEJTRUP SØ	9	14	0	0	8	0	---
2000026	STUBBERGÅRD SØ	9	6-8	0	0			
2100014	STIGSHOLM SØ	9	9-11	0	0			
2100016	LYNGSØ	9	8	0	0			
2100264	KARL SØ	9	8	0	0			
2100276	TORUP SØ	10	17-18	0	0	11	0	0
2100282	HALD SØ	10	22	----	++	12	-	++
2100293	ØRNSØ	10	18	--	0	8	0	++
2500020	HAMPEN SØ	10	15	---	0			
2500039	RØRBÆK SØ	10	18	----	++	9	0	0
2500076	ENSØ	9	9	0	0			
3000088	ÅL PRÆSTESØ	13	9-10	---	++	7-8	---	0
3200005	FÅRUP SØ	10	19	---	++++	9	0	0
3400010	SKÆRSØ	9	15-16	0	0	7-8	--	+
3700017	STEVNING DAM	9	13	----	+++			
4100008	VARNÆS SKOVSØ	11	8	0	0			
4100056	KRUSÅ MØLLESØ	9	8-9	-	++			
4200001	HOSTRUP SØ	9	12	0	0	9	0	0
4400005	HJULBY SØ	9	11	---	+			
4400009	VOMME SØ	10	11	0	+			
4500006	DALLUND SØ	9	15	-	+	8	0	0
4500007	LANGESØ	10	17	0	++++	8	0	0
4500008	NØRRESØ, FYN	9	18	0	+++	8	0	0
4600005	SØBO SØ, FYN	10	18	0	+++	8	0	0
4800003	GURRE SØ	9	8	0	0			
5000001	BAGSVÆRD SØ	9	23	---	+++	13	-	++
5000026	LYNGBY SØ	9	10	0	0	9	0	0
5200005	ØSTRUP-GUNDSØMAGLE SØ	9	23	----	++++	13	---	++
5300036	GENTOFTE SØ	9	8	0	0			
5300041	VALLENSBÆK SØ	9	8	-	0			
5500001	SKARRESØ	9	7-9	0	-			
5700020	TYSTRUP SØ	10	20	0	0	10	---	0
5800004	KIMMERSLEV SØ	10	8	--	+++			
6100001	VIRKET SØ	10	10	-	0			
6400001	HEJREDE SØ	9	18	----	++++	9	0	+
6400003	RØGBØLLESØ	9	16	-	+			
6400004	MARIBO SØNDERSØ	9	21	----	++++	11	0	0
I alt +/+/+/+/++++				0	19		0	6
I alt -/-/-/-----				19	1		6	1

3.3.2 Fisk

For nogle af KT søerne er der nu data fra fiskeundersøgelser fra en længere årrække. Ud over de overordnede resultater i figur 3.2 og 3.3 suppleres der herunder med en række eksempler på udvikling, vist i figur 3.5. Som for KU-søerne (afsnit 2) er fiskemetoden ændret i 2004.

I den meget næringsrige Gundsømagle sø er der sket et meget markant fald i biomassen af fisk i takt med et markant fald i totalfosfor og klorofyl, mens der er en stigende tendens i antallet af fisk. Dermed er gennemsnitsstørrelsen af fisk mindsket markant.

