



SØER 2014

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 166

2015



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

SØER 2014

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 166

2015

Liselotte Sander Johansson
Martin Søndergaard
Anders Nielsen
Frank Landkildehus
Ane Kjeldgaard
Lisbet Sortkjær
Jørgen Windolf
Jens Bøgestrand

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. 166
Titel:	Søer 2014
Undertitel:	NOVANA
Forfattere:	Liselotte Sander Johansson, Martin Søndergaard, Anders Nielsen, Frank Landkildehus, Ane Kjeldgaard, Lisbet Sortkjær, Jørgen Windolf & Jens Bøgestrand
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	December 2015
Redaktion afsluttet:	November 2015
Faglig kommentering:	Naturstyrelsen
Sproglig kvalitetssikring:	Anne Mette Poulsen
Kvalitetssikring, DCE:	Poul Nordemann Jensen
Finansiel støtte:	Miljø- og Fødevareministeriet
Bedes citeret:	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 http://dce2.au.dk/pub/SR166.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i 2014 og beskriver udviklingen i udvalgte kemiske og fysiske miljøindikatorer siden overvågningsbegyndelse i 1989. Femten søer indgår i kontrolovervågning af søers udvikling, og her er miljøtilstanden generelt forbedret siden 1989. Forbedringerne ses tydeligst i de vandkemiske indikatorer og fortrinsvis i det første årti af overvågningsperioden. Rapporten giver yderligere en status over tilstanden i 120 søer indeholdt i kontrolovervågning af søers tilstand undersøgt i perioden 2011-2014. Søerne repræsenterer flere søtyper og næringsstofniveauer. De to hyppigst forekommende søtyper (ferske, alkaline, hhv. lavvandede og dybe søer) udgør 78 % af søerne og må gennemsnitligt set betegnes som næringsrige, men i begge typer ses en tendens til et generelt fald i næringsstofniveau siden 2004-2009. Rapporten giver også en overordnet status for tilstanden i søer, der indgår i den operationelle overvågning, som er i risiko for ikke at opfylde målsætningen i 2015 (357 søer). Disse søer repræsenterer ni søtyper. Generelt er spændet for tilstand inden for søtyperne stort. For de hyppigst forekommende typer gives en overordnet status.
Emneord:	Søer, miljøtilstand, overvågning, Vandmiljøplan, NOVANA
Layout:	Grafisk Værksted, AU-Silkeborg
Foto forside:	Martin Søndergaard
ISBN:	978-87-7156-168-5
ISSN (elektronisk):	2244-9981
ISSN:	2445-6683
Sideantal:	84
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR166.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
0 Sammenfatning	6
0.1 Kontrolovervågning af udvikling	6
0.2 Kontrolovervågning af tilstand	9
0.3 Operationel overvågning	9
1 Summary	11
1.1 Control monitoring of development	11
1.2 Control monitoring of environmental state	14
1.3 Operational monitoring	14
2 Undersøgelsesprogrammet	16
2.1 Kontrolovervågning	17
2.2 Operationel overvågning	21
3 Kontrolovervågning af søernes udvikling	24
3.1 Generel karakteristik	24
3.2 Fosfor	26
3.3 Kvælstof	30
3.4 Klorofyl a	33
3.5 Sigtdybde	37
3.6 Næringsstofkilder og -balancer	38
4 Kontrolovervågning af søernes tilstand	58
4.1 Generel tilstand	58
4.2 Udviklingstendenser	63
5 Operationel overvågning af søernes tilstand	68
5.1 Generel tilstand	68
6 Klima og afstrømning	74
6.1 Temperatur og global indstråling	74
6.2 Nedbør	77
6.3 Afstrømning	77
6.4 Vindforhold	77
7 Referencer	78
8 Bilag	80
Bilag 1 Datagrundlag og metoder	80

[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 efteråret 1988. Nærværende rapport omfatter data til og med 2014.

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 indenfor natur- og miljøområdet. Programmet er løbende tilpasset overvågningsbehovene og omfatter overvågning af tilstand og udvikling i vandmiljøet og naturen, herunder den terrestriske natur og luftkvalitet.

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

I overvågningsprogrammet er der en arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentre og Naturstyrelsen. Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), fagcentret for punktkilder hos Naturstyrelsen, 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, og den har været i høring hos Naturstyrelsen. Rapporten er baseret på data indsamlet af Naturstyrelsens naturforvaltningsenheder.

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenter-rapporter i Vandmiljø og natur 2014, som udgives af DCE, GEUS og Naturstyrelsen.

0 Sammenfatning

I 2014 var 48 søer med i kontrolovervågningen, hvoraf 41 var ferskvandssøer og syv brakvandssøer. Atten af disse søer var omfattet af kontrolovervågningen af søernes udvikling, mens 30 var omfattet af kontrolovervågningen af søernes tilstand. Overvågningen dækker et bredt spektrum af søer for eksempel mht. størrelse og dybde og spænder fra rene til stærkt forurenede søer som følge af eksisterende eller tidligere tiders spildevandsudledninger.

Naturstyrelsens decentrale enheder forestår den standardiserede prøveindsamling. Alle indsamlede data indberettes til Fagdatacenter for ferskvand, som udarbejder årlige statusrapporter om den generelle tilstand og udvikling.

Dette års rapport omfatter resultater for udviklingstendenser i perioden fra 1989 til 2014 i 15 af de 18 søer, som er omfattet af kontrolovervågningen af udvikling. For de resterende tre søer er der ikke en tilstrækkelig lang tidsserie med data til at kunne indgå i en beskrivelse af udviklingen; derfor behandles disse søer enkeltvis. Derudover gives der en kortere status for miljøtilstanden og udviklingen i de 120 søer, som er omfattet af kontrolovervågningen af tilstand, og som er undersøgt i perioden 2011-2014. Endelig gives en kort status over miljøtilstanden i de 357 søer, som indgår i det operationelle program, og som er undersøgt i perioden 2011-2014.

En overordnet oversigt over tilstanden i de undersøgte overvågningssøer for fire nøgleindikatorer er givet i tabel 0.1. Tilstanden i de operationelt overvågede søer (søer, som ikke forventes at opfylde målsætningen) er generelt ringere end i de søer, der indgår i kontrolovervågningen.

Tabel 0.1. Nøgleindikatorer for miljøtilstanden i kontrolovervågningen og i den operationelle overvågning (angivet som medianværdier for sommerperioden).

Parameter	Kontrolovervågning	Kontrolovervågning	Operationel
	af udvikling	af tilstand	overvågning
Undersøgelsesår	2014	2011-2014	2011-2014
Antal søer	18	120	357
Totalfosfor (mg/l)	0,053	0,073	0,098
Totalkvælstof (mg/l)	1,00	1,03	1,12
Sigtdybde (m)	1,5	1,0	0,8
Klorofyl a (µg/l)	28	31	44

0.1 Kontrolovervågning af udvikling

For alle de fire nøgleindikatorer i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, er der fra perioden 1989-1994 til 2014 tale om forbedringer (tabel 0.2). For gennemsnitsværdierne er den største forbedring sket for totalfosfor, der er reduceret med 57 %, og den mindste forbedring for sigtdybden, der er øget med 22 %. Forbedringen har været større for gennemsnittet end for medianværdien, hvilket skyldes, at forbedringen har været størst blandt de mest næringsrige søer.

Tabel 0.2. Ændringer i nøgleindikatorer fra starten af overvågningsperioden (1989-1994) til i dag (2014) udtrykt som gennemsnit eller medianværdi (årgennemsnit). Forbedring er øget sigtddybe eller reduceret indhold af totalfosfor, totalkvælstof eller klorofyl a.

Parameter	Gennemsnit			Median		
	1989-1994	2014	Forbedring (%)	1989-1994	2014	Forbedring (%)
Totalfosfor (mg/l)	0,145	0,062	57	0,098	0,048	51
Totalkvælstof (mg/l)	2,73	1,45	47	2,38	1,48	38
Klorofyl a (µg/l)	59,5	25,1	58	29,0	19,3	33
Sigtddybe (m)	1,94	2,36	22	2,01	2,35	17

Det mest markante fald er sket i den første del af overvågningsperioden. Af de 15 søer har der været et signifikant fald i totalfosforkoncentrationen i sommerperioden i 12 af søerne set over hele overvågningsperioden 1989-2014. For de seneste 10 år gør det sig kun gældende for fem af søerne (tabel 0.3).

Også kvælstofindholdet er reduceret markant siden overvågningens begyndelse, og i perioden 1989-2014 er der tale om et signifikant fald i 14 af de 15 søer. I de sidste 10 år har der været et signifikant fald i syv af søerne, så i nogle af søerne fortsætter reduktionen i næringsstofindholdet, der ellers primært fandt sted i den første del af overvågningsperioden.

Indholdet af klorofyl a er fra 1989-2014 reduceret i syv af de 15 søer og sigtddybden øget i ni søer (tabel 0.3). I tre søer er der dog registreret et øget indhold af klorofyl a og i én sø en mindsket sigtddybde. I de seneste 10 år har indholdet af klorofyl a og sigtddybden været uændret i de fleste søer.

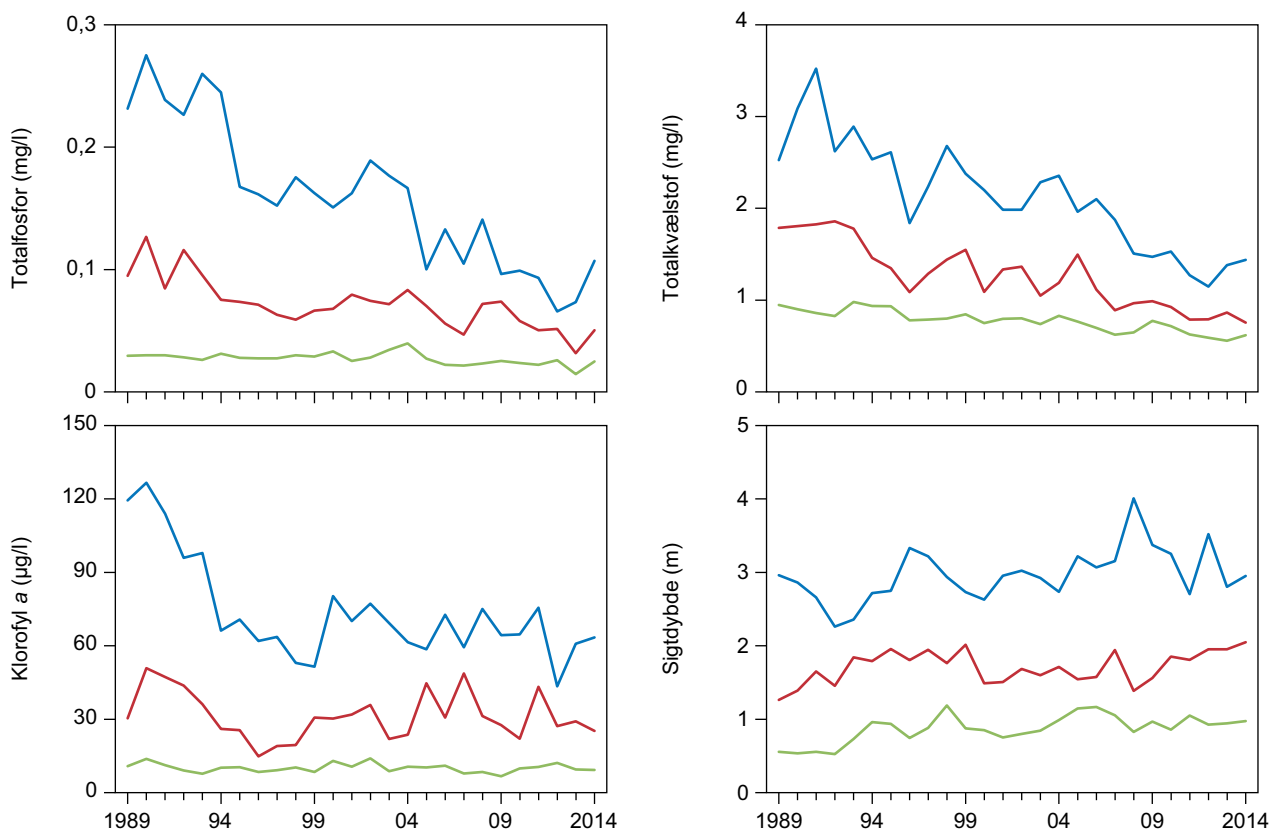
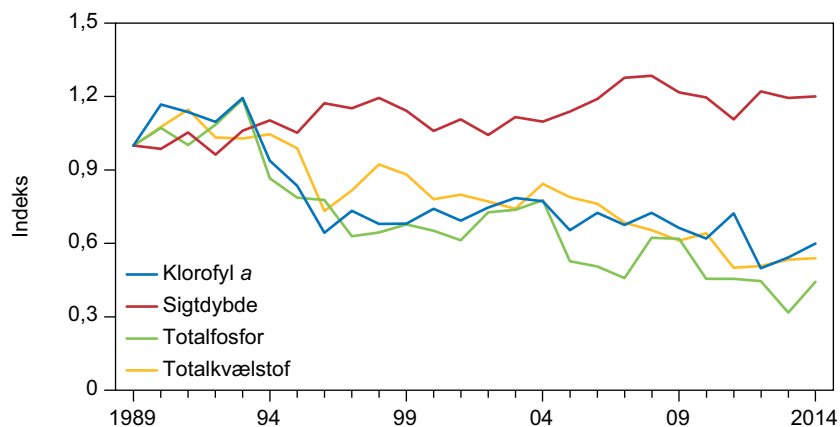
Tabel 0.3. Statistisk signifikant udvikling (10 % signifikansniveau) for udvalgte nøgleparametre (sommergennemsnit) i miljøtilstanden i 15 af de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, der er undersøgt siden 1989 for hele overvågningsperioden (1989-2014) og de seneste 10 år (2005-2014).

Parameter	1989-2014			2005-2014		
	Forbedret	Forværret	Uændret	Forbedret	Forværret	Uændret
Totalfosfor	12	0	3	5	0	10
Totalkvælstof	14	0	1	7	0	8
Klorofyl a	7	3	5	2	1	12
Sigtddybe	9	1	5	0	3	12

Den årlige relative udvikling i de fire nøgleindikatorers sommergennemsnit siden 1989 er vist som et indeks i figur 0.1, hvor værdierne i 1989 for alle fire parametre er sat til 1. Det generelle billede er uændrede eller lidt forværrede forhold fra 1989 til 1993, derefter en markant forbedring frem til 1996, hvorefter der siden har været en jævn forbedring i næringsstofindhold og klorofyl a. Som det også fremgår af tabel 0.2, har forbedringen i sigtddybden været mindre markant, og de seneste 10 år har der ikke været nogen udviklingstendens.

Den årlige udvikling i indhold af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl a og sigtddybde i de 15 søer siden 1989 er vist i figur 0.2. Figuren viser de tre kvartiler (25 %, median og 75 %) og illustrerer dels, at de største ændringer er sket i starten af overvågningsperioden, og dels at de største ændringer er sket i de mest næringsrige søer.

Figur 0.1. Udviklingen i søkoncentrationen (sommern gennemsnit) af totalfosfor (mg/l), totalkvælstof (mg/l), klorofyl a ($\mu\text{g/l}$) og sigtdybde (m) i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, og som har været fulgt siden 1989. Udviklingen er vist som et indeks, hvor 1989 for alle fire parametre er sat til 1.



Figur 0.2. Udviklingen i søkoncentrationen af totalfosfor (mg/l), totalkvælstof (mg/l), klorofyl a ($\mu\text{g/l}$) og sigtdybde (m) i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, og som har været fulgt siden 1989. De tre kurver for hver parameter repræsenterer 25 % (grøn), 50 % (median, rød) og 75 % (blå) fraktiler baseret på sommern gennemsnit.

For fosfor og kvælstof har der gennem hele perioden været en markant reduktion i den øvre 75 % fraktil, mens medianværdien er reduceret noget, og den nedre 25 % fraktil stort set er uændret. Indholdet af klorofyl blev markant reduceret i de første 10 år i de mest klorofylrige søer, men gennem de sidste 15 år er indholdet stort set uændret. Udviklingen i medianværdierne og den nedre 25 % fraktil har været beskeden. Sigtdybden er øget gennem hele perioden for alle tre fraktiler, dog igen primært i de første 10 år.

For 10 af de intensivt overvågede søer, med veldefinerede vandbalancer, er stofbalancer og kildeopsplitning opgjort. Generelt er både koncentrationen af kvælstof og fosfor, der løber til og fra søerne, signifikant reduceret i stør-

stedelen af søerne, for fosfor specielt i den første del af overvågningsperioden som et resultat af reducerede belastninger fra rensningsanlæg. Fosforkoncentrationen i vandet, der løber til og fra søerne, har derfor ikke i samme grad udvist samme faldende tendens de seneste 10 år. Derimod ses der for kvælstof generelt en vedvarende faldende tendens i koncentrationen i vandet, der strømmer til og fra søerne i overvågningsperioden. Således er den gennemsnitlige koncentration for fosfor og kvælstof i tilført vand faldet med hhv. 22 og 22 % mellem perioderne 1990-94 og 1995-00, mens faldet ligger på hhv. 8-10 og 13-15 % mellem perioderne 1995-00 til 2001-06 og 2001-06 til 2007-2013. Også den absolutte tilførsel af kvælstof og fosfor til søerne er reduceret. Derimod viser den relative tilbageholdelse store fluktuationer og generelt ingen markante ændringer i overvågningsperioden. Tilbageholdelsen er dog steget i hhv. fire og fem søer set over hele overvågningsperioden for fosfor og kvælstof.

0.2 Kontrolovervågning af tilstand

De 120 søer, der i 2011-2014 indgik i kontrolovervågningen af søernes tilstand, repræsenterede syv søtyper, heraf 17 brakvandssøer og 10 lav-alkaline søer, hvoraf én er dyb. Størstedelen af søerne er ferske, alkaline og lavvandede (66) eller dybe (27) søer. Den overordnede tilstand for alle søerne ses i tabel 4.1.

Tilstanden i de 66 lavvandede, alkaline søer er overordnet næringsrig med en sommermedian på 0,09 mg P/l, sigtddybde på 0,9 m og klorofyl *a*-koncentration på 42 µg/l. Plantedækket var relativt lavt (median 8,1 %) og fiskesammensætningen generelt domineret af karpefisk (skalle, brasen og rudskalle). Sammenlignet med perioden 2004-2009 er der i perioden 2011-2014 sket et signifikant fald i koncentrationen af totalkvælstof og en signifikant stigning i artsantallet af undervandsplanter.

Næringsstofniveauet i de 27 dybe, alkaline søer er overordnet lidt lavere end i de lavvandede søer med en sommermedian for totalfosfor på 0,06 mg P/l, sigtddybde på 2,0 m og klorofyl *a*-koncentration på 18 µg/l. Medianen for fisketætheden er lavere end i de lavvandede søer, men også her domineret af karpefisk, dog generelt med en større andel af rovfisk end i de lavvandede søer. Sammenlignet med perioden 2004-2009 er der sket et signifikant fald i koncentrationen af totalfosfor og totalkvælstof. Andre positive tegn er en signifikant stigning i antallet af undervandsplantearter og i procentandelen af rovfisk, ligesom der også ses en tendens til en stigning i undervandsplanternes dybdegrænse.

0.3 Operationel overvågning

Der er i år givet en kort status for tilstanden i de 357 søer, der indgår i det operationelle program, og som er undersøgt i perioden 2011-2014. Søerne repræsenterer i alt ni søtyper, hvor der for de hyppigst forekommende søtyper er givet en generel tilstand. Søerne i det operationelle program er ikke repræsentative for de danske søer som helhed, idet søerne ikke er tilfældigt udvalgt, men er udvalgt på baggrund af, at de er vurderet til at være i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet i 2015 (Den Europæiske Union 2000). Søerne er heller ikke nødvendigvis et repræsentativt udsnit af alle søer, der er planlagt undersøgt i det operationelle program.

Samlet set er søerne i det operationelle program næringsrige og tilstanden en anelse dårligere end den observeret for søer, der indgår i kontrolovervågningen af tilstand (tabel 4.1). Den hyppigste søtype er de lavvandede, al-

kaline, ikke-brunvandede søer (146 søer), som generelt er næringsrige, men som også spænder bredt fra næringsfattige søer til søer i meget dårlig tilstand. Næringsstofniveauet i deres brunvandede pander (49 søer, inkl. en enkelt dyb sø) er mindst lige så højt, men dog med relativt flere søer med et plantedækket areal af betydning. Dette kan skyldes, at disse søer generelt er mere lavvandede end de ikke-brunvandede søer.

De 61 dybe, alkaline ikke-brunvandede søer, der indgår i den operationelle overvågning, er mere næringsfattige end de lavvandede søer, og status er tilsvarende den observeret i dybe, alkaline søer, der indgår i kontrolovervågningen af tilstand.

De mest næringsfattige søer er de lavalkaline, ikke-brunvandede søer (i alt ni søer), hvoraf en del er dannet af vandfyldte, nedlagte brunkulslejer, som er meget næringsfattige.

De brunvandede, lavalkaline søer (21 søer – alle lavvandede) er mere næringsrige med højt indhold af klorofyl *a* og lav sigtdybde (50 cm).

Brakvandssøerne (71 søer) er generelt de mest næringsrige søer i programmet, specielt de brunvandede (22 søer), hvis sommermedian for totalfosfor er 0,43 mg/l.

1 Summary

In 2014, 48 lakes were included in the control monitoring programme – 41 freshwater lakes and seven brackish lakes. Eighteen of the lakes were covered by the monitoring of lake development over time, while 30 were subject to the monitoring of current environmental state. The monitoring programme covers a wide span of lakes with regard to, for instance, size and depth and range from clean to heavily polluted lakes as a result of existing or previous wastewater discharge. In all, during 2011-2014, 120 lakes covered by the programme for monitoring of environmental state have been examined.