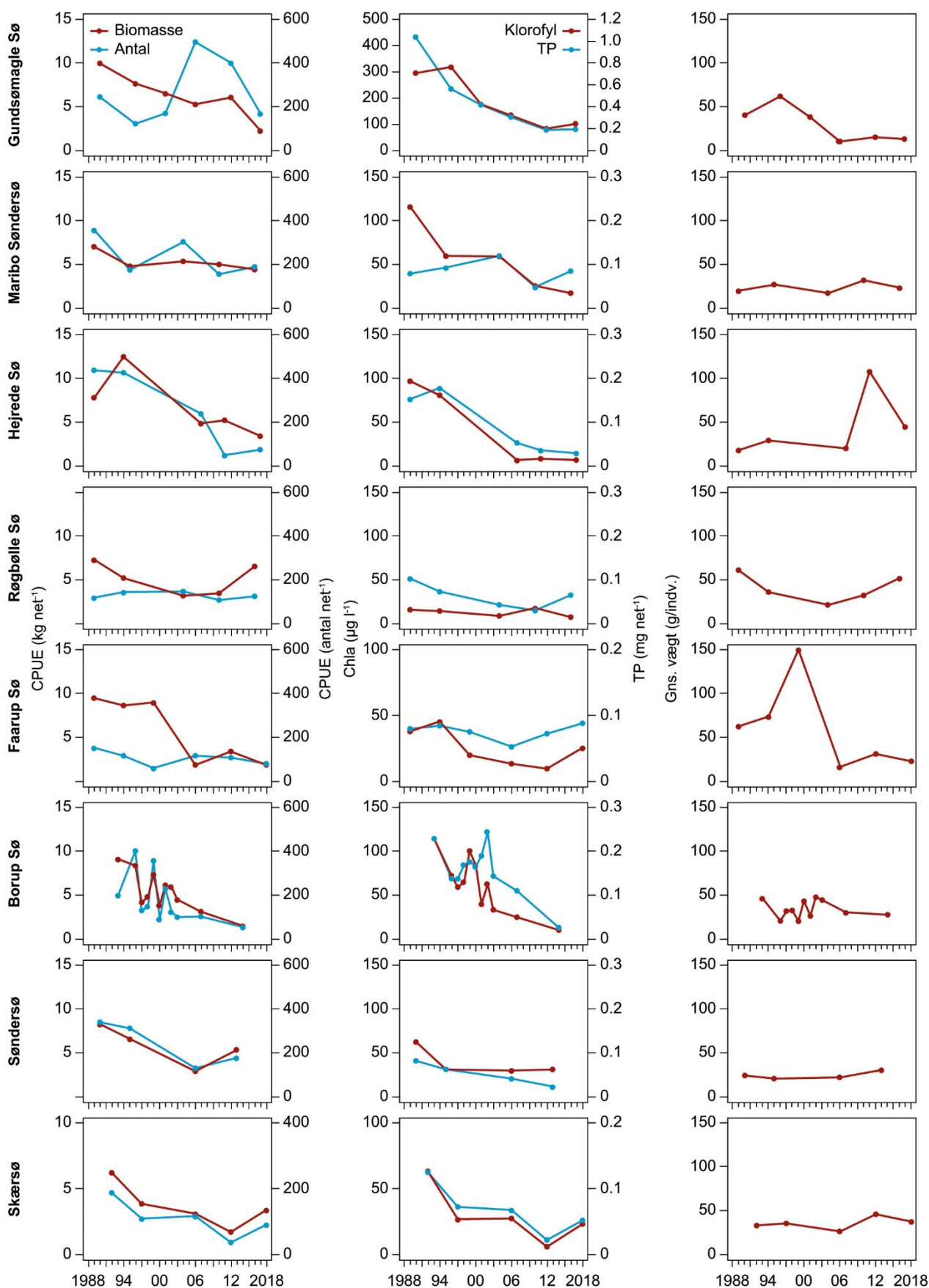
I den mere moderat næringsrige Skærsø er både antal og biomasse af fisk aftaget i takt med aftagende koncentration af totalfosfor og klorofyl. I det varme år 2018 steg næringsstofniveauet igen, og det samme gjorde fiskebiomasse og antal. Derimod er der ikke klare tendenser i størrelsen af fisk, som det ellers er tilfældet for de fleste af KU-søerne (se afsnit 2).

Maribosøerne (Maribo Sønder sø, Hejrede Sø og Røgbølle Sø) er et tredje eksempel. Maribo Sønder sø og Hejrede Sø har begge været under restaurering ved opfiskning af fredfisk (biomanipulation), mens den klarvandede Røgbølle Sø ikke har været behandlet. Røgbølle Sø har ikke ændret sig systematisk i perioden, dog er der tendens til et fald i totalfosfor, men ikke i fiskevariablene. De to øvrige søer har gennemgået klare ændringer med særligt markante fald i antal og biomasse af fisk i Hejrede Sø, i takt med at søens tilstand er forbedret, og i denne sø er gennemsnitsstørrelsen af fisk øget markant.

Resultater fra to andre biomanipulerede søer, Borup Sø og Sønder sø, er ligeledes vist. I både Borup Sø og Sønder sø er der tale om et fald i både antal og biomasse af fisk i takt med reduktionen i koncentrationen af klorofyl. Størst er faldet i Borup Sø, som også har haft den største reduktion i totalfosfor og klorofyl. Gennemsnitvægten af fiskene er ikke ændret i de to søer.