The Danish Nature Agency's decentralised units are responsible for the standardised sample collection. All data collected are reported to the National Topic Centre for Freshwater, which prepares annual progress reports on the general state and development of Danish lakes.

This year's report includes results for trends observed in the period 1989-2014 in 15 of the 18 lakes included in the monitoring of development over time. For the remaining three lakes, sufficiently long time series of data do not exist to allow their inclusion in a description of the development; these lakes are therefore treated individually. In addition, a short status is given of the current state and trends in the 120 lakes subject to monitoring of environmental state for the period 2011- 2014. Finally, a brief status is provided of the environmental state in 357 lakes encompassed by the operational programme, which were investigated during 2011-2014.

A comprehensive overview of the environmental state of the investigated monitoring lakes for four key parameters is given in table 1.1. The environmental state of the operationally monitored lakes (lakes that are not expected to meet the set objectives) is generally poorer than in the lakes included in the control monitoring.

Table 1.1. Key indicators of the environmental state in the control and operational monitoring lakes (indicated as median values for the summer period).

Parameter	Control monitoring of	Control monitoring of	Operational
	development	environmental state	monitoring
Investigation year(s)	2014	2011-2014	2011-2014
Number of lakes	18	120	357
Total phosphorus (mg/l)	0.053	0.073	0.098
Total nitrogen (mg/l)	1.00	1.03	1.12
Secchi depth (m)	1.5	1.0	0.8
Chlorophyll a (µg/l)	28	31	44

1.1 Control monitoring of development

For all four key parameters in the 15 lakes included in the control monitoring of lake development, improvements have been recorded from the period 1989-1994 to 2014 (table 1.2). Regarding average values, the most pronounced improvement is noted for total phosphorus, which decreased by 57%, and the smallest improvement for Secchi depth, which increased by 22%. The improvement has been greater for average than for median values due to the fact that the improvement was greatest in the most nutrient-rich lakes.

Table 11.2. Changes in key parameters from the start of the monitoring period (1989-1994) to the present (2014) expressed as an average or median value (annual average). Improvement is enhanced Secchi depth or reduced concentrations of total phosphorus, total nitrogen and chlorophyll *a*.

Parameter	Average			Median		
	1989-1994	2014	Improvement (%)	1989-1994	2014	Improvement (%)
Total phosphorus (mg/l)	0.145	0.062	67	0.098	0.048	51
Total nitrogen (mg/l)	2.73	1.45	47	2.38	1.48	38
Chlorophyll <i>a</i> (µg/l)	59.5	25.1	58	29.0	19.3	33
Secchi depth (m)	1.94	2.36	22	2.01	2.35	17

The most significant decline occurred in the first part of the monitoring period. Of the 15 lakes there has been a significant decrease in summer total phosphorus concentrations in 12 over the entire monitoring period 1989-2014. For the past 10 years, this is the case in only five of the lakes (table 1.3).

Also the nitrogen concentration has decreased markedly since initiation of monitoring, and in the period 1989-2014 a significant decrease occurred in 14 of the 15 lakes. In the last 10 years, there has been a significant decrease in seven of the lakes; thus, in some of the lakes the reduction in nutrient levels, otherwise occurring primarily in the first part of the monitoring period, continues.

From 1989-2014, the concentration of chlorophyll *a* has declined in seven of the 15 lakes and Secchi depth has increased in nine lakes (table 1.3). In three lakes, however, enhanced concentrations of chlorophyll *a* have been registered, and in one lake decreased Secchi depth has been observed. In the past 10 years, the concentrations of chlorophyll *a* and Secchi depth have not changed in most lakes.

Table 1.3. Statistically significant developments (10% significance level) for selected key parameters (summer averages) in environmental state in 15 of the lakes included in the control monitoring of development over time; the lakes have been investigated since 1989 for the entire monitoring period (1989-2014) and for the past 10 years (2005-2014).

Parameter	1989-2014			2005-2014		
	Improved	Deteriorated	Unchanged	Improved	Deteriorated	Unchanged
Total phosphorus	12	0	3	5	0	10
Total nitrogen	14	0	1	7	0	8
Chlorophyll <i>a</i>	7	3	5	2	1	12
Secchi depth	9	1	5	0	3	12

The annual relative change in summer averages of the four key parameters since 1989 is shown as an index in figure 1.1 where the values in 1989 are set to 1 for all four parameters. The general picture is that of unchanged or slightly deteriorating conditions from 1989 to 1993, followed by a substantial improvement until 1996 after which there has been a steady improvement in nutrient levels and chlorophyll *a*. As also shown in table 1.2, the improvement in Secchi depth is less marked and during the past 10 years there has been no development trend.

The annual development in concentrations of total phosphorus, total nitrogen, chlorophyll *a* and Secchi depth in the 15 lakes since 1989 is also illustrated in figure 1.2. The figure shows the three quartiles (25%, median and 75%) and partly demonstrates that the greatest changes occurred in the beginning of the monitoring period and, second, that the most pronounced changes are found in the most nutrient-rich lakes.

Figure 1.1. Development in lake concentrations (summer averages) of total phosphorus (mg/l), total nitrogen (mg/l), chlorophyll a ($\mu\text{g/l}$) and Secchi depth (m) in the 15 lakes that are included in the control monitoring of development over time and have been followed since 1989. The trend is shown as an index where 1989 is set to 1 for all four parameters.

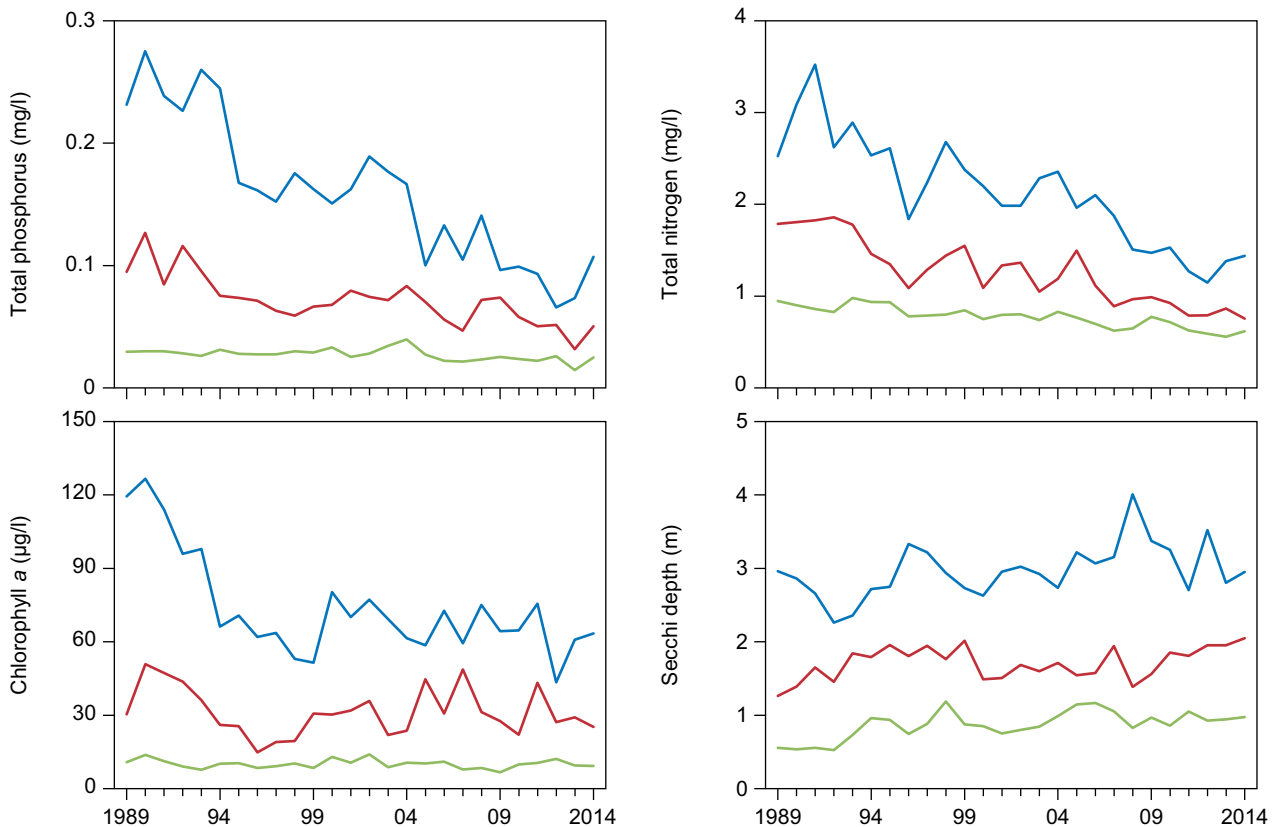
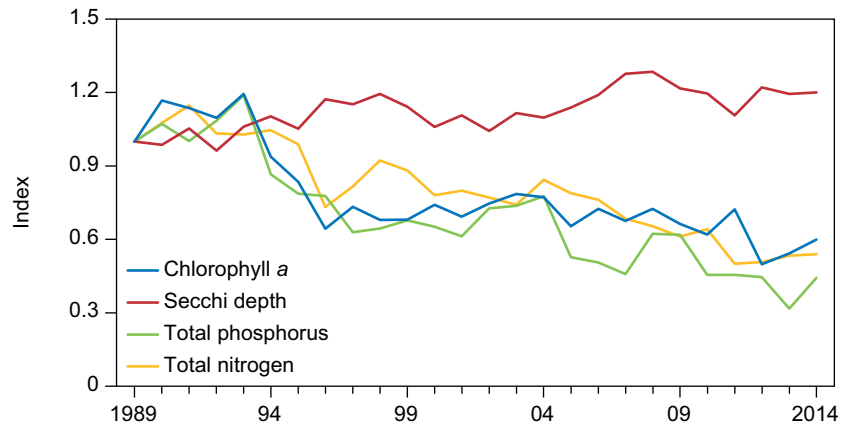


Figure 1.2. Development in lake concentrations of total phosphorus (mg/l), total nitrogen (mg/l), chlorophyll a ($\mu\text{g/l}$) and Secchi depth (m) in the 15 lakes that are included in the control monitoring of development over time and have been followed since 1989. The three curves for each parameter represent 25% (green), 50% (median, red) and 75% (blue) fractiles based on summer averages.

For phosphorus and nitrogen, there has been a marked reduction in the upper 75% fractile throughout the period, while the median value has decreased slightly, and the lower 25% fractile is largely unchanged. Chlorophyll a declined significantly during the first 10 years in the most chlorophyll-rich lakes, but during the last 15 years the level has remained relatively stable. The trend in median values and in the lower 25% fractile has been modest. Secchi depth has increased throughout the period for all three fractiles, but – again – primarily in the first 10 years.

For 10 of the intensively monitored lakes with well-defined water balances, mass balances have been calculated and source apportionment has been undertaken. Generally, both the concentrations of nitrogen and phosphorus running to and from the lakes have decreased significantly in most of the lakes, for phosphorus especially in the first part of the monitoring period as a result of reduced loads from wastewater treatment plants. Therefore, the concentration of phosphorus in the water that flows to and from the lakes has not shown a similar downward trend within the past 10 years. By contrast, for nitrogen, a persistent downward trend in concentrations has generally occurred in the water flowing to and from the lakes during the monitoring period. Thus, the average concentrations of phosphorus and nitrogen in the water supply to the lake have decreased by, respectively, 22 and 22% between the periods 1990-94 and 1995-2000, while the decrease is 8-10 and 13-15%, respectively, between the periods 1995-2000 to 2001-2006 and 2001-2006 to 2007-2013. Also absolute nitrogen and phosphorus inputs to the lakes have decreased. In contrast, relative retention exhibits large fluctuations and generally no significant change in the monitoring periods. Over the entire monitoring period, retention has, however, increased in four and five lakes for phosphorus and nitrogen, respectively.

1.2 Control monitoring of environmental state

The 120 lakes included during 2011-2014 in the control monitoring of environmental state represented seven lake types – 17 brackish lakes and 10 low-alkaline lakes, one of which is deep. The majority of the lakes are fresh, alkaline and shallow (66) or deep (27). The overall condition of all the lakes is depicted in table 4.1.

The 66 shallow, alkaline lakes are generally nutrient-rich with a summer median of 0.09 mg P/l, a Secchi depth of 0.9 m and a chlorophyll *a* concentration of 42 µg/l. Macrophyte coverage is relatively low (median 8.1%) and the fish stock generally dominated by cyprinids (roach, bream and rudd). Compared with the period 2004-2009, during 2011-2014 there has been a significant decrease in the concentration of total nitrogen and a significant increase in the number of macrophyte species.

Nutrient levels in the 27 deep, alkaline lakes are generally slightly lower than in the shallow lakes, with a summer median for total phosphorus of 0.06 mg P/l, a Secchi depth of 2.0 m and a chlorophyll *a* concentration of 18 µg/l. The median fish density is lower than in shallow lakes, but also here dominated by cyprinids; generally with a higher proportion of predatory fish than in the shallow lakes, however. Compared with the period 2004-2009, there has been a significant decrease in the concentrations of total phosphorus and total nitrogen. Other positive signs include a significant increase in the number of submerged macrophyte species and in the percentage of predatory fish, and there is also a trend towards an increase in the depth limit of the submerged macrophytes.

1.3 Operational monitoring

This year, a brief status is given of the environmental state in the 357 lakes included in the operational programme, which were examined in the period 2011-2014. The lakes represent a total of nine types and a general overview of the environmental state is given for the most frequent types. The lakes in the operational programme are not representative of Danish lakes in general as the lakes are not randomly chosen, but selected on the basis of the assumption that they are deemed at risk of failing to meet the goals for nature and environment in 2015 (European Union 2000). The lakes are not neces-

sarily a representative sample of all lakes that are scheduled to be studied within the framework of the operational programme.

Overall, the lakes in the operational programme are nutrient rich and the environmental state is slightly poorer than that observed in the lakes included in the control monitoring of environmental state (table 4.1). The most common lake type is shallow, alkaline, non-brown-water lakes (146 lakes), which are generally nutrient rich, but also range widely from nutrient-poor lakes to lakes in very poor condition. Nutrient levels in their brown-water counterparts (49 lakes, including one deep lake) are at least just as high, though with relatively more lakes having a significant macrophyte-covered area. This may be because these lakes are generally shallower than the non-brown-water lakes.

The 61 deep, alkaline non-brown-water lakes included in the operational monitoring are more nutrient poor than the shallow lakes, and their environmental state is similar to that observed in the deep, alkaline lakes included in the control monitoring of environmental state.

The most nutrient-poor lakes are the low-alkaline, non-brown-water lakes (in total nine lakes), part of which are water-filled, highly nutrient-poor, abandoned lignite mines.

Brown-water, low-alkaline lakes (21 lakes, all shallow) are more nutrient rich with high concentrations of chlorophyll *a* and low Secchi depth (50 cm).

Brackish lakes (71 lakes) are generally the most nutrient-rich lakes in the programme, especially the brown-water lakes (22) with a summer median for total phosphorus of 0.43 mg/l.

2 Undersøgellesprogrammet

Siden vedtagelsen af Vandmiljøplan 1 i 1988 er der sket løbende 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. I 2011 blev programmet udvidet med tre søer (hvoraf to søer tidligere er indgået i programmet), således at der nu foretages intensive undersøgelser ("kontrolovervågning", se nedenfor) i 18 søer.

Samtidig med reduktionen i antallet af de intensivt undersøgte søer (som var indeholdt i "Det intensive program") blev der i 2004 iværksat et mere ekstensivt undersøgelsesprogram med månedlige sommerprøvetagninger ("Det ekstensive program"), hvor søer <5 ha blev inddraget. 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 årligt 69 Ekstensiv-1 søer, 66 Ekstensiv-2 og 71 Ekstensiv-3 søer. I perioden 2004-2010 blev der således foretaget ekstensive undersøgelser i sammenlagt 771 søer. Fra 2008 blev omfanget af overvågningen af søer <5 ha reduceret, og søer i denne størrelsesgruppe bliver nu alene undersøgt i Naturtypeprogrammet.

I 2010 blev dele af det tidligere program (NOVANA 2004-2009) videreført som et "ekstra år" i den første NOVANA-periode. Samtidig indgår data fra 2010 indsamlet i de biologiske undersøgelser foretaget i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling (se nedenfor) i programperioden 2011-2015, da disse undersøges i en tre- eller seksårig turnus (tabel 2.4).

Fra og med 2011 trådte den nye NOVANA-periode i kraft. 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 i perioden 2011-2015 dels en *kontrolovervågning* og dels en *operationel overvågning* af søer >5 ha. Søer <5 ha er omfattet af naturtypeovervågningen, der er defineret i "Habitatdirektivet" (Den Europæiske Union 1992).

Kontrolovervågningen har til formål at "tilvejebringe dokumentation for søernes tilstand, den generelle udvikling i søerne samt vurdere naturlige eller menneskabte langtidsændringer. Desuden skal den medvirke til, at fremtidige overvågningsprogrammer kan udformes effektivt" (Naturstyrelsen 2011). Nærmere beskrivelse af kontrolovervågningen findes i afsnit 2.1.

Den operationelle overvågning skal give "datagrundlaget til at vurdere tilstand for de søer, som er i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet i 2015.

Desuden skal overvågningen bidrage med datagrundlag til at vurdere den nødvendige indsats” (Naturstyrelsen 2011). En nærmere beskrivelse af den operationelle overvågning findes i afsnit 2.2.

Indholdet i de forskellige undersøgelsesprogrammer er med baggrund i de tilgængelige ressourcer 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.

2.1 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. En oversigt over kontrolovervågningsens omfang er givet i tabel 2.1. Samlet udgør de 168 søer >5 ha, som er omfattet af kontrolovervågningen, ca. 28 % af alle danske søer i denne størrelsesgruppe (tabel 2.2).

Tabel 2.1. Kontrolovervågning – antal søer.

Kontrolovervågning	Antal søer pr. år	Antal søer i perioden 2011 – 2015
Økologisk og kemisk tilstand		
Tilstand (søer >5ha)	30	150
Udvikling (søer >5 ha)	18	18*)
Naturtyper		
Vandhuller og småsøer (0,01-1 ha)	35	175
Søer mellem 1 og 5 ha	35	175

*) Dækker perioden 2010-2015

Tabel 2.2. Oversigt over måleprogrammer i kontrolovervågningen af søer >5 ha i perioden 2010/11-2015 med arealafgrænsning af programmerne, antal undersøgte søer samt måleprogrammets turnus. ”% af alle” angiver, hvor stor en andel de udvalgte søer udgør af det samlede antal danske søer inden for hvert størrelsesinterval.

Programtype	Areal (hektar)	Antal søer	% af alle	Turnus (år)
Kontrolovervågning, udvikling (2010-2015)	7-4000	18	} 28	1*)
Kontrolovervågning, tilstand (2011-2015)	>5	150		6

*) Kemiske parametre. Biologiske parametre undersøges med lavere frekvens.

Overvågning af tilstand (søer >5 ha)

Til overvågning af de danske søers generelle økologiske og kemiske tilstand gennemføres der undersøgelser i 30 søer >5 ha hvert år, dvs. i alt 150 søer, i perioden 2011-2015. En del af søerne vil i forbindelse med det operationelle overvågningsprogram blive undersøgt for sigtddybde og udvalgte vandkemiske parametre to gange i perioden.

Søerne, der er omfattet af kontrolovervågningen af tilstand, var tidligere inkluderet i "Det ekstensive program" for de større søer (>5 ha) eller "Det intensive program". Udvælgelsen er geografisk stratificeret, og de væsentligste danske søtyper, herunder brakvandssøer, er omfattet.

Vandkemiske og fysiske forhold følges månedligt i den produktive periode (april-september) med få nøgleparametre (tabel 2.3). Derudover tages der en enkelt vinterprøve, der kan bruges som reference for næringsstofferne om sommeren samt til at opnå en bedre beskrivelse af bufferkapacitet og forsureningsstatus. Det giver i alt syv årlige prøvetagninger af de fysiske og kemiske forhold.

De biologiske undersøgelser i kontrolovervågningen af tilstand omfatter syv årlige planteplanktonprøver, undersøgelse af undervandsplanter én gang i juli/august samt en fiskeundersøgelse i august/september.

Ud over vandkemiske og biologiske undersøgelser bliver sedimentet undersøgt for totalfosfor og totaljern i alle søer samt for miljøfremmede stoffer og tungmetaller i 80 udvalgte søer. I disse udvalgte søer analyseres desuden for kviksølv i biota i udvalgte fisk i forbindelse med fiskeundersøgelsen.

Parametre, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, og deres frekvens fremgår af tabel 2.2.

Tabel 2.3. Oversigt over parametre og antal prøver i kontrolovervågningen af tilstand. De seks prøver tages månedligt fra 1. april til 30. september som overfladeprøver, og der tages en enkelt vinterprøve i november eller december.

Parametre	Antal prøver pr. år
<i>Vandkemiske og fysiske analyser:</i>	
- salinitetsprofil ¹	7
- ledningsevne	7
- ilt- og temperaturprofil	7
- pH	7
- farvetal	7
- alkalinitet	7
- totalkvælstof	7
- totalfosfor	7
- klorofyl <i>a</i>	7
- suspenderet stof	7
- sigtdybde	7
<i>Miljøfremmede stoffer og tungmetaller</i> ²	1
<i>Vandplanter</i>	1
<i>Planteplankton</i>	7
<i>Fisk</i>	1
<i>Sediment</i>	1

¹) Måles kun, hvis saliniteten er 0,5 ‰ eller derover.

²) Foretages i udvalgte søer på sediment (totalt 80 søer i perioden 2011-2015). Desuden analyseres fiskebiota for kviksølv i disse søer.

Overvågning af udvikling (søer >5 ha)

For at kunne give en detaljeret beskrivelse af tilstand og udvikling af udvalgte søtyper gennemføres der en mere intensiv overvågning af i alt 18 søer. Femten af disse søer var indtil 2010 en del af "Det intensive program" og

har således gennemgået biologiske og/eller kemiske undersøgelser hvert år i perioden 1989-2014. En af de tre "nye" 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 denne rapports analyse af den generelle udvikling.

I søer, hvor der foretages kontrolovervågning af udviklingen, beskrives næringsstoffdynamikken detaljeret. Dette sker på baggrund af til- og fraførslen af vand samt bestemmelser af totalkvælstof, totalfosfor og totaljern ved vandkemiske målinger i søens til- og afløb med en frekvens på 12-26, afhængigt af afstrømningsmønsteret (tabel 2.4). I søvandet beskrives næringsstofferne med målinger af både totale og uorganiske fraktioner af kvælstof og fosfor, tilsvarende måles næringsstofferne i bundvandet ved eventuel lagdeling af vandet i søerne.

Sedimentets indhold af totalfosfor og totaljern bestemmes en gang hvert sjette år til understøttelse af analyserne af næringsstoffomsætningen i søerne. Bufferkapacitet og forsyningsstatus kan beskrives ved måling af alkalinitet og pH, som sammen med bl.a. totaljern indgår i beskrivelsen af næringsstoffdynamikken i søerne. Herudover indgår også ilt- og temperaturprofiler, ledningsevne samt sigtddybde i en beskrivelse af de fysiske forhold i søvandet.

Mængden af organisk materiale i søvandet måles på to forskellige måder: Den totale mængde suspenderet materiale måles sammen med glødetabet, mens målinger af klorofyl *a* giver et estimat for biomassen af planteplankton.

Herudover undersøges en række biologiske komponenter. Tætheden af undervandsplanter, deres dybdeudbredelse og artssammensætning bliver undersøgt hvert tredje år i den enkelte sø. Fiskebestandens sammensætning og relative biomasse bliver opgjort hvert sjette år. Antal, biomasse og den taxonomiske sammensætning af plante- og dyreplanktonorganismer bliver opgjort gennem sæsonen hvert sjette år.

Med overgangen til den nye NOVANA-periode skete der fra 2010 reduktioner i frekvensen af plankton- og vegetationsundersøgelser i de intensivt undersøgte søer. Plante- og dyreplankton blev tidligere undersøgt hvert år, og undervandsvegetationen blev tidligere undersøgt hvert andet år. Den lavere undersøgelsesfrekvens betyder, at det tager længere tid at detektere en eventuel udvikling. En oversigt over de parametre, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, samt deres undersøgelsesfrekvens fremgår af tabel 2.4.

De intensive målinger i søerne giver grundlag for at udarbejde en detaljeret beskrivelse af søernes økosystem, således at næringsstoffomsætning, 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.

Eftersom der kun er medtaget 18 søer (hvoraf kun de 15 har en lang tidsserie) i kontrolovervågningen af udviklingen, kan disse søer ikke betragtes som værende repræsentative for danske søer som helhed, men kontrolovervågningen giver dog mulighed for at vurdere langsigtede udviklingstendenser i større søer. For så vidt angår kemiske og fysiske parametre, giver resultaterne fra disse søer et rimeligt grundlag for at vurdere resultaterne fra de mere eksten-

sivt overvågede søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand. De biologiske parametre undersøges ikke samme år i alle søer, og der opnås kun en enkelt værdi i en tre- eller seksårig periode. Eftersom de enkelte parametre kan variere meget fra år til år, giver det nuværende program kun ringe mulighed for at vurdere biologiske ændringer.

Tablet 2.4. Oversigt over måleprogram med årlige prøvetagningsfrekvenser i kontrolovervågningen af udvikling. Der udtages prøver hver 14. dag fra 1. april til 31. oktober. I den resterende periode udtages månedlige prøver. Hypolimnionprøver tages kun ved springlagsdannelse, og frekvensen angiver et omtrentligt gennemsnit for søer. I de enkelte søer er den aktuelle frekvens mellem 0 og 15.

	Søvand	
	Epilimnion	Hypolimnion
<i>Vandkemiske og fysiske analyser:</i>		
- salinitetsprofil ^{*)}	19	5
- ledningsevne ¹	19	5
- ilt- og temperaturprofil ¹	19	5
- pH	19	5
- farvetalet	19	5
- alkalinitet	19	5
- nitrit+nitratkvælstof	19	
- ammoniumkvælstof	19	
- totalkvælstof	19	
- totalfosfor	19	
- opløst fosfat fosfor	19	
- klorofyl a	19	
- totaljern	19	
- silikat+silicium	19	
- suspenderet stof	19	
- glødetab af susp. stof	19	
- sigtddybde ¹	19	
- vandstand ¹	19	
<i>Vandføring¹</i>	12-26 eller kontinuert	
<i>Sedimentkemi</i>	hvert 6. år	
<i>Planteplankton</i>	12 hvert 6. år **	
	(1 gang pr. md.)	
<i>Miljøfremmede stoffer og tungmetaller²</i>	1	
<i>Dyreplankton</i>	12 hvert 6. år **	
	(1 gang pr. md.)	
<i>Vandplanter</i>	hvert 3. år	
<i>Fiskeundersøgelse</i>	hvert 6. år **	

¹⁾ Feltnålinger inkl. dybdeprofil for ilt og temperatur.

²⁾ Foretages i udvalgte søer på sediment (totalt 80 søer i perioden 2011-2015). Desuden analyseres fiskebiota for kviksølv i disse søer.

^{*)} Måles kun hvis saliniteten er 0,5 ‰ eller derover.

^{**) Én gang i perioden 2011-2015.}

Naturtypesøer

Til vurdering af bevaringsstatus og udvikling af Habitatdirektivets beskyttede sønaturtyper vil der i perioden 2011-2015 årligt blive foretaget ekstensive undersøgelser i 70 søer <5 ha i kontrolovervågningen, i alt 350 søer. Naturtypeovervågningen af søer >5 ha foregår samtidig med den øvrige kontrolovervågning af disse.

Til naturtypeundersøgelserne af søer <5 ha er der udvalgt søer, så der opnås en nogenlunde ligelig fordeling mellem følgende seks naturtyper, der er defineret i Habitatdirektivet:

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

Derudover er det tilstræbt at undersøge søer, der tidligere indgik i "Det ekstensive program" (dvs. søer, der tidligere blev benævnt Ekstensiv-2 eller Ekstentiv-3 søer). Derved er det muligt med tiden at få et indtryk af søernes udvikling.

Parametre, der indgår i kontrolovervågningen af naturtypesøerne <5 ha, og deres frekvens fremgår af tabel 2.5. Der foreligger endnu ikke et færdigudviklet tilstandsvurderingssystem for søer >5 ha.

Resultaterne for Naturtypesøerne afrapporteres på et senere tidspunkt.

Tabel 2.5. Oversigt over parametre i overvågningen af naturtypesøer <5 ha.

Parametre	Antal prøver pr. år
<i>Vegetation</i>	1
<i>Opland</i>	1
<i>Trusler</i>	1
<i>Vandkemiske og fysiske analyser:</i>	1
- salinitet	1
- ledningsevne	1
- temperatur	1
- pH	1
- farvetalet	1
- alkalinitet	1
- totalkvælstof	1
- totalfosfor	1
- klorofyl <i>a</i>	1

2.2 Operationel overvågning

Den operationelle overvågning omfatter en overvågning af tilstand i forhold til både Vandrammedirektiv og Habitatdirektiv. Søerne, der undersøges i dette program, er udpeget af Naturstyrelsen. En oversigt over antal søer er givet i tabel 2.6.

Tabel 2.6. Operationel overvågning – antal søer.

Operationel overvågning	Antal søer pr. år	Antal søer i perioden 2011 – 2015
Økologisk og kemisk tilstand	62 ⁾	310 ⁾
Naturtyper	360	1800

⁾Herudover forventes det, at ca. 75 % af søerne i kontrolovervågningen har behov for operationel overvågning, svarende til ca. 130 søer.

Økologisk og kemisk tilstand

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 i ca. 62 søer >5 ha. Derudover forventes det, at ca. 75 % af søerne, der er omfattet af kontrolovervågningen, har behov for operationel overvågning. Det vil sige, at i alt ca. 440 søer >5 ha vil indgå i den operationelle overvågning i perioden 2011-2015.

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 udvalgte vandkemiske og fysiske parametre samt undersøgelse af sediment og vandplanter (tabel 2.7).

Tabel 2.7. Oversigt over parametre, der måles i søer, der er omfattet af det operationelle program. Fysiske og kemiske parametre måles i overfladevandet. Ved springlagsdannelse måles ilt, temperatur, pH, nitrit-nitrat kvælstof og totalfosfor derudover i hypolimnion 2-3 gange pr. år.

Parametre	Antal prøver pr. år
<i>Vandkemiske og fysiske analyser</i>	
- salinitetsprofil ¹⁾	7
- ledningsevne	7
- profilmålinger (Ilt, temperatur)	7
- pH	7
- farvetal	7
- alkalinitet	7
- totalkvælstof	7
- totalfosfor	7
- klorofyl a	7
- suspenderet stof	7
- sigtdybde	7
- nitrit-nitrat kvælstof ²⁾	7
- opløst fosfat fosfor ²⁾	7
<i>Vandplanter²⁾</i>	1
<i>Sedimentkem²⁾</i> (totalfosfor, totaljern, tørstof, glødetab)	1
<i>Miljøfremmede stoffer og tungmetaller²⁾</i>	1

¹⁾ Måles kun, hvis saliniteten er 0,5 ‰ eller derover. ²⁾ Kun i udvalgte søer (se Naturstyrelsen (2011)).

For søer, der er tæt på målopfyldelse, eller som forventes at gennemgå en ændring i programperioden, kan ovennævnte undersøgelse i programperioden suppleres med en ekstra undersøgelse bestående af vandkemiske og fysiske analyser (tabel 2.7).

Naturtypesøer

For at sikre et tilstrækkeligt videngrundlag for søerne i forhold til naturplanerne foregår der operationel overvågning af ca. 360 søer pr. år, dvs. i alt ca. 1800 søer i perioden 2011-2015. Den operationelle overvågning af tilstanden i søer og vandhuller <5 ha omfatter parametre nævnt i tabel 2.8. Dataindsamlingen til brug ved registrering af søtype og vurderingen af tilstanden i den operationelle overvågning af naturtypesøer >5 ha følger programmet beskrevet ovenfor.

Tabel 2.8. Oversigt over parametre, der måles i søer, der indgår i tilstandsvurderingen af vandhuller og småsøer <5 ha i den operationelle overvågning.

Parametre	Antal prøver pr. år
<i>Vegetation</i>	1
<i>Opland</i>	1
<i>Trusler</i>	1
<i>Vandkemiske og fysiske analyser</i>	
- salinitet	1
- temperatur	1
- pH	1
- farvetal	1
- alkalinitet	1

3 Kontrolovervågning af søernes udvikling

Denne del af rapporten indledes med en generel karakteristik af de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling (figur 3.1). Femten af disse søer var i perioden 1989-2010 omfattet af "Det intensive program" og har dermed gennemgået intensive undersøgelser siden 1989. Karakteristikken omfatter nøgletabeller med gennemsnits-, median-, minimums- og maksimumsværdier af udvalgte variable. Herefter følger en række små afsnit, som beskriver standardindikatorerne: fosfor, kvælstof, klorofyl *a*, sigtdybde samt fosfor- og kvælstoftransport til og fra søerne.

I 2010 indledtes den første treårige turnus (2010-2012) for undersøgelserne af undervandsplanterne samt den seksårige undersøgelsesturnus for plankton- og fiskeundersøgelser i perioden 2010-2015. Resultaterne af vegetationsundersøgelserne dækkende perioden 2010-2012 er afrapporteret i rapporten "Søer 2012" (Bjerring m.fl. 2013). For alle de biologiske parametre forventes næste afrapportering at ske i 2016. For plankton- og fiskeundersøgelser vil den dække perioden 2010-2015 og for undervandsplanterne perioden 2013-2015.

For hver af de udvalgte fysiske og kemiske indikatorer beskrives den aktuelle tilstand og udviklingen. Udviklingen i søernes tilstand er især vurderet på grundlag af tidsvægtede sommergennemsnit af de enkelte variable (1. maj - 30. september).

3.1 Generel karakteristik

Generelt dækker de 18 søer over 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. Hydraulisk opholdstid varierer med omkring en faktor 300 (Hinge Sø: ca. 0,05 år og Furesøen ca. 15 år). Også dybdemæssigt er der store forskelle fra søer med en maksimumdybde på 1,1 m (Tranemose) til Danmarks dybeste sø (Furesøen) med dybder ned til 38 m.

Vandkemiske parametre varierer fra relativt næringsfattige søer med totalfosforkoncentrationer på ned til 0,014 mg P/l til næringsrige søer med fosforkoncentrationer på ca. 0,27 mg P/l som sommergennemsnit (tabel 3.1). Selvom disse søer altså repræsenterer et bredt spektrum af næringsstofkoncentrationer, dominerer de middelnæringsrige søer, og der er ikke mange egentligt næringsfattige eller meget næringsrige søer i gruppen. Der er tilsvarende forskelle om sommeren i vandets indhold af klorofyl *a* og sigtbarhed med klorofylkoncentrationer mellem 4 og 176 µg/l og middelsommersigttybder mellem 0,39 og 3,9 m. Søernes alkalinitet om sommeren spænder fra 0,05 til 4,7 meq/l med overvægt af de alkaline søer. pH-værdierne varierer mellem 4,5 og 9,3, og søerne dækker dermed et bredt spektrum af surhedsgrader. Alle de nævnte værdier er fra overvågningen i 2014.

Figur 3.1. Geografisk placering af de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling.



Tabel 3.1. Vandkemiske forhold i de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling i 2014, baseret på års- og sommergennemsnit for de enkelte søer.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Totalfosfor (mg/l) år	0,093	0,057	0,017	0,466	18
Totalfosfor (mg/l) sommer	0,087	0,053	0,014	0,272	18
Opløst fosfor (ortho-P) (mg/l) år	0,017	0,011	0,002	0,071	18
Opløst fosfor (ortho-P) (mg/l) sommer	0,012	0,005	0,002	0,081	18
Totalkvælstof (mg/l) år	1,68	1,48	0,33	4,51	18
Totalkvælstof (mg/l) sommer	1,27	0,99	0,30	3,69	18
Nitrat (NO ₃ -N) (mg/l) år	0,73	0,49	0,07	2,25	18
Nitrat (NO ₃ -N) (mg/l) sommer	0,23	0,05	0,02	1,05	18
Klorofyl a (µg/l) år	47,8	19,5	6,4	361	18
Klorofyl a (µg/l) sommer	47,2	28,0	4,3	176	18
Farvetal (mg Pt/l) år	35,0	23,3	7,3	199	18
Farvetal (mg Pt/l) sommer	34,0	22,3	7,6	200	18
Sigt dybde (m) år	2,05	2,07	0,28	4,64	18
Sigt dybde (m) sommer	1,79	1,51	0,39	3,90	18
Alkalinitet (meq/l) år	2,21	2,25	0,048	5,21	18
Alkalinitet (meq/l) sommer	2,10	2,14	0,053	4,72	18
pH år	8,0	8,3	4,5	8,8	18
pH sommer	8,2	8,5	4,5	9,3	18

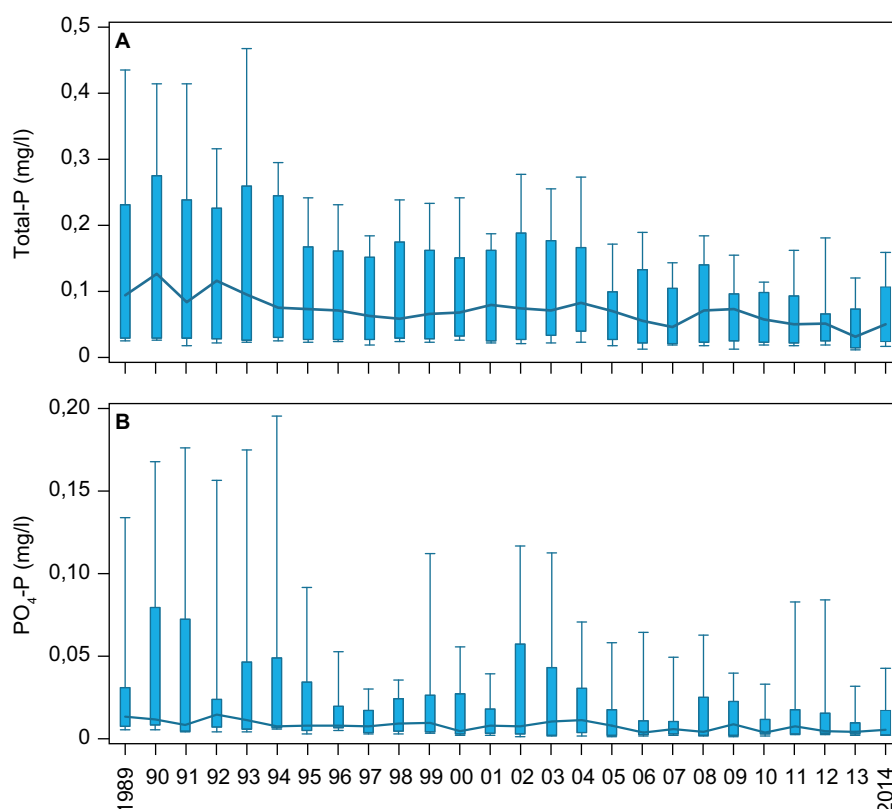
3.2 Fosfor

Fosfor i vandmiljøet kommer primært fra landbrugs- og naturarealer, spildevand fra byer og spredt bebyggelse og i mindre omfang fra industrier og dambrug (se afsnit 3.6).

Fosfor er et plantenæringsstof, der i de fleste søer betragtes som den mest begrænsende faktor for algevæksten. Fosfor har altså 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 er direkte tilgængelig for algernes produktion. Høje koncentrationer af opløst fosfor tyder derfor ikke på fosforbegrænsning.

Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2014 af henholdsvis totalfosfor og opløst fosfor (orthofosfat) i de søer, der er omfattet af kontrolovervågningen af udvikling, og som har været undersøgt siden 1989, er vist i figur 3.2. Resultaterne for de enkelte søer ses i figur 3.3 og tabel 3.4. De tre søer, som har været med i kontrolovervågningen af søernes udvikling siden 2011, er ikke medtaget i disse fremstillinger; års- og sommermiddelkoncentrationerne for disse ses i tabel 3.4.

Figur 3.2. Udviklingen i sommergennemsnit for søkoncentrationen af A: totalfosfor (Total-P) og B: 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 viser medianværdien.



Det største fald i fosfor, både på sommer- og årsbasis, er generelt sket i begyndelsen af overvågningsperioden (figur 3.2). 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. Mediankoncentrationen af totalfosfor var i 2014 på 0,050 mg/l, hvilket er omkring niveauet

fundet de foregående tre år. Det samme mønster gør sig gældende for medianværdierne af orthofosfat, hvor værdierne fra 1989 til 1993 generelt lå højest, og de laveste værdier ses fra 2005 og frem (figur 3.2). Reduktioner i medianværdierne i perioden 1989-2014 er et udtryk for, at det generelle koncentrationsniveau, også i de middelnæringsrige søer, er reduceret.