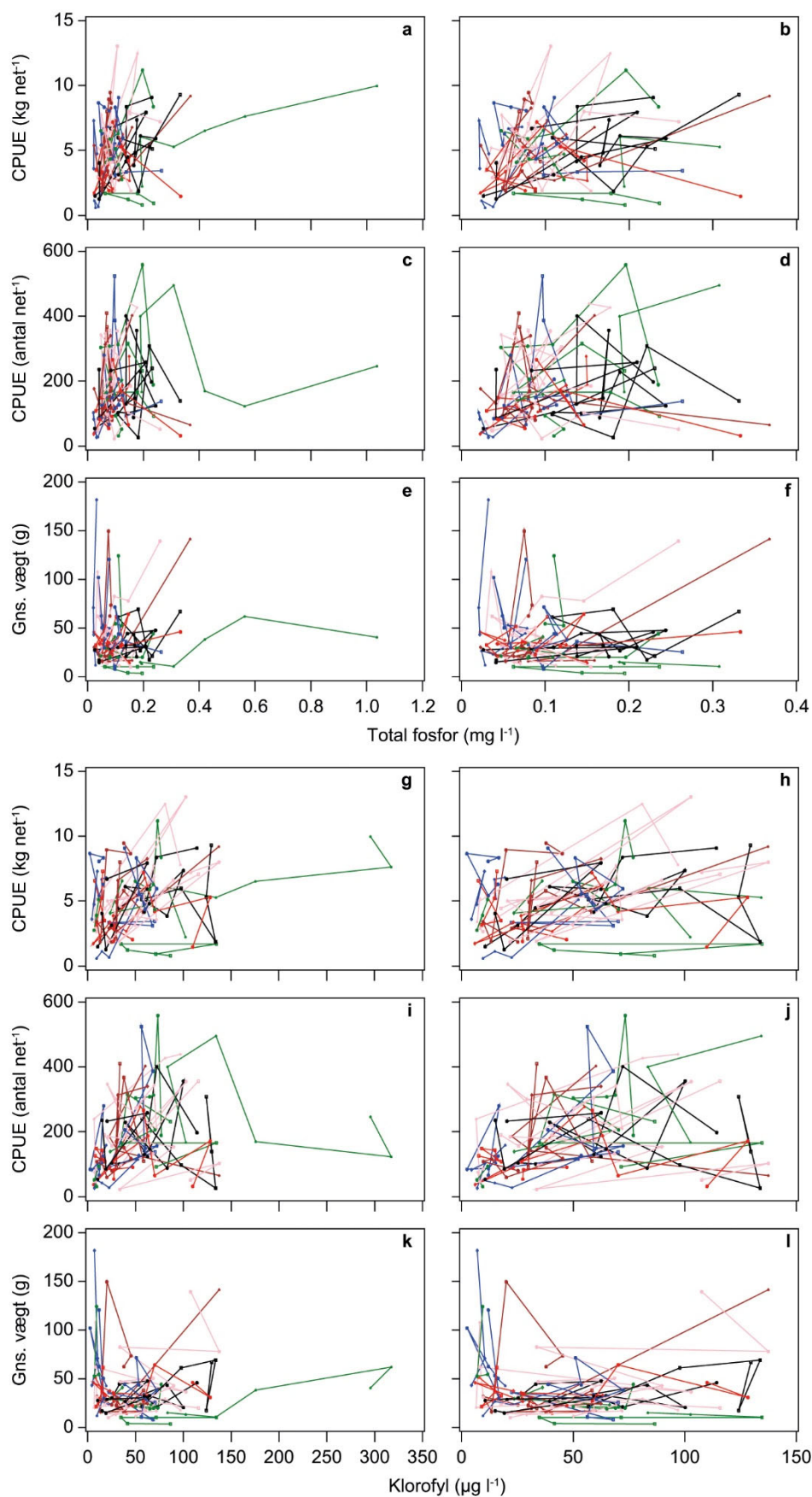
Endelig er data fra Fårup Sø vist. I denne sø er vandremuslingen indvandret i måleperioden (1993/94). Der er sket et markant fald i biomassen af fisk og gennemsnitsbiomassen af fisk, og også koncentrationen af klorofyl er mindsket markant, mens der ikke er klare ændringer i totalfosfor. Faldet i biomassen af fisk kan derfor sandsynligvis tilskrives et mindre fødeudbud som følge af vandremuslingens voksende nedgræsning af alger, i takt med at muslingebestanden øges.

For alle KT-søer med tre eller flere års data er udviklingen i antal, biomasse og gennemsnitsvægt vist i relation til koncentrationen af totalfosfor og klorofyl i figur 3.6 og 3.7. Overordnet følger søerne det forventede mønster med aftagende biomasse og antal af fisk samt øget gennemsnitsstørrelse af fisk i takt med aftagende koncentrationer af totalfosfor og klorofyl. Der er dog store variationer, og som nævnt er gennemsnitsvægten af fisk reduceret i en del af søerne.