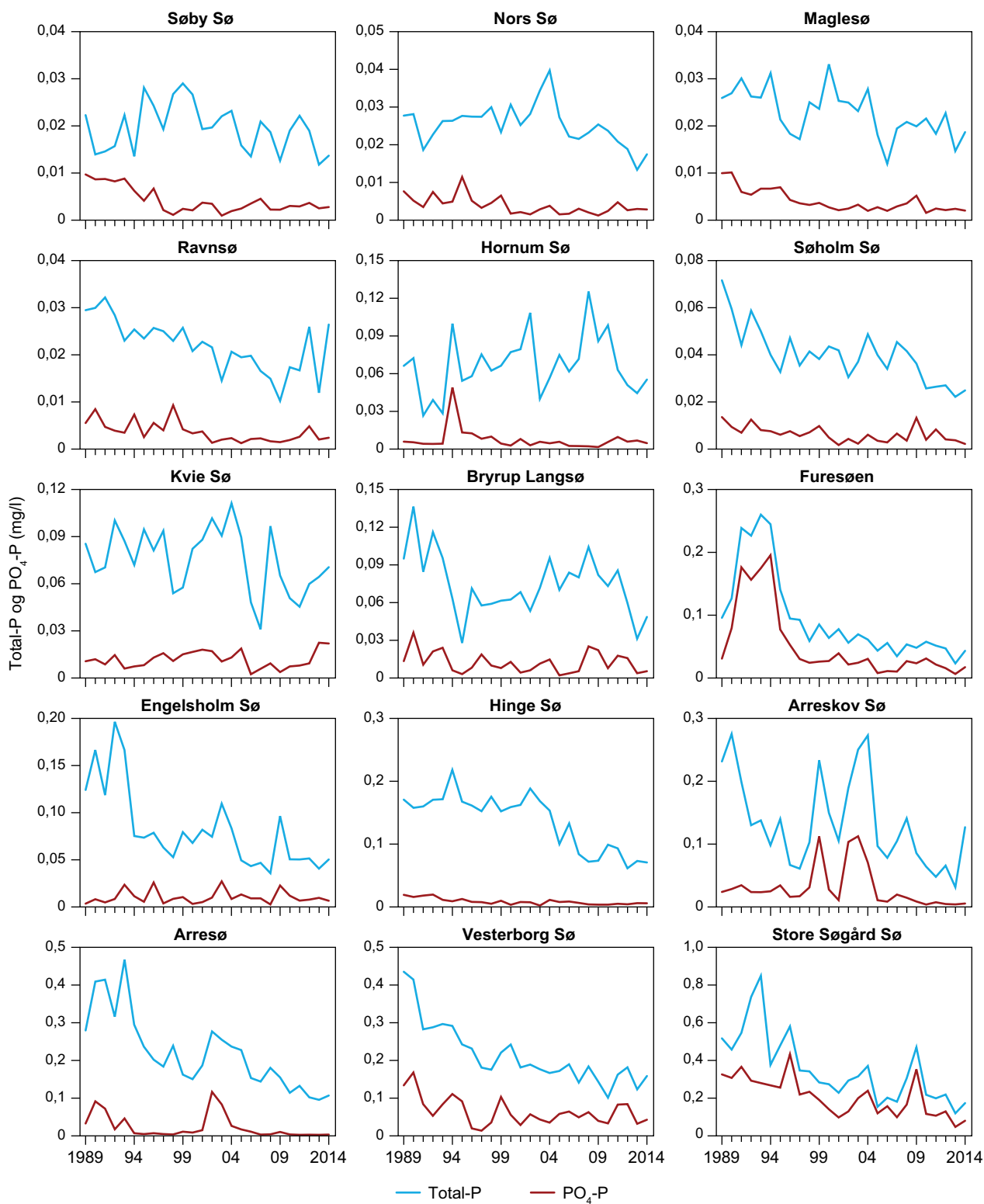
Årsgennemsnitsværdierne for totalfosfor er faldet støt fra ca. 0,15 mg/l i perioden 1989-94 til 0,06 i 2014 og opløst fosfor fra ca. 0,05 til 0,02 mg/l i 2014 (tabel 3.2), svarende til en reduktion på omkring 60 %. På årsbasis er medianen af det totale fosforniveau i de 15 søer reduceret med ca. 50 % i den samme periode. I de rene søer (25 % kvartilen) har totalfosforindholdet stort set været uændret gennem hele undersøgelsesperioden. Derimod er der sket en markant nedgang i totalfosforkoncentrationen fra 0,23 mg/l til 0,09 mg/l, svarende til en reduktion på næsten 70 % i den mest næringsrige del af søerne (75 % kvartilen).

Tabel 3.2. Koncentrationen af totalfosfor (Total-P) og opløst fosfor (Ortho-P) angivet som årsgennemsnit- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler (overfladevand) for perioderne 1989-94, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2013 samt 2014 i 15 af de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, og som er overvåget siden 1989. Baseret på årsgennemsnit for de enkelte søer, enheden er mg/l.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Årsværdier							
Total-P	1989-1994	0,145	0,020	0,035	0,098	0,228	0,462
	1995-2000	0,098	0,021	0,030	0,064	0,120	0,323
	2001-2006	0,087	0,020	0,027	0,071	0,133	0,199
	2007-2013	0,066	0,018	0,031	0,065	0,073	0,175
	2014	0,062	0,017	0,039	0,048	0,094	0,140
Ortho-P	1989-1994	0,054	0,006	0,010	0,016	0,073	0,280
	1995-2000	0,035	0,004	0,008	0,014	0,037	0,222
	2001-2006	0,030	0,002	0,008	0,014	0,047	0,118
	2007-2013	0,022	0,003	0,005	0,014	0,025	0,102
	2014	0,020	0,002	0,003	0,013	0,025	0,071

At de mest signifikante reduktioner i fosforniveauet siden 1989 generelt er sket i de næringsrige søer er også tydelig, hvis man ser på de enkelte søers udvikling (figur 3.3). Således er der på 0,1 % signifikansniveau sket en reduktion i sommerkoncentrationen af totalfosfor i fem af seks søer med en koncentration på mere end 0,1 mg/l i 1989, mens der i de mere næringsfattige søer ikke ses nogen signifikant ændring eller kun med en lavere statistisk sikkerhed (tabel 3.3).

Hvis man ser på perioden 1989-2014 som helhed, er totalfosforindholdet gennem årene reduceret i langt de fleste af søerne (figur 3.3). Som års- og sommermiddel er reduktionen signifikant i henholdsvis 13 og 12 af de 15 søer med ubrudt tidsserie (tabel 3.3). Det er lidt forskelligt, hvornår reduktionen er sket, men som før beskrevet, er det primært i den første del af perioden. Dette illustreres ved, at der på års- og sommerbasis kun er sket signifikante reduktioner i fem søer i de seneste 10 år. I 14 ud af de 15 søer var den gennemsnitlige sommerkoncentration af totalfosfor højere i 2014 end i 2013. Indholdet af orthofosfat er i perioden som helhed reduceret i 11 (på årsbasis) og 10 (sommer) søer, men kun i to søer i de seneste 10 år.



Figur 3.3. Udvikling i sommergennemsnitskoncentrationen af totalfosfor (Total-P, blå) og opløst fosfor (PO₄-P, rød) i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling og har været overvåget siden 1989. Bemærk forskellige skalaer på akserne.

Tabel 3.3. Udviklingen i indholdet af totalfosfor (Total-P) og opløst fosfor (Ortho-P) i overfladevand over hele perioden 1989-2014 og de seneste 10 år (2005-2014) i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, og som har været undersøgt fra 1989 til 2014. -/+, -/++, -/+ +++, -/-/+ + + + 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			
	Ortho-P		Total-P		Ortho-P		Total-P	
	1989-2014	2005-2014	1989-2014	2005-2014	1989-2014	2005-2014	1989-2014	2005-2014
Nors Sø	---	+	---	0	---	+	--	---
Hornum Sø	0	0	0	---	0	0	0	0
Hinge Sø	---	0	---	---	---	0	---	-
Ravn Sø	++	++++	0	++	---	0	---	0
Bryrup Langsø	---	0	---	---	0	0	0	--
Søby Sø	---	0	---	0	---	0	0	0
Kvie Sø	0	0	---	0	0	0	-	0
Engelsholm Sø	+++	0	---	0	0	0	---	0
Store Søgård Sø	---	0	---	0	---	0	---	0
Arreskov Sø	---	0	---	0	---	--	---	0
Søholm Sø	---	---	---	---	---	0	---	---
Arresø	---	---	---	---	---	--	---	---
Furesøen	---	0	---	0	---	0	---	0
Maglesø	---	0	---	0	---	0	---	0
Vesterborg Sø	---	0	---	0	0	0	---	0
I alt +/++/+ + + + +	2	2	0	1	0	1	0	0
I alt -/-/-/-/-	11	2	13	5	10	2	12	5

I de tre søer, som har været med i kontrolovervågningen af udvikling siden 2011, varierer koncentrationen af totalfosfor en del fra år til år i alle tre søer, både om sommeren og på årsbasis (tabel 3.4). Niveauerne er højt i både Ulvedyb og Keldsnor i sommerperioden (0,2-0,3 mg/l) og højest i Keldsnor på årsbasis (0,28-0,47 mg/l). Tranemose har lave koncentrationer både om sommeren og på årsbasis (0,02-0,04 mg/l). Der er endnu for få målear til at afgøre, om der er sket nogen udvikling.

Tabel 3.4. Gennemsnit for søkoncentrationen af totalfosfor (Total-P) og opløst fosfor (Ortho-P) for de tre søer, der er indgået i kontrolovervågningen af udvikling fra 2011. Enheden er mg/l.

	Ulvedyb		Tranemose		Keldsnor	
	Total-P	Ortho-P	Total-P	Ortho-P	Total-P	Ortho-P
Sommergennemsnit						
2011	0,267	0,006	0,037	0,006	0,285	0,006
2012	0,256	0,007	0,022	0,002	0,267	0,006
2013	0,225	0,007	0,018	0,001	0,207	0,006
2014	0,272	0,006	0,025	0,005	0,259	0,004
Årsgennemsnit						
2011	0,289	0,019	0,031	0,005	0,281	0,008
2012	0,248	0,008	0,023	0,002	0,343	0,005
2013	0,197	0,010	0,022	0,002	0,307	0,005
2014	0,243	0,006	0,026	0,003	0,466	0,004

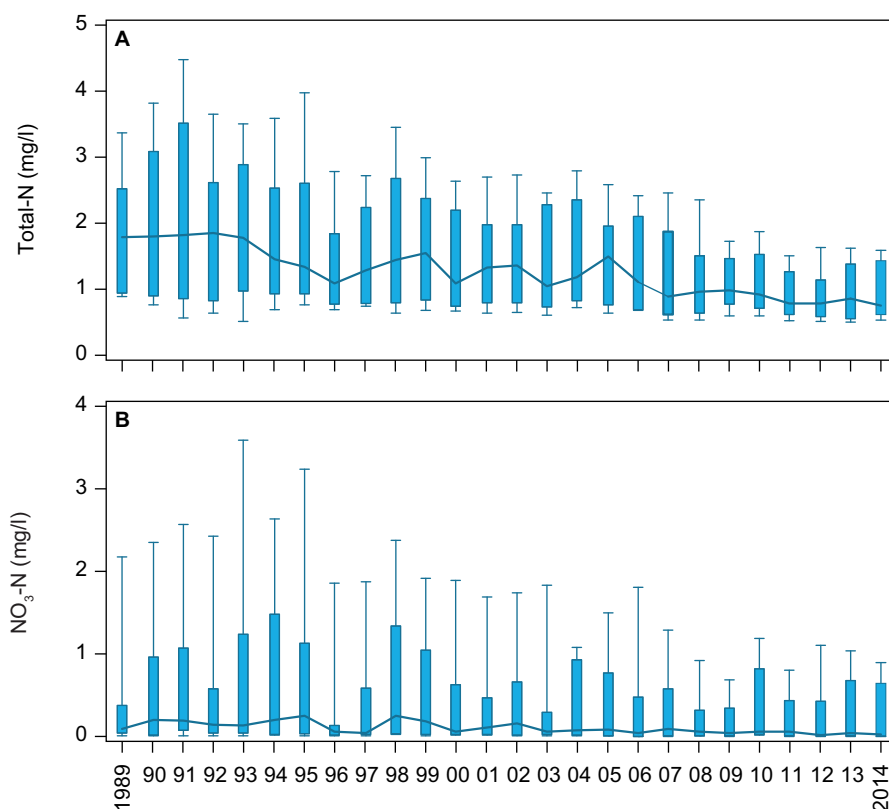
3.3 Kvælstof

Kvælstof i vandmiljøet stammer primært fra udvaskning fra det åbne land, hvoraf landbrugsarealer udgør størstedelen. Mindre betydende kilder er renseanlæg, industrier og dambrug (se afsnit 3.6).

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 kvæstoffjernelse (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 alger. Indholdet af nitrat, der som regel udgør den største andel af opløst kvælstof direkte tilgængelig for algernes produktion, reduceres ofte hen over sommeren på grund af algernes optag og øget denitrifikation.

Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2014 af henholdsvis totalkvælstof og nitrat i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udviklingen, ses i figur 3.4. Resultaterne for de enkelte søer ses i figur 3.5 og tabel 3.5. Reduktioner i medianværdierne er et udtryk for, at det generelle koncentrationniveau, herunder også i de middelnæringsrige søer, er reduceret. Sommer- og årsmiddelkoncentrationerne fra perioden 2011-2014 for de tre "nye" søer i programmet ses i tabel 3.7.

Figur 3.4. Udviklingen i sommergennemsnit for søkoncentrationen af A: totalkvælstof (Total-N) og B: nitrat ($\text{NO}_3\text{-N}$) (mg N/l) i de 15 søer, der har været overvåget siden 1989. Søjerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjen viser medianværdien.



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 3.4). Frem til 1996 skete der et konstant fald i koncentrationen til 1,1 mg/l. I de følgende 10 år varierede totalkvælstofkoncentrationerne mellem 1 og 1,5 mg/l, mens de fra 2007 konstant har ligget under 1 mg/l. Medianværdierne for sommerkoncentrationen af totalkvælstof var i 2007 og i perioden 2011-2014 de laveste i overvågningsperioden (0,8-0,9 mg/l), dvs. en halvering ift. overvågningens begyndelse.

Sommermedianen af 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 6) 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, lå under 0,1 mg/l (figur 3.4).

Årsgennemsnittet for totalkvælstof og nitrat i de 15 søer er siden 1989-1994 begge ca. halveret fra et niveau på hhv. 2,7 og 1,5 mg/l til i 2014 hhv. 1,45 og 0,74 mg/l (tabel 3.5). I samme periode er medianværdien også reduceret, dog med lidt mindre, omkring 40 %. Ligesom for fosfor er den største reduktion sket i den mest næringsrige del af søerne. Den nedre 25 % kvartil for totalkvælstof er således reduceret med 25 %, mens 75 % kvartilen er reduceret med 59 %.

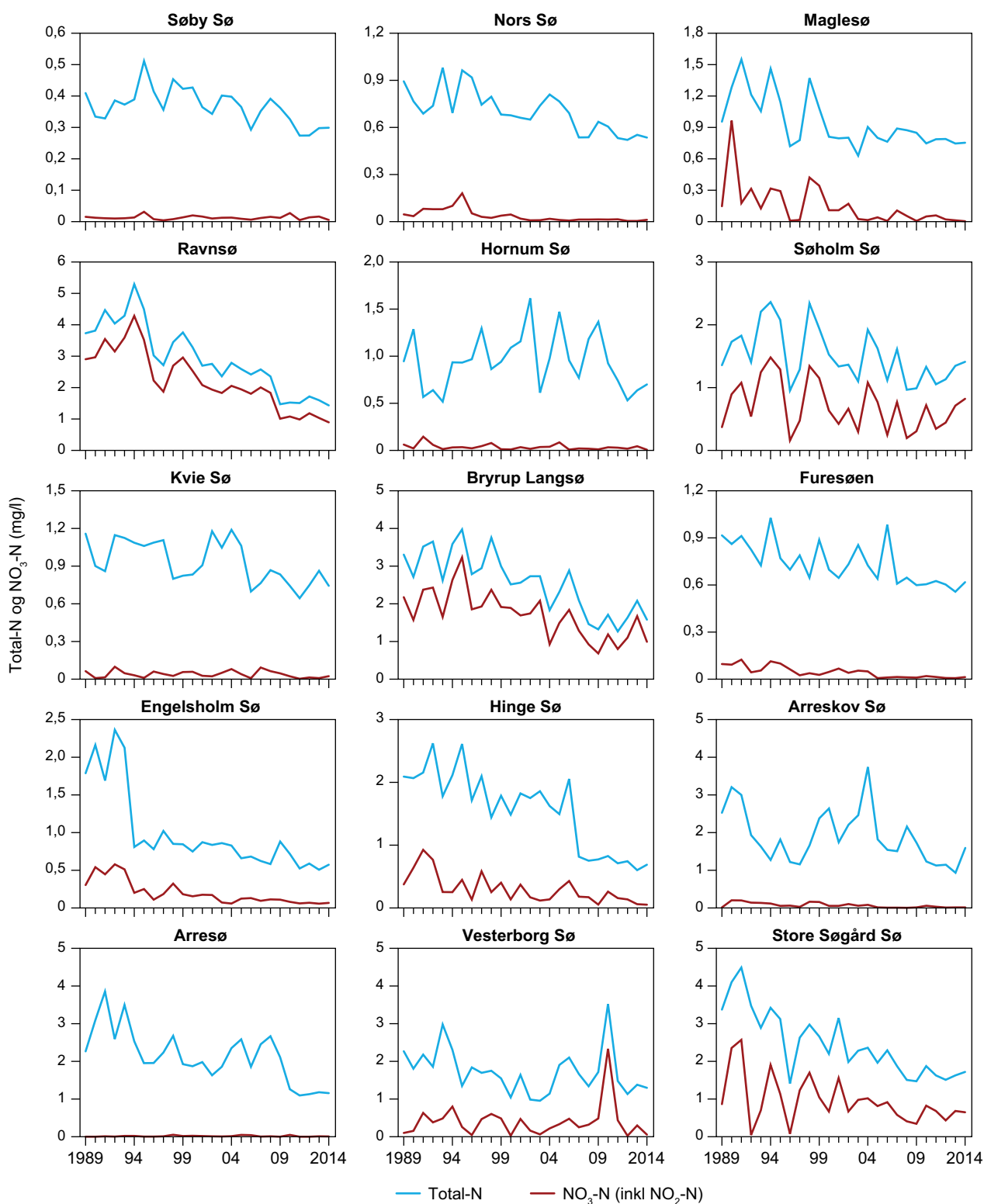
Tabel 3.5. Koncentrationen af totalkvælstof (Total-N) og nitrat angivet som årsgennemsnit og medianværdier, minima, maksima samt 25 % og 75 % kvartiler (overfladevand) for perioderne 1989-94, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2013 samt 2014 i de 15 søer, som har været overvåget siden 1989. Baseret på årsgennemsnit for de enkelte søer, enheden er mg/l.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
		Årsværdier					
Total-N	1989-1994	2,73	0,46	0,95	2,38	4,35	5,92
	1995-2000	2,15	0,48	1,05	1,89	3,53	4,01
	2001-2006	1,96	0,41	0,86	1,77	2,80	4,25
	2007-2013	1,62	0,37	0,89	1,57	2,03	3,91
	2014	1,45	0,33	0,71	1,48	1,80	3,02
Nitrat	1989-1994	1,50	0,08	0,25	0,71	3,33	3,92
	1995-2000	1,15	0,09	0,21	0,49	2,49	3,17
	2001-2006	0,99	0,07	0,17	0,38	2,07	3,20
	2007-2013	0,83	0,05	0,13	0,29	1,52	2,77
	2014	0,74	0,05	0,13	0,43	1,18	2,22

Størst totalkvælstofreduktion i de mest næringsrige søer siden 1989 giver sig også udslag i signifikansniveauet. Således er der i fire af de syv søer, hvori der fandtes totalkvælstofkoncentrationer højere end 2 mg/l (sommersmiddel) i begyndelsen af overvågningsperioden, sket et fald på 0,1 % signifikansniveau (figur 3.5 og tabel 3.6).

Ser man på enkelt søerne i perioden 1989-2014, er der som helhed sket en reduktion i totalkvælstofkoncentrationen i næsten alle 15 søer (figur 3.5, tabel 3.6), både hvad angår sommergennemsnit (13 søer) og årsgennemsnit (14 søer). Lidt færre søer viser et fald, hvis der kun ses på de seneste 10 år, hvor der har været et signifikant fald i 10 søer, hvad angår årsværdier, og i syv søer, hvad angår sommerværdier, dog generelt med lavere signifikans end for perioden som helhed. Indholdet af nitrat er i perioden 1989-2014 reduce-

ret i 11 søer for årsmiddelt og ni for sommermiddelt. Også her er ændringerne de seneste 10 år mindre markante, og her ses en reduktion i tre søer som sommermiddelt og fem søer som årsmiddelt. Ingen af de 15 søer har oplevet en signifikant stigning, hverken i totalkvælstof- eller nitratkoncentration og hverken i perioden som helhed eller i de sidste 10 år.



Figur 3.5. Udvikling i sommergennemsnitskoncentrationen af totalkvælstof (Total-N, blå) og nitrat (NO₃-N, inkl. NO₂-N, rød) i hver af de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling og har været overvåget siden 1989. Bemærk forskellige skalaer på akserne.

Tabel 3.6. Udviklingen i indholdet af totalkvælstof (Total-N) og nitrat (NO₃-N) i søvand over hele perioden 1989-2014 og de seneste 10 år i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, og som har været undersøgt fra 1989 til 2014. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ 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			
	Nitrat		Total-N		Nitrat		Total-N	
	1989-2014	2005-2014	1989-2014	2005-2014	1989-2014	2005-2014	1989-2014	2005-2014
Nors Sø	----	0	----	---	----	0	----	--
Hornum Sø	----	0	0	----	--	0	0	--
Hinge Sø	----	0	----	----	----	--	----	---
Ravnsø	----	----	----	----	----	---	----	---
Bryrup Langsø	----	--	----	---	----	0	----	0
Søby Sø	--	---	----	---	0	0	---	-
Kvie Sø	0	0	0	0	0	0	---	0
Engelsholm Sø	----	0	----	0	----	---	----	0
Store Søgård Sø	0	0	----	----	0	0	----	0
Arreskov Sø	----	0	----	0	----	0	--	-
Søholm Sø	0	0	---	0	0	0	--	0
Arresø	0	----	----	----	0	0	----	---
Furesøen	----	0	----	--	----	0	----	0
Maglesø	----	0	----	0	----	0	----	0
Vesterborg Sø	--	---	---	---	0	0	-	0
I alt +/++/+++/++++	0	0	0	0	0	0	0	0
I alt -/--/---/----	11	5	13	10	9	3	14	7

I de tre "nye" søer har koncentrationen af totalkvælstof varieret lidt i løbet af de fire år, de har været med i kontrolovervågningen af udvikling (tabel 3.7). Niveaulet er højest i Ulvedybet i sommerperioden (2,4-3,2 mg/l) og i Keldsnor på årsbasis (3,3-4,5 mg/l) og lavest i Tranemose (0,7-0,9 mg/l om sommeren og 0,8-1,0 på årsbasis). Der er endnu for få måleår i disse søer til, at der kan analyseres for generelle udviklingstendenser.