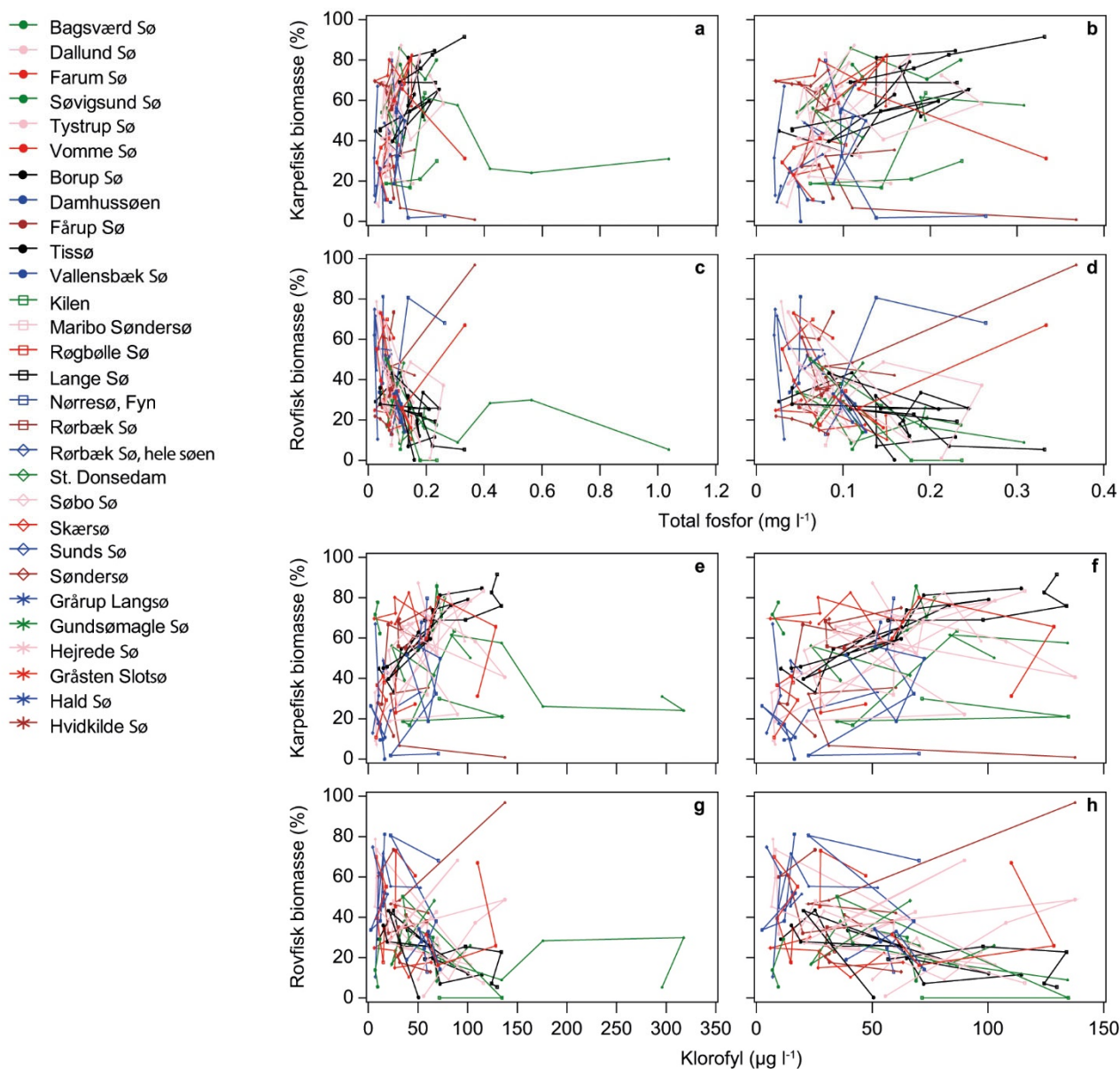
Figur 3.5 Ændringer i det totale antal fisk pr. net, biomassen pr. net og gennemsnitsvægten for fisk i overvågningsperioden 1989-2018 i udvalgte KT-søer med lange tidserier. Forskellige befiskningsmetoder har været benyttet i perioderne 1989 -2003 og 2004-2018. Ændringer i koncentrationen af klorofyl og totalfosfor er også vist.

- Bagsværd Sø
- Dallund Sø
- Farum Sø
- Søvigssund Sø
- Tystrup Sø
- Vomme Sø
- Borup Sø
- Damhussøen
- Fårup Sø
- Tissø
- Vallensbæk Sø
- Kilen
- Maribo Søndersø
- Røgbølle Sø
- Lange Sø
- Nørresø, Fyn
- Rørbæk Sø
- Rørbæk Sø, hele søen
- St. Donsedam
- Søbo Sø
- Skærsø
- Sunds Sø
- Søndersø
- Grårup Langsø
- Gundsømagle Sø
- Hejrede Sø
- Gråsten Slotsø
- Hald Sø
- Hvidkilde Sø



Figur 3.6. Ændringer i fangsten pr. net som biomasse og antal (CPUE) samt gennemsnitsvægten af fisk i KT-søer med mindst tre års data afbildet mod totalfosfor og klorofyl. Data i venstre kolonne dækker hele næringsstofspektret og i højre kolonne kun op til 0,4 mg TP l⁻¹ og 150 µg klorofyl l⁻¹.

Som ventet viser andelen af biomassen af rovfisk en stigende tendens og andelen af karpefisk en aftagende tendens med faldende koncentration af totalfosfor (figur 3.7).



Figur 3.7. Ændringer i biomasseandelen af karpefisk og rovfisk af den totale fangst af fisk i KT-søer med mindst tre års data afbildet mod totalfosfor og klorofyl. Data i venstre kolonne dækker hele næringsstofspektret og i højre kolonne kun op til 0,4 mg P l⁻¹ og 150 µg klorofyl l⁻¹.

Sammenfattende kan det siges, at KT-søer med data fra tre år eller mere overordnet set viser forbedring i fiskesammensætning i form af ændringer i retning af færre karpefisk (målt som biomasse) og en større andel af rovfisk i takt med faldende næringsstofniveau og klorofyl. Denne ændring er i nogle tilfælde understøttet af biomanipulation.

4. Klima og afstrømning

Variationer i de klimatiske forhold og afstrømning kan både direkte og indirekte influere på søernes miljøtilstand. I nedbørsrige år med stor afstrømning vil der generelt være en større tilførsel af næringsstoffer fra dyrkede og udrykkede 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. 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 påvirker i højere eller mindre grad søernes tilstand og udvikling. Kendskab til variationer i de klimatiske forhold er således nødvendig, når resultaterne fra søovervågningen skal tolkes. Der kan også være tale om mere generelle og vedvarende klimaforandringer i eksempelvis temperatur og nedbørsmønstre, som kan påvirke søernes tilstand.