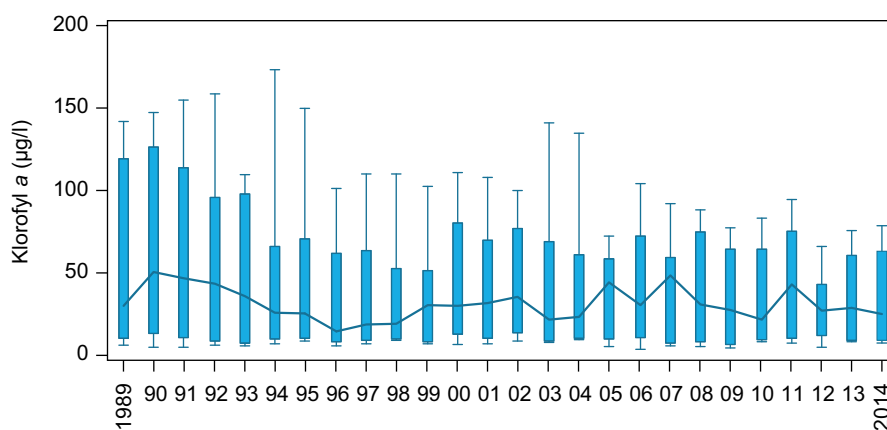
Tabel 3.7. Sommergennemsnit for søkoncentrationen af totalkvælstof (Total-N) og opløst nitrat for de tre søer, der indgik i kontrolovervågningen af udvikling fra 2011. Enheden er mg/l.

	Ulvedybet		Tranemose		Keldsnor	
	Total-N	Nitrat	Total-N	Nitrat	Total-N	Nitrat
Sommergennemsnit						
2011	2,40	0,007	0,93	0,004	2,82	0,014
2012	3,01	0,012	0,69	0,003	2,97	0,015
2013	2,74	0,074	0,79	0,010	2,98	0,041
2014	3,17	0,057	0,82	0,008	3,69	0,028
Årsgennemsnit						
2011	2,50	0,442	0,90	0,037	3,25	0,373
2012	2,95	0,392	0,79	0,015	3,66	0,164
2013	2,63	0,495	0,88	0,019	3,94	0,181
2014	3,04	0,421	0,96	0,028	4,51	0,139

3.4 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. Klorofylindholdet varierer dog i de forskellige algearter, ligesom det kan variere med årstiden i den enkelte art.

Figur 3.6. 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 viser medianværdien.



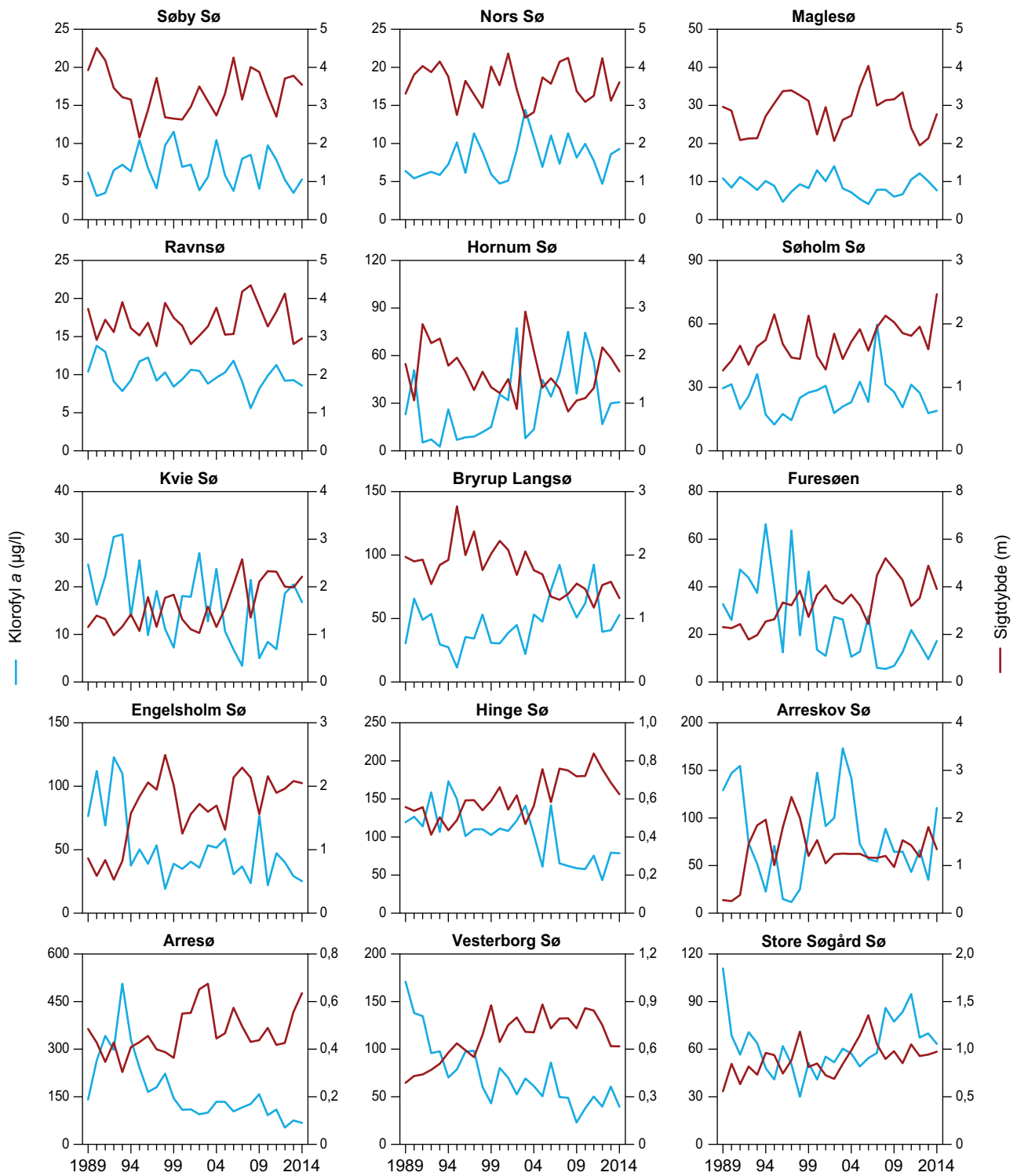
Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2014 af klorofyl *a* i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling ses i figur 3.6. Sommer- og årsmiddelkoncentrationerne fra perioden 2011-2014 for de tre "nye" søer i programmet ses i tabel 3.10. Resultaterne for de enkelte søer ses i figur 3.7 og tabel 3.9.

Medianværdierne 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 sås der et konstant fald fra 1990 til 1996 fra 51 til 15 $\mu\text{g/l}$, hvorefter der var en stigende tendens (dog med relativt lave værdier i 2003 og 2004) indtil 2007 (49 $\mu\text{g/l}$). Siden da har koncentrationen på nær 2011 (43 $\mu\text{g/l}$) ligget på et forholdsvis ensartet niveau (22-31 $\mu\text{g/l}$).

Også hvad angår klorofyl, er de største ændringer generelt sket i søer med de højeste klorofylkoncentrationer, hvilket stemmer overens med den reduktion, der har fundet sted i søernes næringsstofindhold (tabel 3.8). I 2014 var 75 % fraktilen af klorofyl *a* reduceret med 62 % for årsværdierne i forhold til perioden 1989-1994. Maksimumværdien er faldet fra 383 $\mu\text{g/l}$ i 1989-94 til 61 $\mu\text{g/l}$ i 2014, svarende til en reduktion på 84 %. Faldet i de høje klorofylkoncentrationer har resulteret i, at klorofylgennemsnittet på årsbasis er reduceret med 58 % fra 60 $\mu\text{g/l}$ i 1989-1994 til 25 $\mu\text{g/l}$ i 2014.

Klorofylkoncentrationen er i perioden 1989-2014 som helhed reduceret signifikant i syv af de 15 søer (figur 3.7, tabel 3.9), mens den er øget i henholdsvis tre og to af søerne i sommerperioden og på årsbasis. Som for næringsstofferne fosfor og kvælstof ses ændringerne i klorofylkoncentrationen, der er sket i perioden 1989-2014, mest i den første del af perioden. I mange af de 15 søer har der gennem perioden været tale om betydelige ændringer i indholdet af klorofyl *a*.

På trods af den overordnede klare positive sammenhæng mellem indhold af næringsstof (især fosfor) og indholdet af klorofyl *a* følger variationerne i klorofyl *a* ikke altid variationerne i næringsstofindholdet. Årsagen er, at indholdet af klorofyl *a* ikke kun er styret af næringsstofindholdet. Eksempelvis har dyreplanktons græsning stor indflydelse på planteplanktonindholdet (både forekomst og artssammensætning) og dermed klorofylindholdet i søen. En ændring i forekomsten og artssammensætningen af dyreplankton (som oftest forårsaget af et skift i fiskebestanden) og dermed græsningskapaciteten vil derfor påvirke forekomsten af planteplankton. Variationer i udbredelsen af undervandsplanter har ligeledes stor betydning for indholdet af klorofyl *a*, især i de lavvandede søer. En ændring i klorofylindholdet (som mål for planteplankton) kan altså ikke altid forklares ved kemiske forhold alene.



Figur 3.7. Udvikling i sommergennemsnitskoncentrationen af klorofyl a og sigtdybde i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling og har været overvåget siden 1989. Bemærk forskellige skalaer på akserne.

Tabel 3.8. Søkoncentrationen af klorofyl a angivet som årsgennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 % og 75 %-kvartiler (overfladevand) for perioderne 1989-1994, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2013 samt 2014 i de 15 søer, som er overvåget siden 1989. Baseret på årsgennemsnit for de enkelte søer, enheden er µg/l.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
		Årsværdier					
Klorofyl a	1989-1994	59,5	6,6	10,8	29,0	80,9	382,5
	1995-2000	39,1	8,0	10,3	21,8	37,1	226,5
	2001-2006	32,8	6,3	8,8	26,1	44,1	98,2
	2007-2013	27,7	6,7	8,8	25,3	38,0	85,8
	2014	25,1	6,4	8,6	19,3	34,0	61,1

Tabel 3.9. Udviklingen i indholdet af klorofyl a (µg/l) og sigtddybe (meter) i hele perioden 1989-2014 og de seneste 10 år i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand og som har været undersøgt fra 1989 til 2014. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ 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			
	Klorofyl a		Sigtddybe		Klorofyl a		Sigtddybe	
	1989-2014	2005-2014	1989-2014	2005-2014	1989-2014	2005-2014	1989-2014	2005-2014
Nors Sø	0	0	0	0	+	0	0	0
Hornum Sø	+++	--	0	+	+++	0	0	0
Hinge Sø	----	0	++++	++	----	0	++++	0
Ravnsø	0	0	+	0	-	0	0	0
Bryrup Langsø	+	---	--	0	++	0	----	0
Søby Sø	--	0	+	0	0	0	0	0
Kvie Sø	---	0	++++	0	--	0	++++	0
Engelsholm Sø	----	0	+++	0	---	0	++++	0
Store Søgård Sø	0	0	+++	0	0	0	+++	-
Arreskov Sø	0	0	++	++	0	0	+	0
Søholm Sø	0	--	0	0	0	-	+++	0
Arresø	----	---	++++	0	----	--	++	0
Furesøen	----	0	++++	0	----	0	++++	0
Maglesø	0	0	0	---	0	++	0	--
Vesterborg Sø	----	0	+++	---	----	0	++++	-
I alt +/++/+++/++++	2	0	10	3	3	1	9	0
I alt -/--/---/----	7	4	1	2	7	2	1	3

Udviklingen i klorofyl a koncentrationen i de tre "nye" søer (Ulvedybet, Tranemose og Keldsnor) har ikke været entydig i de fire år, de har været med i kontrolovervågningen. Niveaulet er lavest i Tranemose (3-17 µg/l om sommeren og 7-13 µg/l på årsbasis), i Ulvedybet (115-176 µg/l i sommerperioden og 113-153 µg/l på årsbasis) og højest i Keldsnor (176-351 µg/l og 244-366 µg/l på årsbasis) (tabel 3.10).

Tabel 3.10. Sommergennemsnit for søkoncentrationen af klorofyl a ($\mu\text{g/l}$) og for sigtdybden (m) for de tre søer, der indgik i kontrolovervågningen af udvikling fra 2011.

	Ulvedybet		Tranemose		Keldsnor	
	Klorofyl a	Sigt dybde	Klorofyl a	Sigt dybde	Klorofyl a	Sigt dybde
Sommergennemsnit						
2011	158,5	0,36	17,4	0,58	200,9	0,25
2012	176,3	0,40	2,8	0,96	194,2	0,28
2013	158,6	0,39	8,0	0,79	350,9	0,21
2014	115,3	0,39	4,3	0,78	176,2	0,39
Årsgennemsnit						
2011	142,5	0,49	12,6	0,63	243,8	0,24
2012	152,5	0,39	9,7	0,83	301,6	0,28
2013	112,7	0,48	8,5	0,73	365,8	0,23
2014	116,8	0,38	6,5	0,87	360,9	0,28

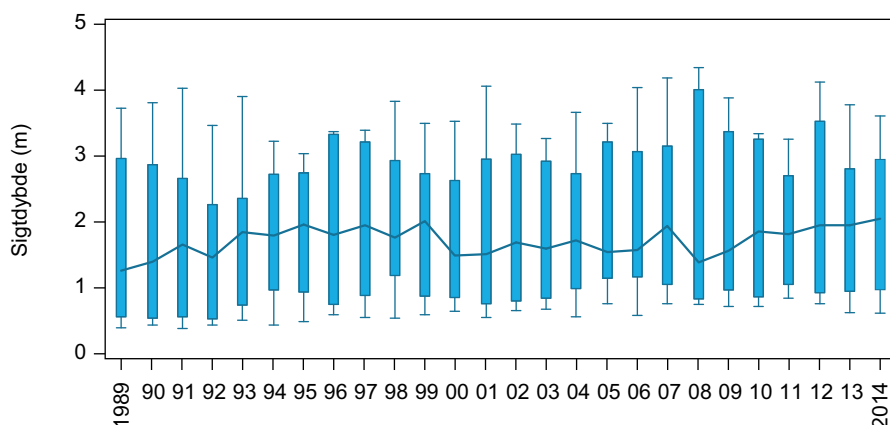
3.5 Sigtdybde

Sigt dybden er et udtryk for vandets klarhed eller gennemsigtighed, dvs. sigtdybden er afgørende for lysets evne til at trænge ned i søvandet og dermed 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 tillige et udtryk for algemængden og dermed tilstanden i søen. Vandets farve (f.eks. brunvandede søer) eller resuspendet materiale fra søbunden i lavvandede søer kan dog også påvirke sigtdybden negativt.

Sigt dybden i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, har vist en generel stigende tendens siden 1989 (figur 3.8). De største ændringer skete i de første 10 år, hvor medianværdien blev øget fra omkring 1,3 m til 2 m (sommerværdier). I perioden 2000-2006 lå værdierne ret ensartet – mellem 1,5 og 1,7 m. Efter en stigning i 2007 (til 1,9 m) faldt sigtdybden atter, men har generelt udvist stigende tendens ide seneste år. Udviklingen i sigtdybden i de enkelte søer er generelt på et højt signifikansniveau og ses i figur 3.7 og tabel 3.9. Ofte er sigtdybden et spejlbillede af klorofylindholdet, hvilket understreger den tætte kobling mellem næringsstofindhold og søernes klarhed.

Figur 3.8. 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.



Gennemsnitligt var sigtddybden i 2014 i de 15 søer, der er undersøgt siden 1989, 21 % højere end niveauet i perioden 1989-1994 for årsværdier. Sammenlignet med perioden 1989-1994 var de største forbedringer sket i søer med lav sigtddybde; 25 % fraktilen var i 2014 steget med 37 %. 75 % fraktilen har udvist en stigning på 3 % (tabel 3.11).

Det generelt reducerede næringsstofniveau i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, har siden overvågningen af vandmiljøet begyndte i 1989 således ført til øget sigtddybde i de fleste af søerne, især i de søer, der fra starten var mest uklare.

Tabel 3.11. Sigtdybden angivet som årsgennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 % og 75 % fraktiler for perioderne 1989-94, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2013 samt 2014 i de 15 søer, som er overvåget siden 1989. Baseret på årsgennemsnit for de enkelte søer, enheden er meter.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
		Årsværdier					
Sigtdybde	1989-1994	1,94	0,36	0,84	2,01	3,29	3,68
	1995-2000	2,15	0,43	1,00	2,14	3,17	4,01
	2001-2006	2,22	0,65	1,15	1,95	3,41	4,44
	2007-2013	2,34	0,57	1,06	2,03	3,70	5,21
	2014	2,36	0,67	1,15	2,35	3,39	4,64

For de enkelte søer er der sket en signifikant stigning i sigtddybdens års- og sommerrmiddel i henholdsvis 10 og ni af de 15 søer (tabel 3.9) for perioden 1989-2014 som helhed. Kun i en enkelt sø (Bryrup Langsø) er sigtddybden blevet mindre siden 1989. Ser man på de seneste 10 år alene, er der i sommerperioden ikke sket nogen forbedring i sigtddybden for nogen af søerne, men der er tre søer, hvor der er sket et fald, dog kun på 10 % signifikansniveau i de to.

Sigtddybden i Ulvedybet, Tranemose og Keldsnor har ligget ret konstant i de fire år, den er blevet målt. Som sommergennemsnit lå den i Ulvedybet på omkring 0,4 m i alle årene og i Keldsnor på 0,2-0,4 m, mens den varierede lidt mere i Tranemose med 0,6-1 m (tabel 3.10).

3.6 Næringsstofkilder og -balancer

Af de 18 søer, som indgår i kontrolovervågningen af udvikling, er der opstillet stofbalancer 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 de beregnede stoftilførsler af kvælstof og fosfor indgår tilførsler fra de målte tilløb til de enkelte søer samt et modelleret diffust bidrag fra det umålte opland. Hertil er oplandsspecifikke punktkilder adderet. I afrapporteringen sidste år (Bjerring m.fl. 2015) var det første gang i overvågningsregi, at søbelastningerne blev opgjort med anvendelse af modelberegnete oplandsspecifikke kvælstof- og fosforkoncentrationer for det diffuse bidrag fra umålt opland (den såkaldte DK-QNP model (Windolf m.fl. 2011, 2012)). Denne beregningsmetode er videreført og anvendt i nærværende afrapportering for alle overvågningsårene 1990-2014. Resultaterne i denne rapport vil derfor være sammenlignelige med opgørelserne rapporteret sidste år, men i større eller mindre grad afvige fra tidligere opgørelser, specielt for søer med en relativt stor andel umålt opland, som ikke er repræsentativ for det målte opland, samt for søer med en stor grundvandsindsivning (f.eks. Engelsholm Sø). I NO-

VANA-afrapporteringerne fra før 2013 var antagelsen nemlig, at bidraget fra det umålte opland kunne repræsenteres ved en simpel overførsel af information fra det samlede målte opland. Som beskrevet i Bjerring m.fl. (2015) er bidraget fra det umålte opland nu ændret til at repræsentere modelberegnedede værdier inkluderende oplandsspecifik jordtype, dyrkningsgrad, afvandsningsgrad, nedbør, temperatur samt årligt kvælstof- og fosforoverskud fra landbruget. Endvidere er der for tilløbsstationer, som tidligere har været overvåget i en reel måleperiode, men som nu er nedlagt i programmet, foretaget ekstrapolering. Således er der vha. modelværdier opnået værdier for disse stationer, der indgår i beregningerne. Derved er andelen af umålt opland reduceret for nogle søer i forhold til tidligere belastningsopgørelser, hvor afbrudte tidsserier for oplande overgik til kategorien umålt opland.

Fra sidste års afrapportering videreføres begrebet "indsivningssø" ligeledes i nærværende belastningsopgørelse. Begrebet anvendes, hvor der for søer med en generel stor andel indsvivende vand (søer med et restled på vandbalancen på mere end 10 % af fraførslen i afløbet set over hele overvågningsperioden) anvendes en mere realistisk estimering af den indsvivende kvælstof- og fosformængde. Beregningsmetoden anvendt til belastningsopgørelserne er beskrevet i Bjerring m.fl. (2014), dog med den afvigelse, at vandbalancen afstemmes for alle søer, samt den ændring, at der anvendes minimumskoncentrationer i stedet for mediankoncentrationer ved beregning af indsvivende fosfor og kvælstof til søer, der er kategoriseret som indsvivningssøer.

Modelværdierne (diffust bidrag) for kvælstof og fosfor er valideret for det målte oplands diffuse bidrag, estimeret som differencen mellem den målte transport og oplyst mængde udledt spildevand (rensningsanlæg, industri, dambrug, regnvandsbetinget). Herefter er modelværdierne for kvælstof korrigeret til niveau med de målte værdier og herefter anvendt til beregning af stofbelastning for det umålte opland. Dette er for fosfor kun tilfældet ved ekstrapolering af afbrudte tidsserier. For det umålte opland er det for fosfor valgt at anvende ukorrigerede modelværdier. Det er velkendt, at fosfortransporter, der – som tilfældet er her – beregnes på baggrund af punktprøvetagninger i vandløb, generelt underestimerer den "sande transport". Ved anvendelse af de modellerede koncentrationer kan der opstå enkelte tilfælde med urealistisk høje kvælstof- og fosforbelastninger. Dette kan skyldes udligningen af spildevandsbelastningen til månedsværdier (årsværdien divideret med 12) og/eller højere spildevandsværdier end de aktuelle forhold kombineret med lav vandtilførsel. Derfor er der sat en absolut øvre grænse for kvælstofbelastningen på 30 mg/l og for fosfors vedkommende på 5 mg/l.

Punktkildebelastningen er opgjort specifikt til søernes tilløbsoplande samt til afløbsoplandet fra 1990-2014. I år med manglende punktkildedata er der anvendt interpolerede værdier. Regnvandsbetinget bidrag er som i 2012-afrapporteringen opgjort på udledningspunkter, hvor bidraget tidligere blev fordelt ud på oplande proportionalt med det befæstede areal.

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.