Klimadata er tilvejebragt via DMI's GRID-data (<http://novana.dmi.dk/novana>). Temperatur- og vinddata er baseret på data fra 20x20 km kvadrater, de såkaldte "Grid-værdier", mens månedsnedbøren 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 ikke er korrigeret for faktorer såsom højde over terrænet, vind og "wetting" (vanddråber, der afsættes på regnmålerens sider, hvorfra de fordamper uden at blive registreret). Disse faktorer vil kunne have indflydelse på de faktiske værdier. For datagrundlag og beregningsmetoder af ferskvandsafstrømningen henvises til Thodsen m.fl. (2019).

I dette kapitel gives der en kort oversigt over de klimatiske forhold i 2018 sammenlignet med perioden 1990-2017 samt "normalperioden", der er defineret som årene 1961 til 1990.

4.1 Temperatur og global indstråling

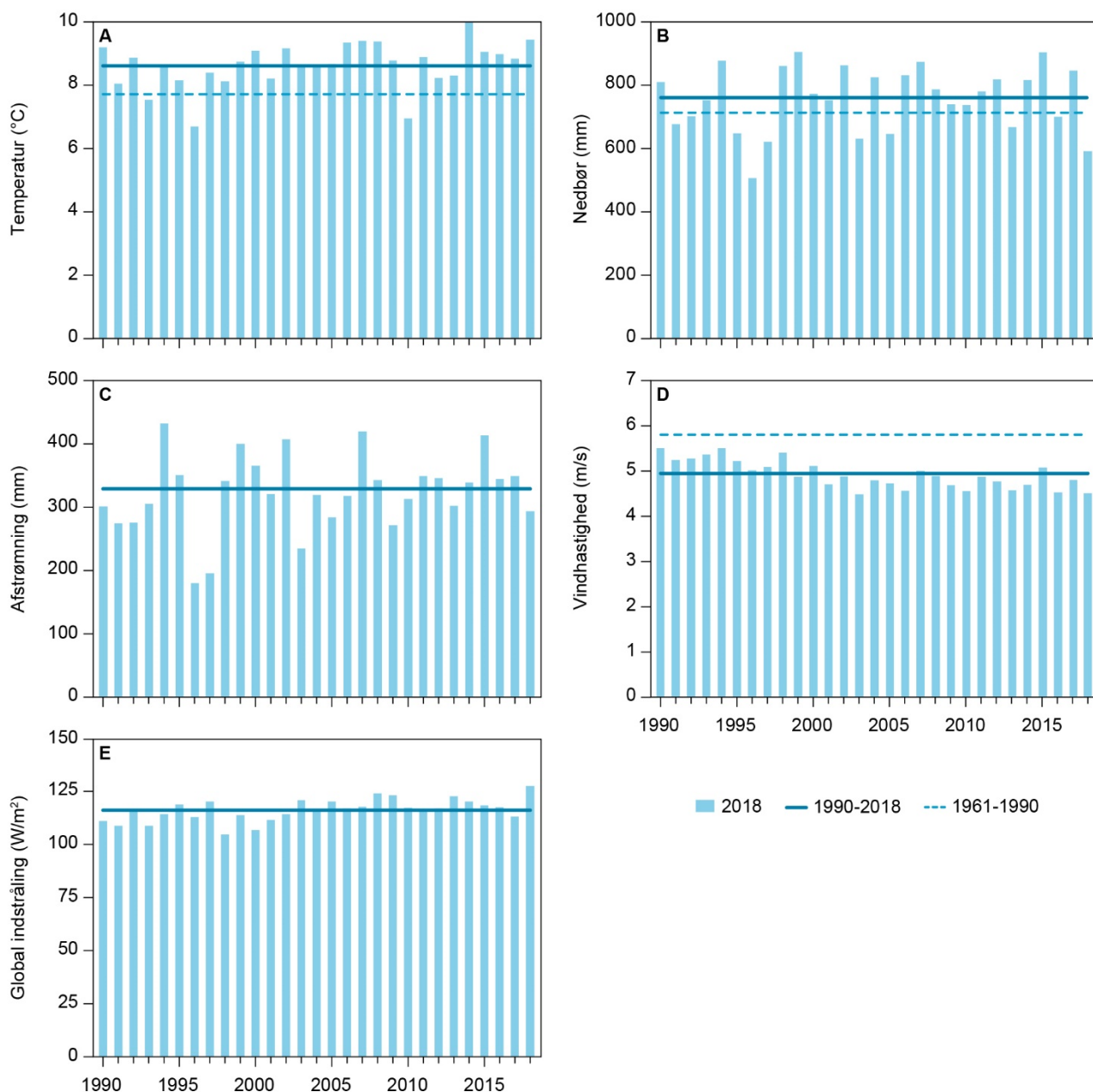
For Danmark som helhed var årets gennemsnitlige temperatur i 2018 på 9,4 °C, hvilket var hele 0,8 °C højere end gennemsnittet for perioden 1990-2018 (8,6 °C) (figur 4.1A) og kun overgået af 2014 (10,0 °C). Det var primært i perioden maj-juli, at temperaturen var markant højere i 2018 end normalen for perioden 1990-2018 (figur 4.2A). Februar og marts var i modsætning hertil koldere end normalen.

I 2018 var den gennemsnitlige temperatur 1,7 °C højere end gennemsnittet for perioden 1961-1990 (7,7 °C).

Den gennemsnitlige årsværdi af den globale indstråling varierer kun lidt fra år til år (figur 4.1E). I 2018 var den markant højere (10 %) end normalen for de forrige 28 år, og dette skyldes hovedsageligt en meget høj indstråling i perioden maj til juli (figur 4.2E).

4.2 Nedbør

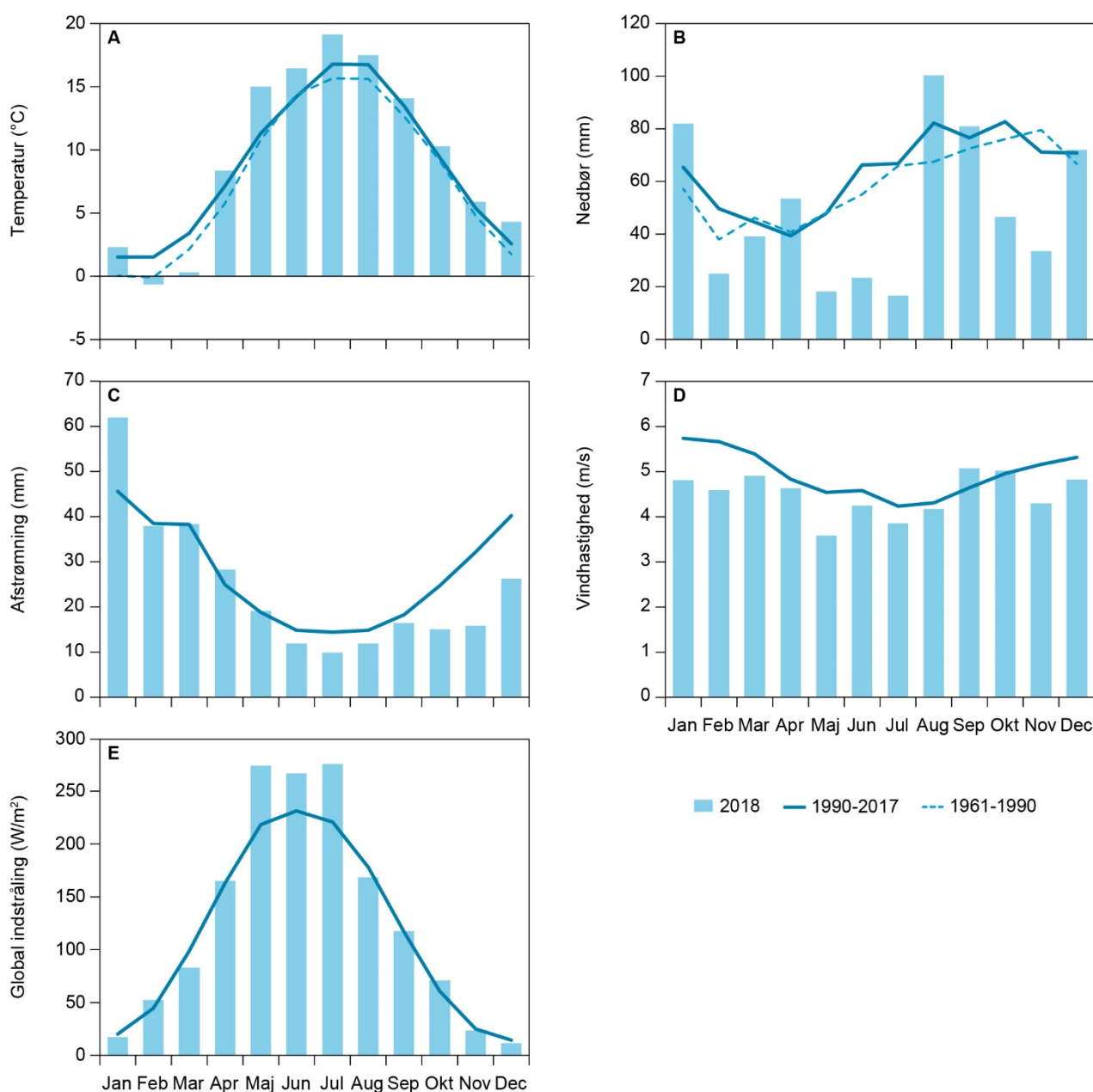
På årsbasis er der normalt ikke store forskelle i nedbørsmængden fra år til år. Men 2018 var et meget "tørt" år med kun 594 mm nedbør, hvilket var markant lavere end gennemsnittet for både perioderne 1961-1990 (714 mm) og 1990-2018 (755 mm). I hovedparten af månederne, og i særdeleshed maj til juli, kom der mindre nedbør end i begge normalperioder (figur 4.2B).