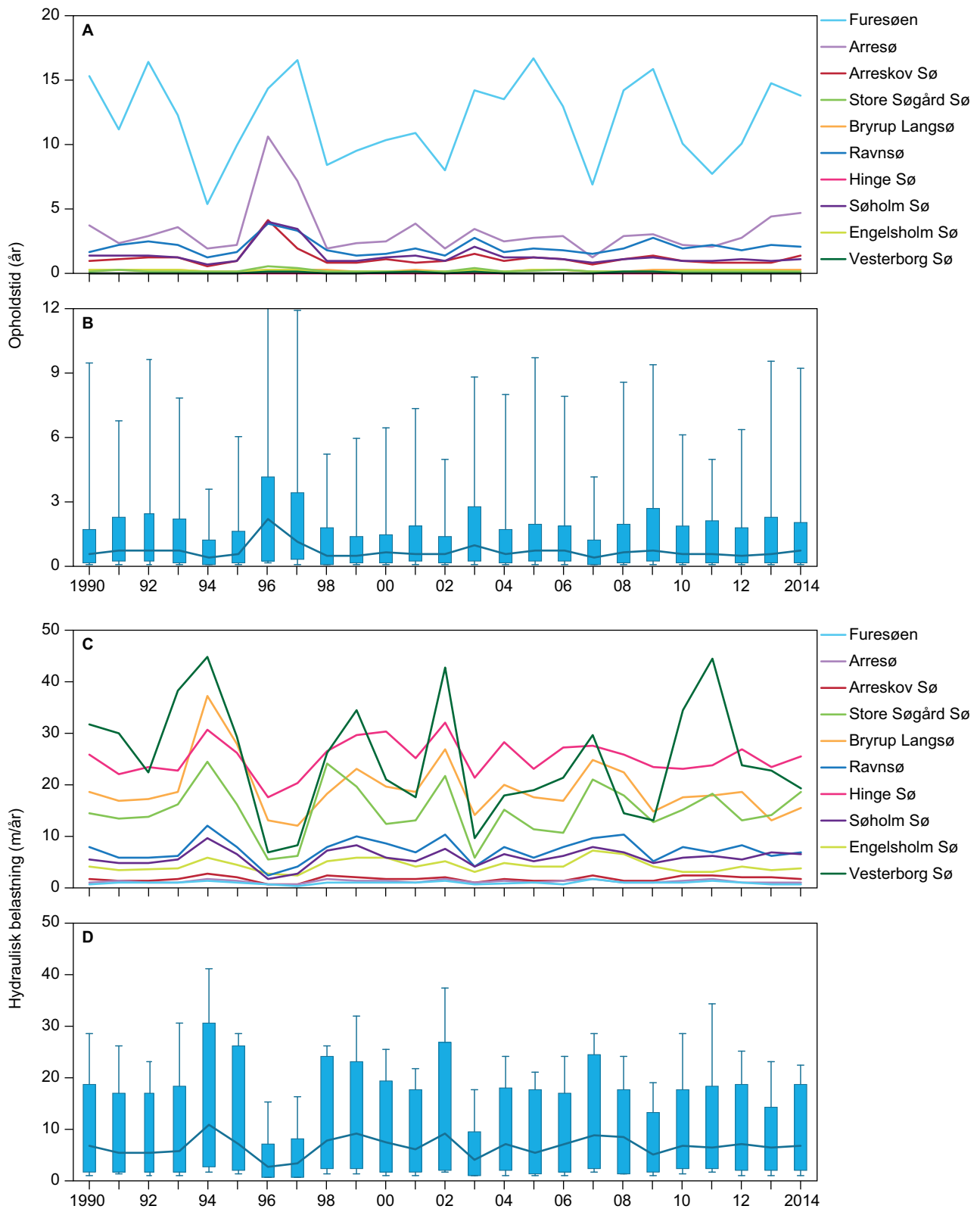
Mest markant i overvågningsperioden siden 1990 har været de to tørre år: 1996 og 1997. Dette gav tilsvarende anledning til en lavere afstrømning (fi-

gur 6.1) og betydeligt længere opholdstid i søerne (figur 3.9). 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 tidlig udvikling (figur 3.9). I 2014 afveg hverken opholdstiden eller den hydrauliske belastning markant for perioden for nogen af søerne endsi-ge generelt set (figur 3.9). I 2014 var medianen for opholdstiden i søerne 0,71 år, med et maksimum på 13,7 år i Furesøen og et minimum på 0,047 år i Hinge Sø. Medianopholdstiden for søerne var dermed på niveau med perio-derne 1990-1994 og 2007-2011 (0,6 år) og lavere end niveauet i perioderne 1995-2000 (0,9 år) samt 2001-2006 (0,7 år).

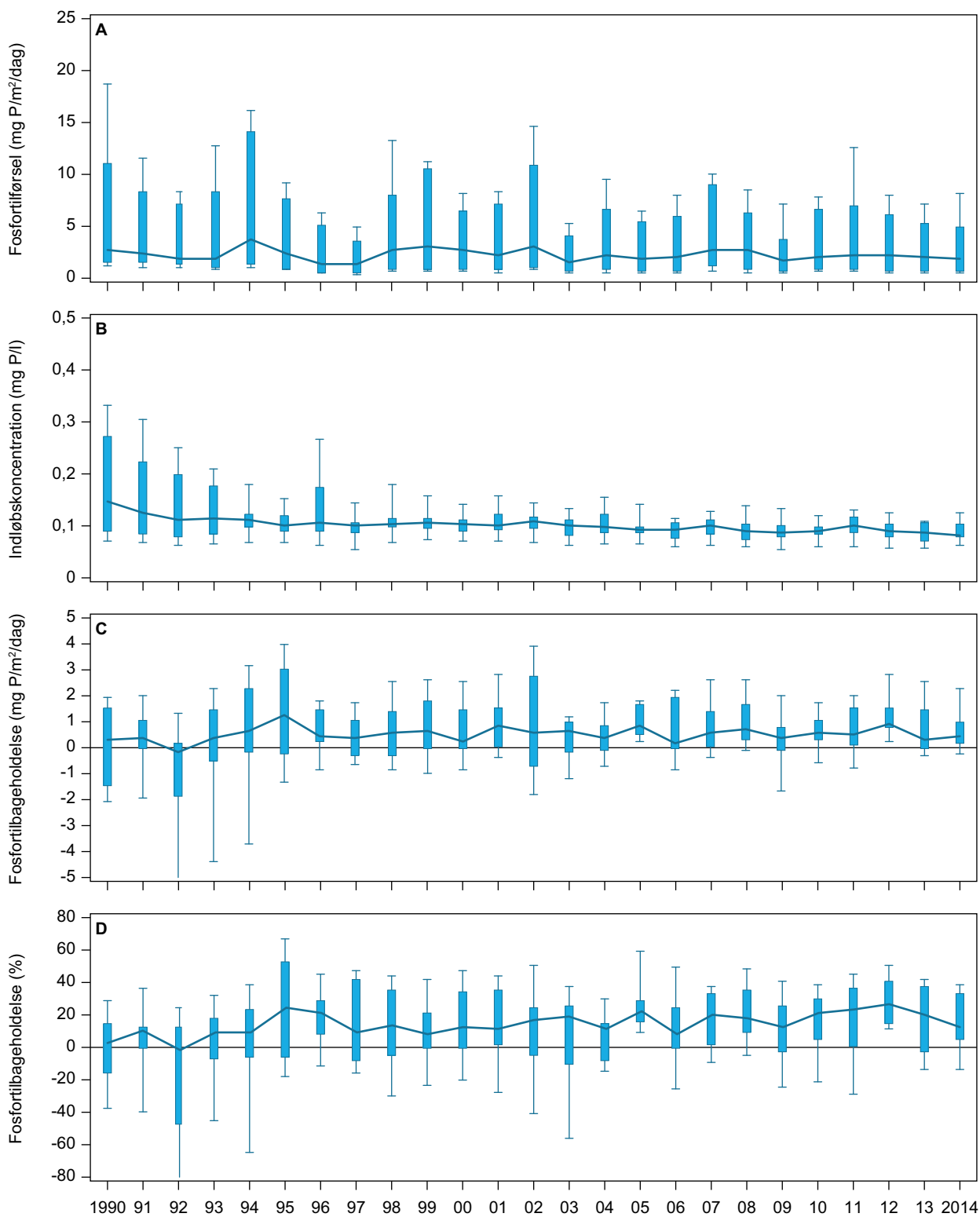
Fosforbalancer

Vandtilførslen har en væsentlig betydning for den absolutte 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 forholdsvis lille i det tørre år 2003 (illustreret i figur 3.10A, 3.11). Tilsvarende var fosfortilførslen høj i de våde år 1994, 1999 og 2002 og til dels også i 2007 og 2008 for en del af søerne.

Den vandføringsvægtede fosforkoncentration i det vand, der strømmer til søerne, er reduceret betragteligt (figur 3.10B, 3.12) fra et gennemsnit omkring 0,14 mg P/l i perioden 1990-1994 til 0,11 mg P/l i perioden 1995-2000, mens reduktionen siden da har været relativt begrænset, dog med et svagt jævnt fald (tabel 3.12). Den gennemsnitlige koncentration i tilført vand i 2014 (0,09 mg P/l) svarer dermed til niveauet for den foregående syvårige (2007-2013) periode. I lighed med fosforindholdet i søvandet er det primært de højeste koncentrationer af fosfor i tilført vand, der er reduceret markant, og som for søvandet skete faldet også i begyndelsen af overvågningsperioden. Medianen for koncentrationen i tilført vand afspejler også et fald på 31 % fra perioden 1990-1994 (0,12 mg P/l) til 2014 (0,083 mg P/l) (tabel 3.12). Der har været en tilsvarende ændring i tilførslen af fosfor i absolutte mængder, hvor medianen for fosfortilførslen i 2014 (1,8 mg P/m²/dag) var 25 % lavere end for perioden 1990-1994 (2,4 mg P/m² dag) (tabel 3.12). Nedgangen i koncentrationen af fosfor i tilført vand var signifikant for syv af de 10 søer set over hele overvågningsperioden, mens to søer har oplevet et signifikant fald i koncentrationen i de seneste 10 år. Fire søer har oplevet et signifikant fald i den absolutte areal-specifikke fosforbelastning i perioden 1990-2014, mens dette kun var tilfældet for én sø (Hinge Sø) set over de seneste 10 år (tabel 3.14).

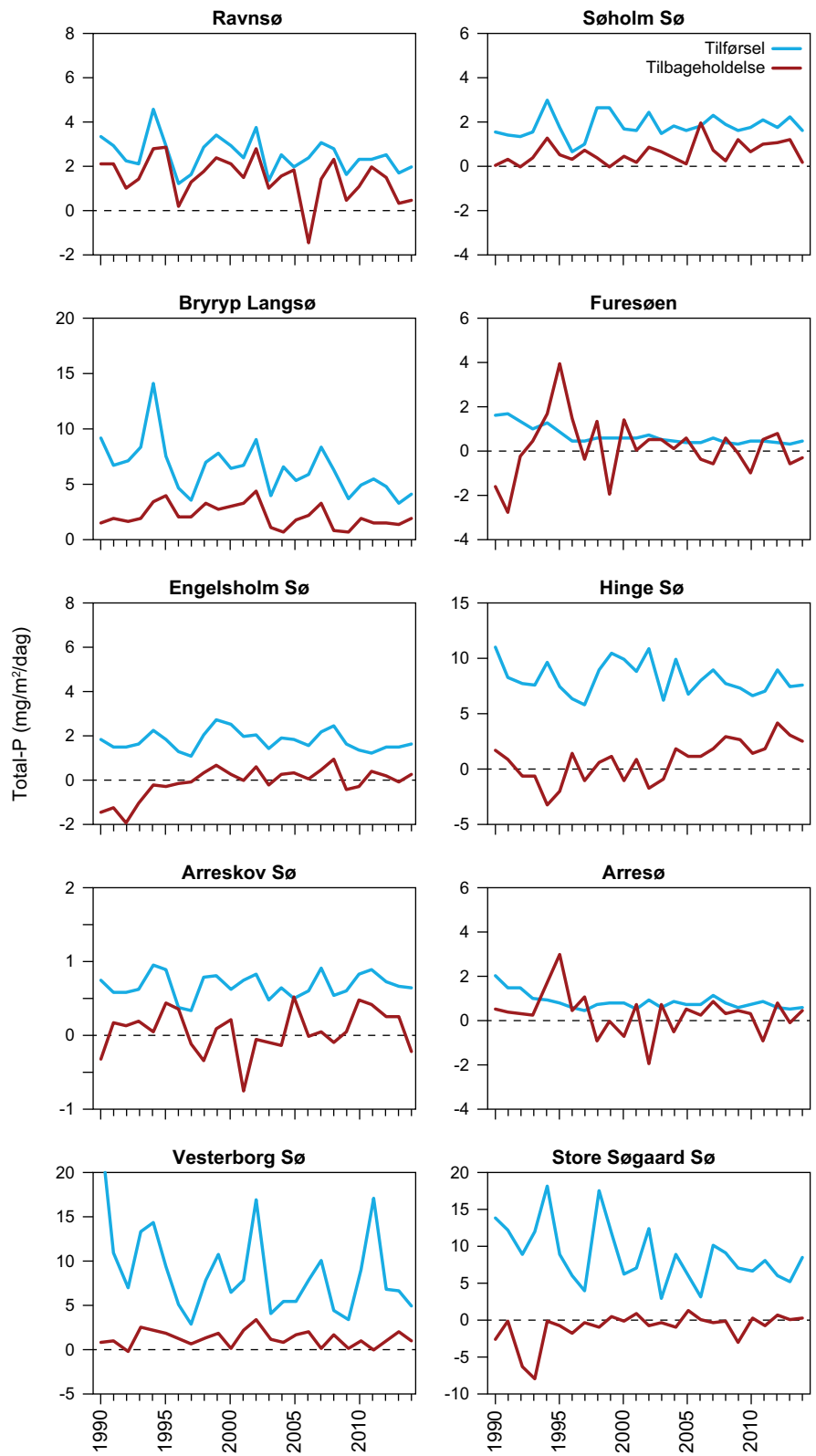


Figur 3.9. Opholdstid (år) for de 10 intensivt overvågede søer med stofbalancer 1990-2014; for de enkelte søer (A) samt generelt for de 10 søer (B). Hydraulisk belastning (m/år) for de 10 søer enkeltvis (C) samt generelt for de 10 søer (D). Bjælkerne i boksplottene viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. 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 .



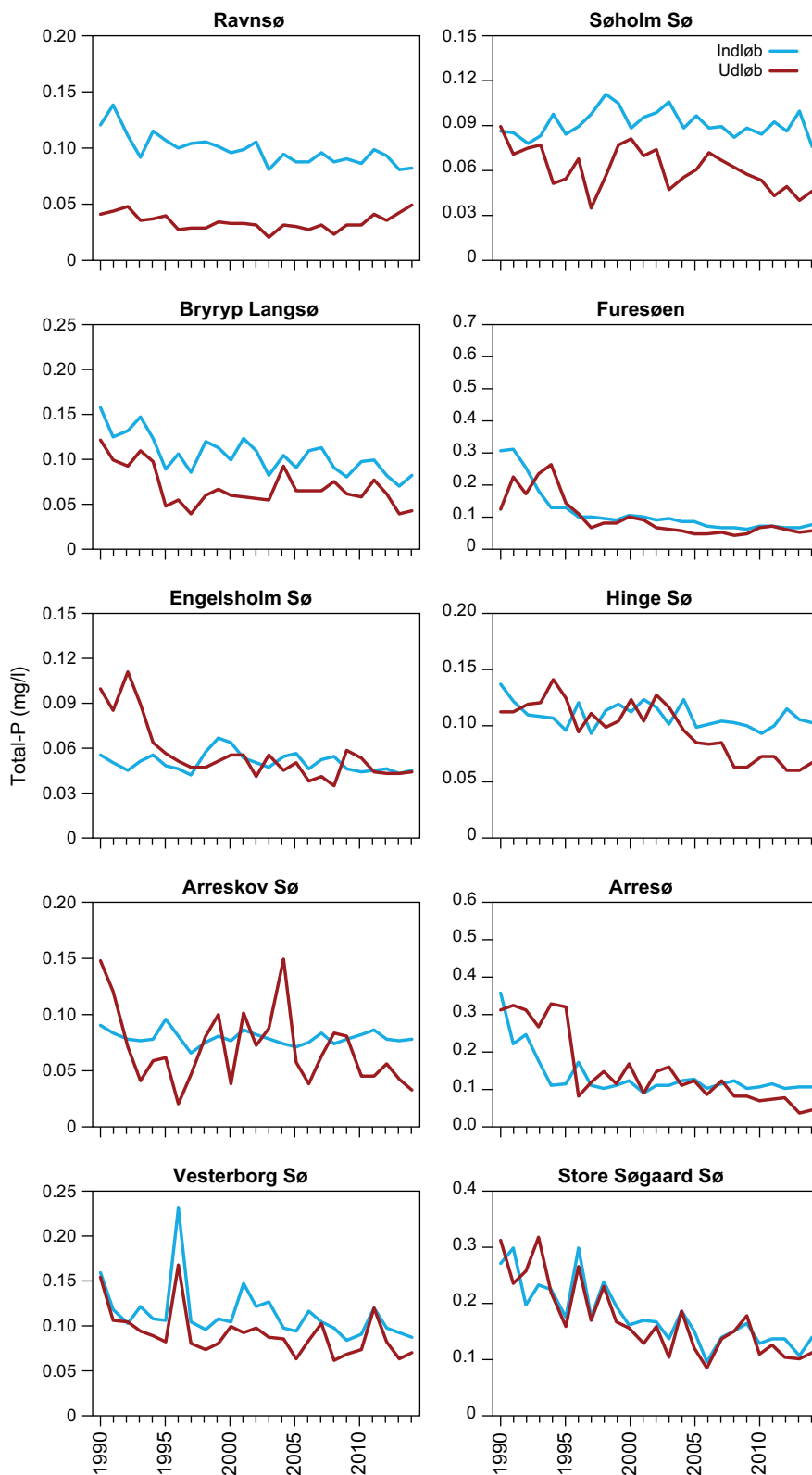
Figur 3.10. Fosforudviklingen i de søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer ($n=10$) i perioden 1990 til 2014. A: Total fosfortilførsel ($\text{mg P/m}^2/\text{dag}$), B: Vandføringsvægtet koncentration (mg P/l) af totalfosfor i tilført vand, C: Fosfortilbageholdelsen ($\text{mg P/m}^2/\text{dag}$), D: Fosfortilbageholdelse i % af tilførslen. Bjælkerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier.

Figur 3.11. Udvikling i årlig tilførsel og tilbageholdelse af totalfosfor (Total-P) i hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer. Bemærk forskellig skala på akse-
ne.



Figur 3.12. Udvikling i den årlige vandføringsvægtede koncentration af totalfosfor (Total-P) i tilført vand samt i afløb til hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer.

Bemærk forskellig skala på akse-
ne.



Reduktionen i fosforkoncentrationen i tilført vand til søerne forklares af reducerede punktkildetilførsler, som har været markante – f.eks. spildevand fra rensningsanlæg (figur 3.14). Reduktioner i fosforkoncentrationen i udløbet er dels et resultat af den mindre 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 en stor del af den ophobede fosforpulje. Dette kan aflæses i den relativt store reduktion, der er sket i de

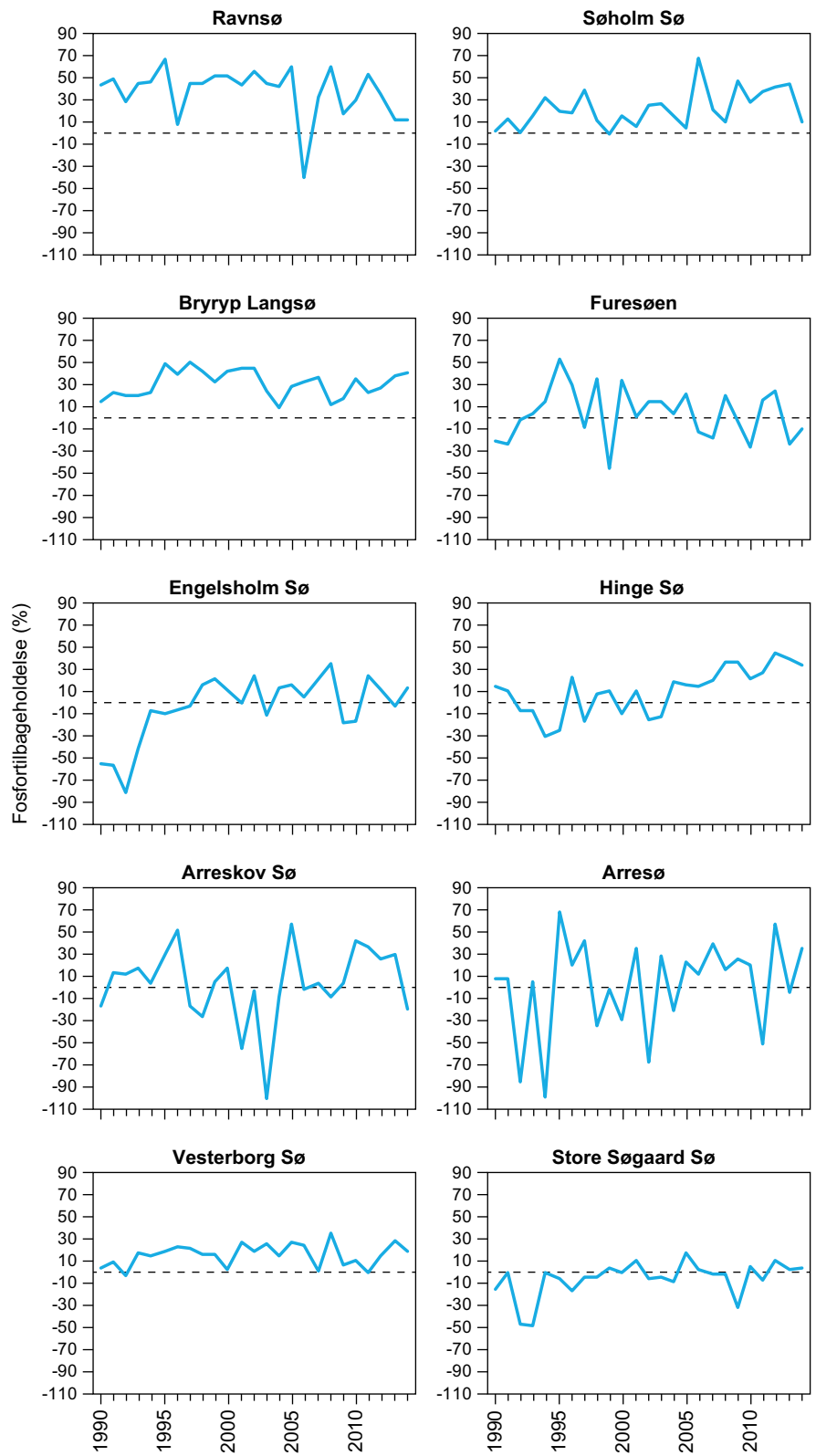
højeste fosforkoncentrationer i udløbene i perioden 1990-1994 (figur 3.12). Faldet i fosfortilførslen i de mest belastede søer har resulteret i, at gennemsnitskoncentrationen i udløbene er faldet med næsten 60 % fra 1990-1994 frem til 2014 (tabel 3.12). Faldet er signifikant for otte ud af 10 søer i perioden 1990-2014 (tabel 3.14). Fire af disse søer har også en signifikant faldende udløbskoncentration set over de seneste 10 år, mens en stigende tendens ses i Ravn Sø (tabel 3.14 og figur 3.12). Det generelle fald set over alle 10 søer er størst i den første del af overvågningsperioden (35 % fra 1990-1994 til perioden 1995-2000, herefter 13-15 % mellem de efterfølgende perioder oplyst i tabel 3.12). Den gennemsnitlige udløbskoncentration af totalfosfor var i 2014 15 % lavere end gennemsnittet for den forrige periode (2007-2013).