Figur 4.1. Årsværdier for lufttemperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) for Danmark i 2018. Desuden er gennemsnit for perioderne 1961-1990 (dog ikke for ferskvandsafstrømning og global indstråling) og 1990-2018 indlagt. Data fra hele Danmark.

4.3 Afstrømning

Den arealspecifikke ferskvandsafstrømning er på årsbasis korreleret med nedbørmængden, og var i 2018 på 294 mm, hvilket er markant lavere end i perioden 1990-2017 (325 mm). Afstrømningen var meget højere end normalt i december, mens den i perioden februar til maj fulgte årstidens normal. Resten af året, og mest udtalt i det sidste kvartal, var afstrømningen markant lavere end normalt (figur 4.1C og 4.2C).



Figur 4.2. Månedsværdier for temperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) i 2018 samt gennemsnit for perioderne 1961-1990 og 1990-2018 (førstnævnte dog ikke for global indstråling, vindhastighed og ferskvandsafstrømningen). Data fra hele Danmark.

4.4 Vindforhold

Den gennemsnitlige årlige vindhastighed for hele Danmark varierer ikke ret meget fra år til år og har i de seneste 10 år ligget mellem 4,5 og 5,0 m/s (figur 4.1D). I 2018 lå den på 4,5 m/s, hvilket var lidt under normalen for perioden 1990-2018 (4,9 m/s). Det månedlige gennemsnit var lavere end normalen i alle måneder, på nær september og oktober. Det var specielt i vintermånederne, at vinden var svagere end normalen for perioden 1990-2018 (figur 4.2.D).

5. Referencer

Alonso, A. & Castro-Diéz, P. (2008). What explains the invading success of the aquatic mud snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca)? *Hydrobiologia* 614, 107–116.

Alonso, A. & Castro-Diéz, P. (2012). The exotic aquatic mud snail *Potamopyrgus antipodarum* (Hydrobiidae, Mollusca): state of the art of a worldwide invasion. *Aquatic Sciences* 74, 375–383.

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

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

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

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

Jeppesen, E., Jensen, J.P., Søndergaard, M., Lauridsen, T. & Landkildehus, F. (2000). Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshwater Biology* 45, 201-213.

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

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

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

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, 341.

Johansson, L.S., Søndergaard, M., Nielsen, A., Landkildehus, F., Kjeldgaard, A., Sortkjær, L. Windolf, J. & Bøgestrand, J. (2015). Søer 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 84 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 166.
<https://dce2.au.dk/pub/SR166.pdf>

Johansson, L.S., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Landkildehus, F., Kjeldgaard, A., Sortkjær, L., Windolf, J. & Bøgestrand, J. (2016). Søer 2015. NOVANA. Aarhus 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. & Landkildehus, F. (2019). Søer 2017. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 42 s. - Videnskabelig rapport nr. 307. <http://dce2.au.dk/pub/SR307.pdf>

Larsen, S.E., Jensen, C. & Carstensen, J. (2002). Statistisk optimering af monitoringsprogrammer på miljøområdet. Eksempler fra NOVA-2003. 195 s. – Faglig rapport fra DMU, nr. 426.
http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR426.pdf.

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

Miljøstyrelsen (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/>

Naturstyrelsen (2011). Det Nationale Overvågningsprogram for Vand og Natur. NOVANA 2011-2015. Programbeskrivelse. Miljøministeriet, 177 s.

Stocchino, G.A., Sluys, R., Harrath, A.H., Mansour, L. & Manconi, R. (2019). The invasive alien freshwater flatworm *Girardia tigrina* (Girard, 1850) (Platyhelminthes, Tricladida) in Western Europe: new insights into its morphology, karyology and reproductive biology. *Contributions to Zoology* 88, 236-256.

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.

Thodsen, H., Tornbjerg, H., Rasmussen, J.J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Ovesen, N.B., Blicher-Mathiesen, G., Kjeldgaard, A. & Windolf, J. (2019a). Vandløb 2018. NOVANA. Undertitel. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 72 s. - Videnskabelig rapport nr. 353.
<http://dce2.au.dk/pub/SR353.pdf>

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

Wiberg-Larsen, P. & Rasmussen, J.J. (2017). A new Danish macroinvertebrate index for lakes - a method to assess ecological quality. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 38 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. 223.
<http://dce2.au.dk/pub/SR223.pdf>. NB – rapporten er under revision; en ny udgave forventes at udkomme primo 2020

Wiberg-Larsen, P. (2018). Reporting on Intercalibration of the “Danish Lake Macroinvertebrate Index” according to finalised Intercalibration results (GAP2), 9 s. NB – rapporten er under revision; en ny udgave forventes at udkomme primo 2020.

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 afsnit 1. Frekvensen af prøvetagningen for de forskellige parametre fremgår ligeledes af afsnit 1 og 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: <http://bios.au.dk/videnudveksling/fagdatacentre/fdcfersk/>

De kemiske nøgledata og sigtddybde er præsenteret i tabeller og figurer for hver periode (et-flere år) ved gennemsnits-, median-, minimum- og maksimumsværdier 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

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

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. Der er anvendt Mann-Kendall's ikke-parametriske test 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 %.