Tabel 3.12. 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 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer fra 1990 til 2014 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 % og 75 % fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2013 samt 2014. Årsværdier. * er 7-årsperiode i modsætning til de øvrige 6-årsperioder.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Tilførsel	1990-94	0,142	0,052	0,086	0,120	0,223	0,246
Total-P konc.	1995-00	0,111	0,054	0,096	0,104	0,124	0,208
	2001-06	0,100	0,052	0,091	0,099	0,112	0,152
	2007-13*	0,092	0,048	0,080	0,091	0,103	0,139
	2014	0,088	0,046	0,078	0,083	0,103	0,142
Tilførsel	1990-94	5,495	0,699	1,410	2,412	9,114	13,851
Total-P mængde	1995-00	3,871	0,606	0,694	2,221	7,131	9,057
	2001-06	3,746	0,525	0,731	2,111	6,777	8,489
	2007-13*	3,672	0,436	0,757	2,152	7,474	8,228
	2014	3,226	0,447	0,655	1,800	4,988	8,600
Udløb	1990-94	0,141	0,041	0,088	0,107	0,205	0,309
Total-P konc.	1995-00	0,092	0,033	0,055	0,080	0,110	0,192
	2001-06	0,080	0,029	0,063	0,075	0,102	0,131
	2007-13*	0,068	0,035	0,053	0,062	0,080	0,130
	2014	0,058	0,034	0,045	0,049	0,067	0,114

Såvel den absolutte som den relative tilbageholdelse af fosfor i søerne har været forholdsvis beskeden i størstedelen af søerne og fluktuerer en del gennem undersøgelsesperioden (figur 3.10, 3.13); især kan den variere en del i søer med høj opholdstid, som f.eks. Furesøen og Arresø. Ydermere varierer tilbageholdelsen også over sæsonen (Søndergaard m.fl. 2012). Reduktioner i totalfosfor i søen samt øget sigtddybde er mekanismer, der har positiv indvirkning på tilbageholdelsen i sommermånederne som følge af øget bentisk produktion. Den årlige fosfortilbageholdelse var generelt forholdsvis lav i begyndelsen af 1990'erne (figur 3.10, 3.13), hvilket er et udtryk for påvirkning fra en fosforpulje ophobet i sedimentet. Medianen for fosfortilbageholdelsen var således negativ i perioden 1990-1994, mens den fluktuerede mellem niveauet 0,36 til 0,57 mg P/m²/dag i de efterfølgende perioder indtil 2013, og i 2014 var fosfortilbageholdelsen 0,44 mg P/m²/(tabel 3.13). Signifikant øget fosfortilbageholdelse sås i fire søer fra 1990-2014, mens kun Hinge Sø også har vist en signifikant øget tilbageholdelse set over de seneste ti år (tabel 3.14, figur 3.11 og 3.13).

Figur 3.13. Udvikling i den årlige tilbageholdelse af totalfosfor (% af tilførslen af totalfosfor) i hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer.



Tabel 3.13. Absolut (Total-P ret (mg P/m²/dag)) og relativ (Total-P ret (% af tilførsel)) tilbageholdelse af totalfosfor i hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer fra 1990 til 2014 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 % og 75 % fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2013 samt 2014. Årsværdier. * er 7-årsperiode i modsætning til de øvrige 6-årsperioder.

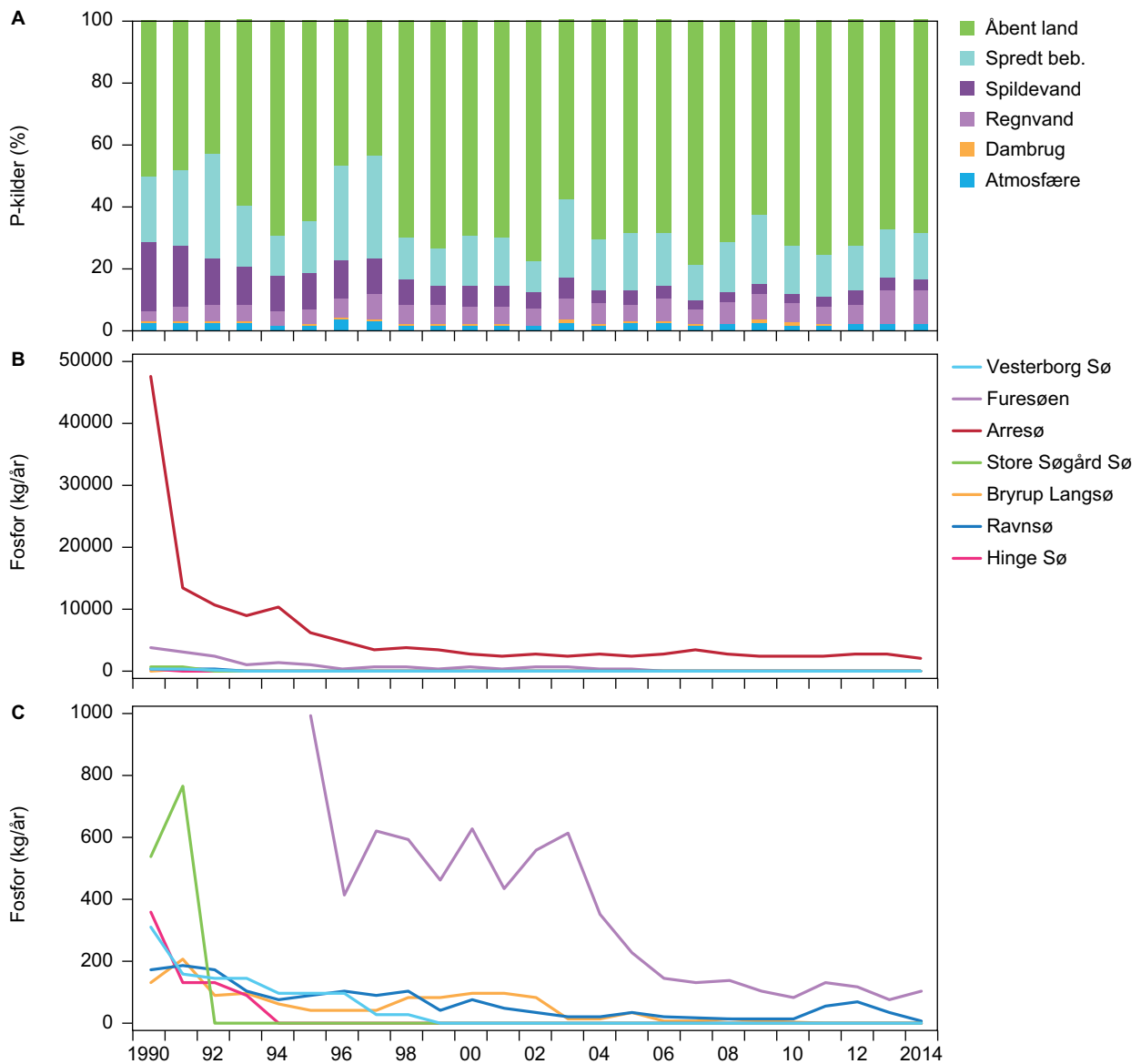
		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Total-P ret, (mg P/m ² /dag)	1990-1994	-0,091	-3,340	-1,144	-0,135	1,318	2,134
	1995-2000	0,749	-0,488	0,107	0,444	1,233	2,914
	2001-2006	0,675	-0,335	0,070	0,358	1,224	2,306
	2007-2013*	0,761	-0,371	0,196	0,573	1,318	2,591
	2014	0,688	-0,309	0,200	0,437	1,005	2,621
Total-P ret, (% af tilførsel)	1990-1994	-2,289	-47,938	-22,309	1,130	11,644	42,160
	1995-2000	15,568	-4,688	4,836	13,488	16,408	44,590
	2001-2006	11,796	-18,343	2,120	7,516	23,418	34,312
	2007-2013*	17,626	-3,335	7,708	16,857	31,816	34,627
	2014	13,886	-18,635	4,339	12,561	33,434	41,092

Tabel 3.14. Udviklingen i overvågningssøernes stofbalancer (årsværdier) for totalfosfor i hele perioden 1990-2014 og de seneste 10 år. -/+, -/++, --/+++, ----/++++ svarer til reduktion/førøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Pi er koncentrationen tilført vand i mg P/l. Pu er udløbskoncentrationen. Ptilm2 er fosfortilførslen pr. m² pr. dag. Pretm2 er den arealspecifikke fosfortilbageholdelse (mg P/ m² /dag) og Pret(%) er den relative tilbageholdelse (%).

	Pi		Pu		Ptilm2		Pretm2		Pret(%)	
	90-14	05-14	90-14	05-14	90-14	05-14	90-14	05-14	90-14	05-14
Hinge Sø	--	0	----	--	0	0	+++	++	++++	++
Ravn Sø	----	0	0	+++	0	0	-	0	0	0
Bryrup Langsø	----	--	--	--	0	0	0	0	0	0
Engelsholm Sø	0	--	----	0	0	0	+++	0	+++	0
St. Søgård Sø	----	0	----	0	0	0	++	0	++	0
Arreskov Sø	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Søholm Sø	0	0	---	---	0	0	++	0	++	0
Arresø	----	0	----	---	0	0	0	0	0	0
Furesøen	----	0	----	0	0	0	0	0	0	0
Vesterborg Sø	--	0	---	0	0	0	0	0	0	0
I alt +/++/+++/++++	0	0	0	1	0	0	4	1	4	1
I alt -/--/---/----	7	2	8	4	0	0	1	0	0	0

Fosforkilder

Ud af de 18 intensivt undersøgte overvågningssøer er der sammenlignelige data for kildeopsplitning siden 1990 for 10 søer. Igennem overvågningsperioden er der sket betydelige ændringer i den relative fordeling af fosforkilderne til søerne (figur 3.14). Den samlede tilførsel til søerne er faldet markant, fordi bidraget fra spildevand totalt set er reduceret. Spildevandsbidraget varierer mellem søerne og er i alle syv søer, der modtager spildevand, kraftigt reduceret eller afskåret helt – specielt i de første 5-10 år af overvågningsperioden (figur 3.14). Det reducerede spildevandsbidrag indebærer, at betydningen af bidraget fra det åbne land (baggrund + landbrugsbetinget) bliver relativt større og generelt er steget fra 54 % til 72 % i løbet af perioden 1990-1994 til 2007-2013, mens bidraget fra det åbne land i 2014 var på 69 % af den samlede fosforbelastning (tabel 3.15). Hinge Sø, St. 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 Ravnsø faldet med 88 % grundet afskæring af rensningsanlæg i oplandet (figur 3.14 C).



Figur 3.14. A: Den procentuelle årlige kildefordeling for fosfortilførslen til 10 af overvågningssøerne med stofftilførselsmålinger i perioden 1990-2014, B: Det aktuelle spildevandsbidrag af fosfor fra rensningsanlæg i overvågningssøerne (der er intet bidrag til Engelsholm Sø, Søholm Sø og Arreskov Sø), C: Som graf B med forstørret akseenhed.

Ud over tiltag til reduktion af belastningen 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 søer varierer fra 15 til 22 % i de enkelte perioder. Det er kun to søer af de tilbageværende intensivt overvågede søer med stofmålinger, hvor dambrug har været placeret opstrøms. Driften opstrøms Hinge Sø blev nedlagt i 1996, og Bryrup Langsø er den eneste sø, der indtil 2012 har modtaget fosfortilførsel fra dambrug (2-13 % i overvågningsperioden). Fra 2012 og frem er der ingen registreret dambrugstilførsel til Bryrup Langsø.

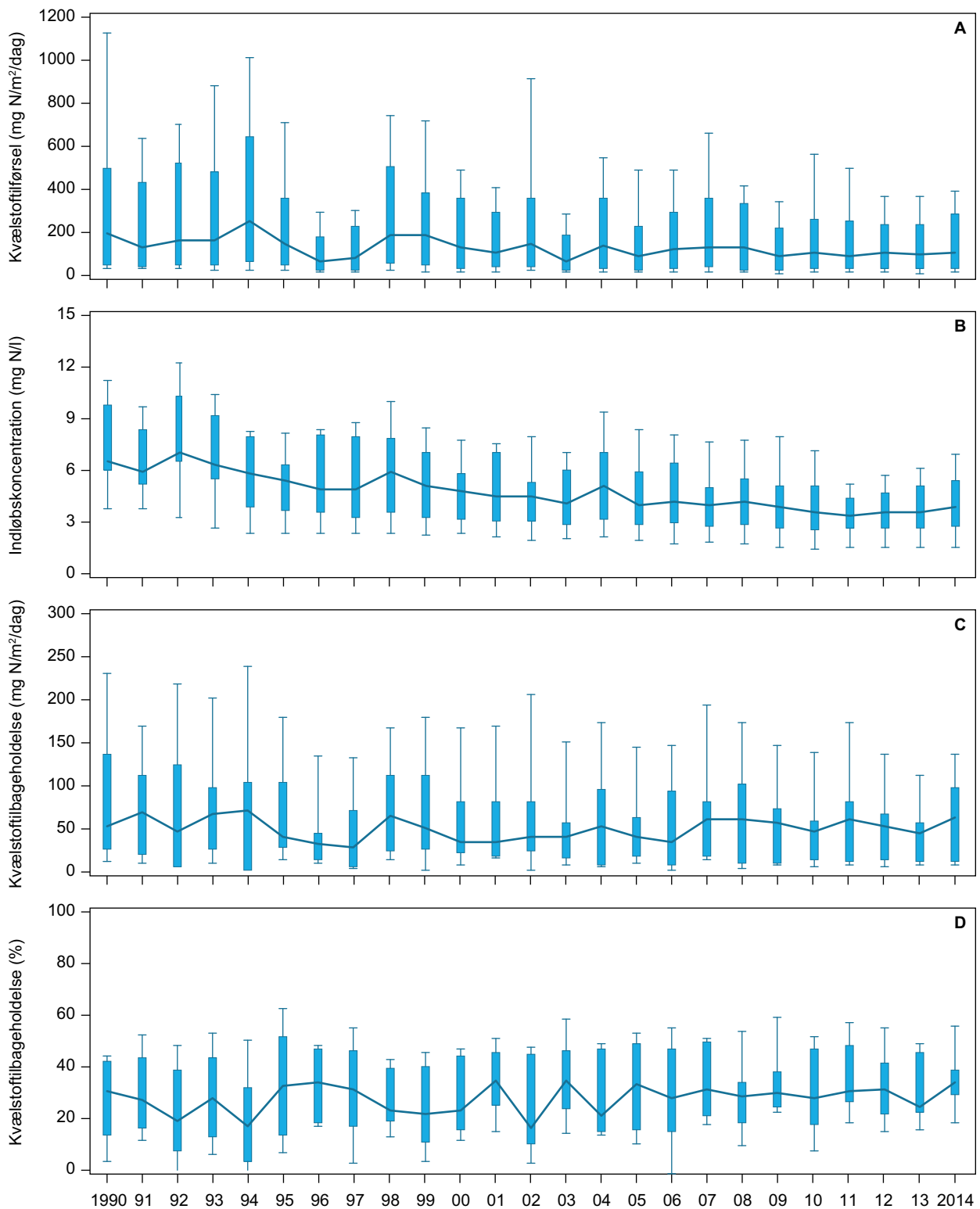
Tabel 3.15. Den procentuelle årlige kildefordeling for fosfortilførslen i de 10 intensivt overvågede søer med stofbalancer fra 1990 til 2014, opdelt i fire perioder samt for året 2014. Fordelingen er beregnet som gennemsnit af årsværdier for de enkelte søers procentfordeling. I tilfælde af negativt bidrag fra åbent land er værdien sat til nul. * er 7-årsperiode i modsætning til de øvrige 6-årsperioder.

	Spildevand	Regnvand	Spredt bebyg. Dambrug	Atmosfære	Åbent land
1990-1994	16,3	4,5	22,2	0,6	54,1
1995-2000	9,4	6,2	20,5	0,5	61,2
2001-2006	5,2	6,1	17,1	0,8	68,8
2007-2013*	3,5	6,8	15,5	0,5	71,6
2014	3,0	11,2	14,9	0,0	68,8

Kvælstofbalancer

Tilførslen af kvælstof til søerne afspejler i endnu højere grad end fosfor forskelle i vandafstrømningen fra år til år. De tørre år 1996 og 1997 samt 2003 er således meget markante for udviklingen i tilførslen af kvælstof siden 1990, som generelt har vist en faldende tendens (figur 3.15, 3.16).

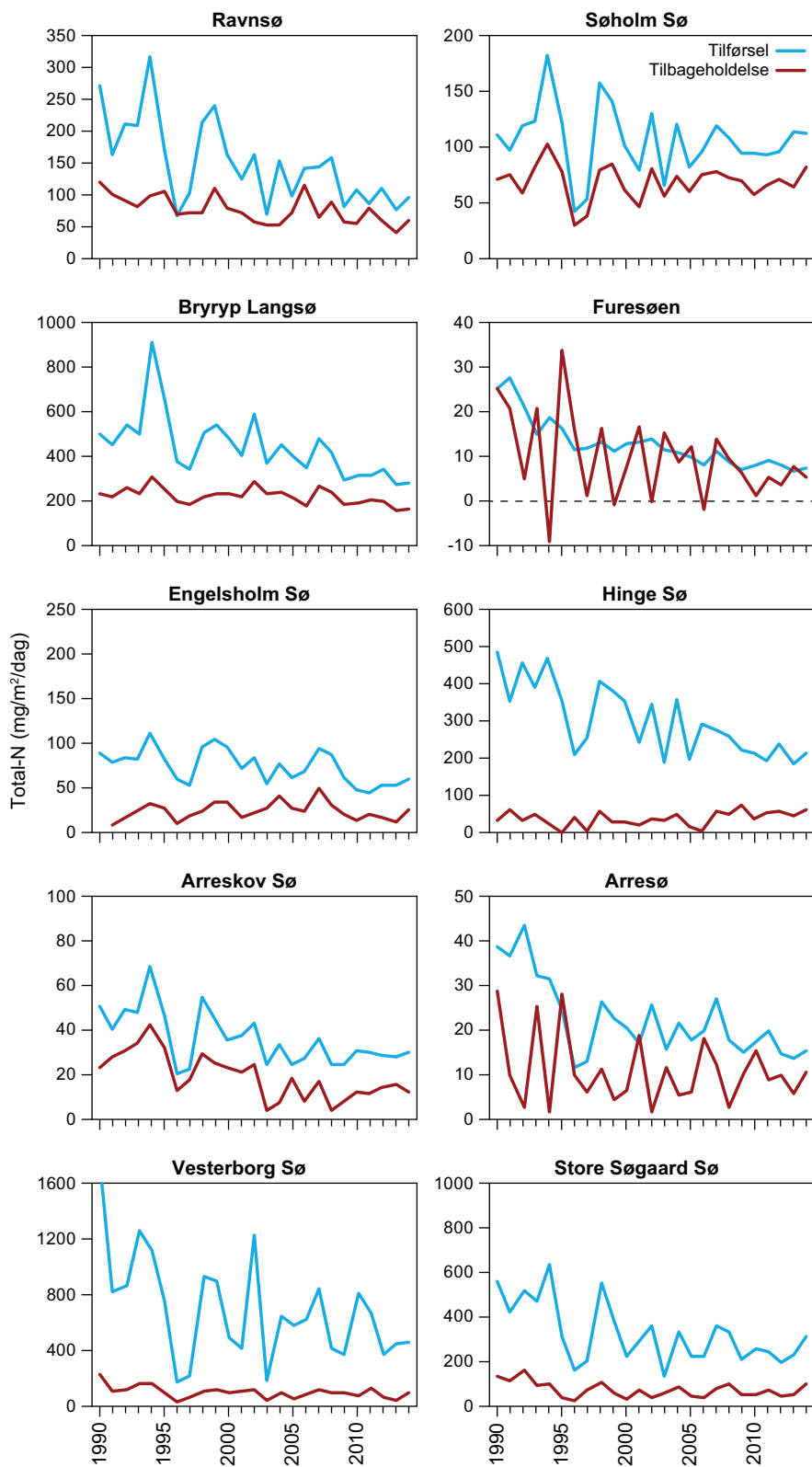
Den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration i det vand, der strømmer til søerne, har været signifikant faldende i perioden 1990 til 2014 (figur 3.15B, 3.17) i alle 10 søer, og udviklingen er fortsat signifikant i otte af de 10 søer set over de seneste 10 år af overvågningsperioden (tabel 3.18). Medianen for koncentrationen i det tilstrømmende vand til de 10 søer er således faldet med ca. 40 % fra første halvdel af 1990'erne til perioden 2007-2013. Medianen var i 2014 på 3,85 mg N/l og er dermed steget lidt i forhold til niveauet for perioden 2007-2013 (tabel 3.16). Generelt set er reduktionen sket jævnt hen over de fire perioder i årene 1990-2013, med et fald på 15-16 % imellem perioderne (tabel 3.16). I 2014 var medianen (105 mg N/m²/dag) for den absolutte kvælstoftilførsel på niveau med medianen for perioden 2007-2013 (107 mg N/m²/dag) og er således steget med ca. 9 % i forhold til 2013 (96 mg N/m²/dag). Ni ud af 10 søer viser dog fortsat et signifikant fald i den absolutte kvælstoftilførsel set over hele overvågningsperioden, og fire af disse har også oplevet et signifikant fald i de seneste 10 år (tabel 3.18).