Kvalitetssikring

Data, der fra fagsystemerne (Stoq og Fiskbase) overføres til Overfladevands-databasen (ODA), undergår både automatisk og faglig godkendelse i Miljøstyrelsen og DCE. Der pågår løbende en proces, hvor data i ODA bliver mærket efter denne kvalitetssikring. En beskrivelse af processen kan ses i de data-tekniske anvisninger på <http://bios.au.dk/videnudveksling/fagdatacentre/fdcfersk/>.

Massebalancer

Vand- og næringsstofftilførsel generelt

Vand- og næringsstofftilførsel 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 et al. 2019b) og dels for at kvalificere belastningsopgørelserne, hvor det er muligt. Det er væsentligt at nævne, at der i løbet af overvågningsperioden (fra 1990 og frem) 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 estimerne af søernes vand- og næringsstofbelastninger.

Målt vand og næringsstofftilførsel

Der indgår nuværende og tidligere nationale overvågningsstationer i vandløb med måling til belastningsopgørelsen. Der anvendes månedsaggregerede vand- ($\text{m}^3 \text{ mdr}^{-1}$) og næringsstoftransporter (kg mdr^{-1}) fra stationsmålingerne i massebalanceberegningerne.

Vandafstrømning fra umålt opland

Vandafstrømningen fra umålt opland bestemmes med brug af en generel lineær model, der forudsætter lineær sammenhæng på månedsværdier mellem tilstrømmet og udstrømmet vand målt ved udløbsstationen. Det målte tilløb til søen sammenholdes med udløbet fra søen for at bestemme andelen af umålt vand, der opdeles i hhv. umålt baseflow / grundvandsudveksling og umålt overfladeflow. Det umålte baseflow / grundvandsudveksling kan enten være umålte kilder i oplandet, uden for selve søen, eller udveksling af vand gennem søbunden.

Vandbalance

Vandbalancen for søerne er opgjort på månedsbasis og afstemt som: målt og umålt tilførsel samt nedbør på søoverfladen fratrasket afløb fra søen og fordampning fra søens overflade. Til beregning af nedbør og fordampning er anvendt månedssumme 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. For vandbalancen er det især vandspejlsændringer, der giver anledning til residualerne, samt den målte nedbør og fordampning, der naturligvis ikke afspejler direkte mål for søen, og som 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 næringsstof fra den umålte del estimeres via den beregnede, umålte vandmængde tilegnet en umålt modelestimeret næringsstofkoncentration for hhv. baseflow / grundvandsudveksling og overfladetilstrømning. Næringsstofkoncentrationen for umålt vand bestemmes med 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 retention i målestationen med brug af DK-QNP-modellen samt den faktiske målte transport. Efter justering for punktkilder laves en kildeopsplitning i hhv. næringsstof fra base flow / grundvandsudveksling og fra mere overfladenær afstrømning. I denne kildeopsplitning anvendes årlig mindstevandføring som estimat for baseflow. For udsivende vand (uanset residualets størrelse) 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 et al. 2019b) og 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 sø-specifik statistisk modellering og under successiv inddragelse af alle tilgængelige monitoringsdata i overvågningsårene 1990-2018. Monitoringsdata 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 forskelle, som DK-QNP-modellen udtrykker, dvs. forskelle i jordtype, dyrkningsgrad, afvandingsgrad, nedbør, temperatur samt årligt kvælstof- og fosforoverskud fra landbruget.

Atmosfærisk deposition

Direkte på søoverfladerne repræsenteres atmosfærisk deposition ved 20 kg kvælstof $\text{ha}^{-1}\text{år}^{-1}$ og 0,2 kg fosfor $\text{ha}^{-1}\text{år}^{-1}$ i perioden 1990-1997 samt 15 kg kvælstof $\text{ha}^{-1}\text{år}^{-1}$ og 0,1 kg fosfor $\text{ha}^{-1}\text{år}^{-1}$ 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 1990-2018 og følger tilgangen i Bjerring et al. (2014). I år med manglende punktkildedata anvendes interpolerede værdier.

SØER 2018

NOVANA

Rapporten beskriver status og udviklingen i udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer i søer siden 1989. Der præsenteres resultater fra søerne, som indgår i kontrolovervågningen af udvikling (KU-søer, 18 stk.), og en del af søerne, som indgår i kontrolovervågningen af tilstand (KT-søer, 93 stk.). Samlet set er der i KU-søerne sket en generel forbedring i miljøtilstanden, baseret på vandkemiske og -fysiske undersøgelser og vegetationsundersøgelser, dog med variationer mellem de enkelte søer. I 40 KT-søer er udviklingen i næringsstoftilstanden i de enkelte søer undersøgt, og for langt de fleste af disse ses der enten positive eller ingen ændringer. Det er ikke muligt at teste udviklingen i fiskesamfundet statistisk endnu, men i mange af søerne ses der positive tendenser i form af faldende samlet biomasse og en stigning i andelen af rovfisk, men også her er der stor variation mellem søerne. Generelt er de største ændringer sket i de første 10-20 år af overvågningsperioden.

ISBN: 978-87-7156-453-2

ISSN: 2244-9981