Figur 3.15. Kvælstofudviklingen i de intensivt overvågede søer med massebalancer i perioden 1990 til 2014, (n=10).

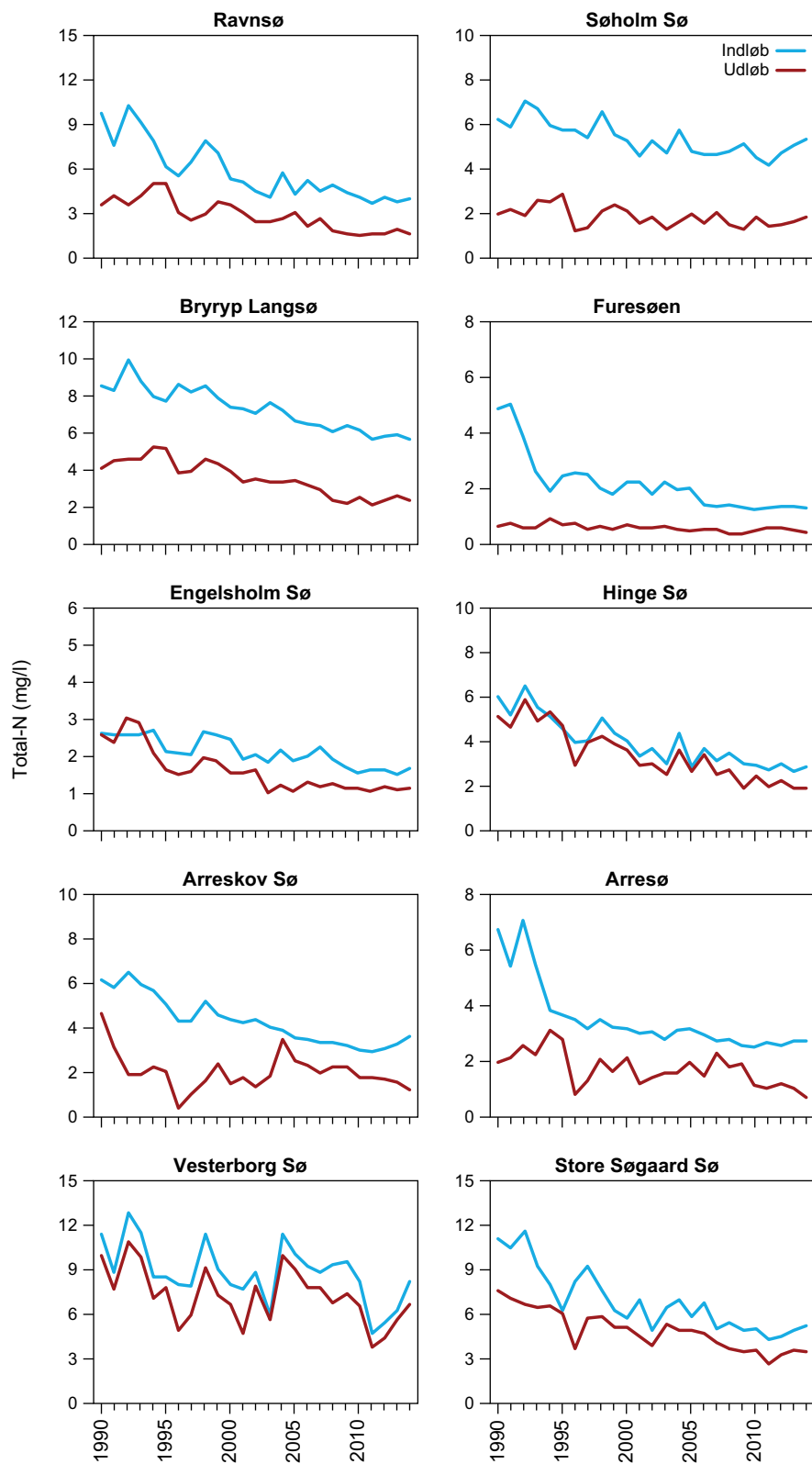
A: Total kvælstoftilførsel ($\text{mg N/m}^2/\text{dag}^{-1}$), B: Vandføringsvægtet koncentration af totalkvælstof (mg N/l) i tilført vand, C: Kvælstoftilbageholdelsen ($\text{mg N/m}^2/\text{dag}$), D: Kvælstoftilbageholdelse i % af tilførslen. Bjælkerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier.

Figur 3.16. Udvikling i årlig tilførsel og tilbageholdelse af totalkvælstof (Total-N) i hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer. Bemærk forskellig skala på akse-
ne.



Figur 3.17. Udvikling i den årlige vandføringsvægtede koncentrationen af totalkvælstof (Total-N) i tilført vand samt i afløb til hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer.

Bemærk forskellig skala på akse-
ne.



Tabel 3.16. 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 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer for 1990 til 2014 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 % og 75 % fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2012 samt 2014. Årsværdier. * er 7-årsperiode i modsætning til de øvrige 6-årsperioder.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Tilførsel	1990-1994	6,85	2,63	5,70	6,21	8,95	10,61
Total-N konc.	1995-2000	5,33	2,29	3,39	5,18	7,25	8,82
(mg N/l)	2001-2006	4,66	1,96	3,04	4,40	6,36	8,89
	2007-2013*	3,95	1,38	2,67	3,72	4,91	7,48
	2014	4,09	1,31	2,74	3,85	5,37	8,26
Tilførsel	1990-1994	325,16	21,63	51,49	180,74	526,14	1.153,10
Total-N mængde	1995-2000	211,83	12,93	37,67	131,57	327,86	581,57
(mg N/m ² /dag)	2001-2006	193,51	11,28	32,16	110,64	270,71	614,77
	2007-2013*	174,48	8,61	29,31	106,70	265,75	567,21
	2014	160,36	7,56	30,68	104,55	282,92	466,06
Udløb	1990-1994	4,09	0,74	2,44	3,48	5,20	9,12
Total-N konc.	1995-2000	3,19	0,68	1,71	2,80	4,34	7,00
(mg N/l)	2001-2006	2,89	0,61	1,56	2,48	3,43	7,54
	2007-2013*	2,31	0,52	1,51	1,91	2,51	6,07
	2014	2,19	0,48	1,18	1,80	2,44	6,69

Kvælstoftilbageholdelsen varierer fra år til år. Den absolutte kvælstoftilbageholdelse afspejler den variation, der er i kvælstoftilførslen, således at der i absolutte mængder tilbageholdes mindre kvælstof i de år, hvor der også tilføres mindre mængder (figur 3.15, 3.16), hvilket bl.a. er nedbørsafhængigt.

Den absolutte kvælstoftilbageholdelse er gennemsnitligt set ca. 25 % lavere i de senere år (2007-2013) sammenlignet med niveauet i den første del af overvågningsperioden (1990-1994) (tabel 3.17), hvilket sandsynligvis hænger sammen med en betydelig reduktion af tilførslen. Tilbageholdelsen i 2014 ligger lidt højere end for den foregående periode. I alt fem af de 10 søer viser et signifikant fald i absolut kvælstoftilbageholdelse (tabel 3.18) set over hele overvågningsperioden, mens dette er tilfældet i to af disse fem søer set over de seneste 10 år. Den relative kvælstoftilbageholdelse var som gennemsnit for alle 10 søer i perioden 1990-1994 lavere end niveauet for de øvrige perioder (tabel 3.17), men er præget af stor variation hen over tid, og der ses ingen klar generel trend i undersøgelsesperioden (figur 3.15D). I 2014 ligger den gennemsnitlige relative kvælstoftilbageholdelse højere end i flere af de foregående år (figur 3.15D), og fem søer har en signifikant forøget relativ kvælstoftilbageholdelse i forhold til tilførslerne set over hele overvågningsperioden, mens kun én sø (Hinge Sø) har en signifikant relativ kvælstofforøgelse set over de seneste 10 år (tabel 3.18, figur 3.18).

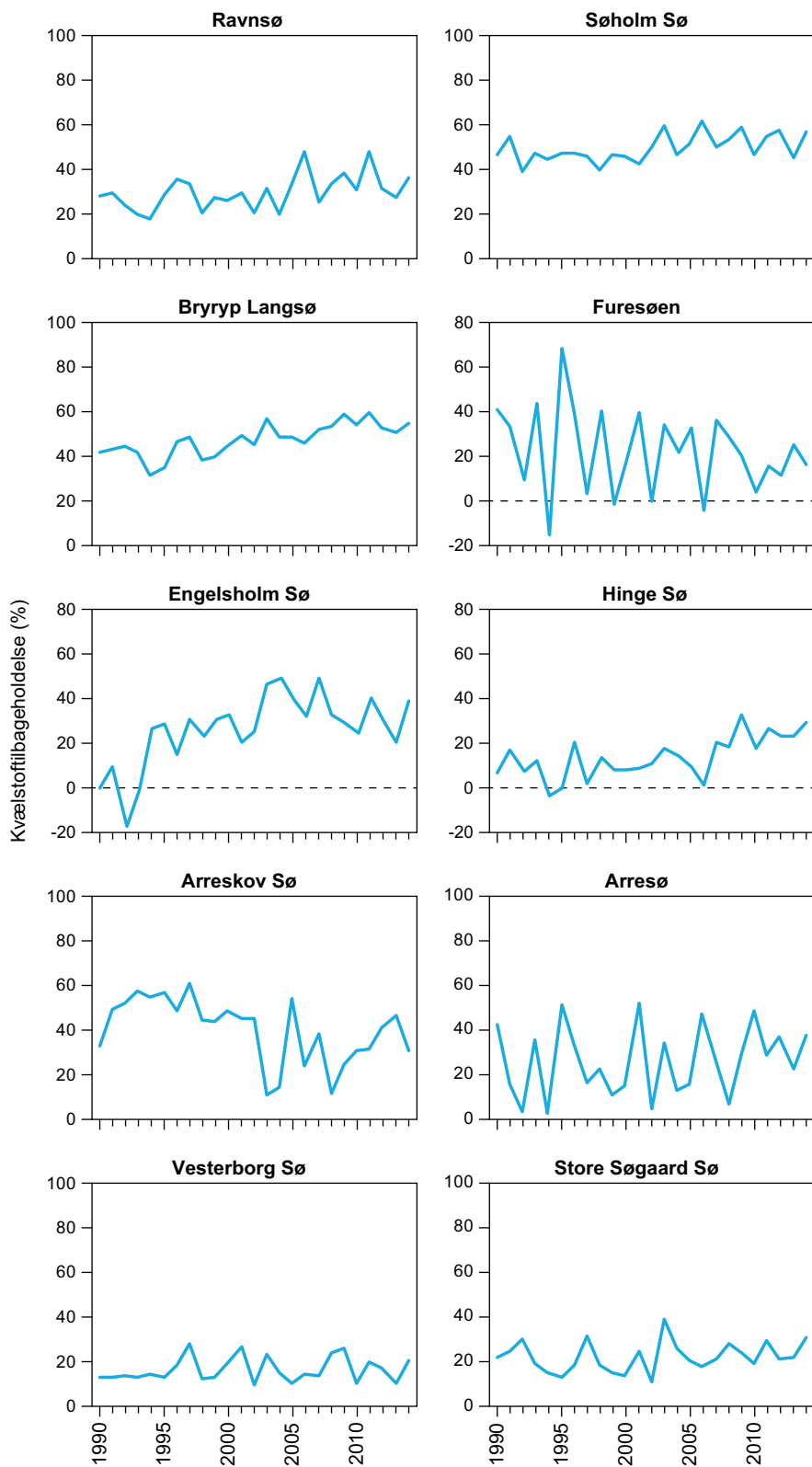
Tabel 3.17. Absolut (Total-N ret. (mg N/m²/dag)) og relativ (Total-N ret. (% af tilførsel)) tilbageholdelse af totalkvælstof i de 10 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer med angivelse af gennemsnit, median, minimum, maksimum samt 25 % og 75 % fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2012 samt 2014. Årsværdier. * er 7-årsperiode i modsætning til de øvrige 6-årsperioder.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Total-N ret. (mg N/m ² /dag)	1990-1994	81	5	14	56	125	252
	1995-2000	62	11	24	45	86	222
	2001-2006	61	9	14	47	71	230
	2007-2013*	61	7	12	59	69	208
	2014	64	5	12	62	98	170
Total-N ret. (% af tilførsel)	1990-1994	25	4	14	22	41	50
	1995-2000	29	9	19	27	42	51
	2001-2006	30	11	21	29	36	52
	2007-2013*	32	18	23	30	34	55
	2014	35	16	29	34	39	57

Tabel 3.18. Udviklingen i overvågningssøernes stofbalancer (årsværdier) for totalkvælstof i hele perioden 1990-2014 og de seneste 10 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 (%).

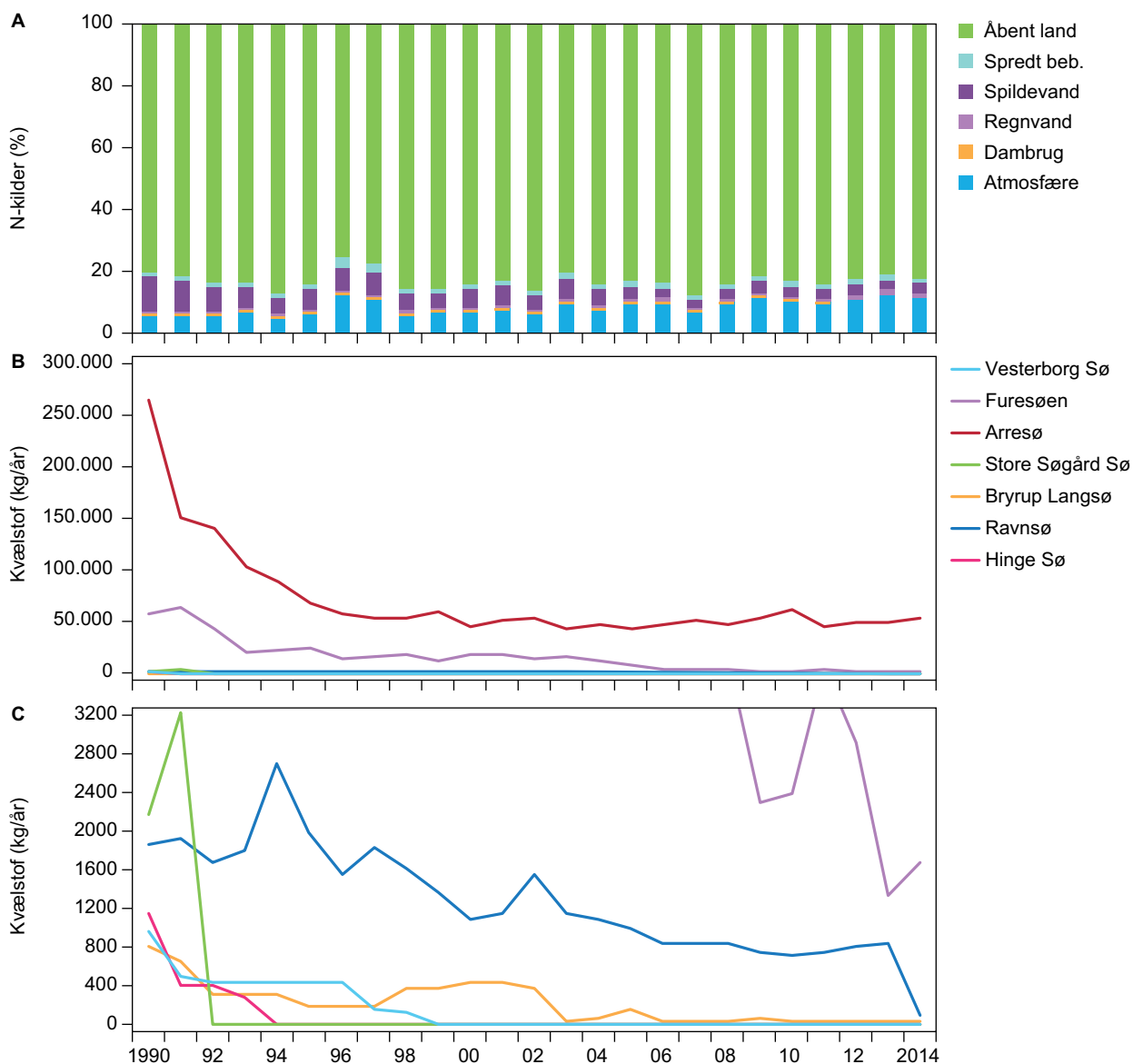
	Ni		Nu		Ntilm2		Nretm2		Nret(%)	
	90-14	05-14	90-14	05-14	90-14	05-14	90-14	05-14	90-14	05-14
Hinge Sø	----	-	----	---	----	0	0	+	++++	++
Ravn Sø	----	--	----	--	----	0	----	-	++	0
Bryrup Langsø	----	----	----	--	----	--	---	-	++++	0
Engelsholm Sø	----	--	----	0	---	-	+	0	+++	0
St. Søgård Sø	----	--	----	--	---	0	-	0	0	0
Arreskov Sø	----	0	0	----	---	0	----	0	--	0
Søholm Sø	----	0	--	0	0	0	0	0	++	0
Arresø	----	-	---	---	----	-	0	0	0	0
Furesøen	----	--	----	0	----	--	0	0	0	0
Vesterborg Sø	---	--	--	--	-	0	-	0	0	0
I alt +/++/+++/++++	0	0	0	0	0	0	1	1	5	1
I alt -/--/---/----	10	8	9	7	9	4	5	2	1	0

Figur 3.18. Udvikling i den årlige tilbageholdelse af totalkvælstof (%) i hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer. Bemærk forskellig skala på akserne.



Kvælstofkilder

Kvælstofbelastningen fra det åbne land (primært landbrugsbidrag, men også baggrund) udgjorde i 2014 ca. 82 % af den totale tilførsel (tabel 3.19) i de 10 søer med kildeopsplitning. Trods tæt på en halvering af den samlede tilførsel har andelen fra det åbne land været tilnærmelsesvis konstant siden 1990 (figur 3.19A, tabel 3.19). Det atmosfæriske bidrag udgør den næststørste kilde siden 1994 opdelt i seks- og syvårsperioder (tabel 3.19) med en gennemsnitlig andel på 9-13 %. Spildevand, regnvandsbetingede tilledninger og spredt bebyggelse er som gennemsnit 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, St. Søgård Sø og Vesterborg Sø i en længere periode ikke har modtaget spildevand (figur 3.19B og C). Endvidere er den spildevandsbetingede tilførsel af kvælstof til Ravnsø faldet med 88 % fra 2013 til 2014. Dermed er den gennemsnitlige spildevandsbelastning for de 10 søer reduceret fra ca. 9 til under 3 % i overvågningsperioden siden 1990 i de 10 søer (tabel 3.19).



Figur 3.19. A: Den procentuelle årlige kildefordeling for kvælstoftilførslen til 10 af overvågningssøerne med stoftilførselsmålinger i perioden 1990-2014, B; Det aktuelle årlige spildevandsbidrag af kvælstof fra rensningsanlæg i overvågningssøerne (der er intet bidrag til Engelsholm Sø, Søholm Sø og Arreskov Sø), C: Som graf B med forstørret akseenhed.

Table 3.19. Den procentuelle årlige kildefordeling for kvælstoftilførslen i de 10 intensivt overvågede søer med stofbalancer fra 1990 til 2014, opdelt i tre perioder samt for året 2014. Fordelingen er beregnet som gennemsnit af årsværdier for de enkelte søers procentfordeling. * er 7-årsperiode i modsætning til de øvrige 6-årsperioder.

	Spilde- vand	Regn- vand	Spredt bebyg.	Dam- brug	Atmos- fære	Åbent land
1990-1994	8,5	0,6	1,3	0,1	6,4	83,0
1995-2000	6,4	0,8	1,9	0,1	8,9	81,9
2001-2006	4,9	0,8	1,7	0,1	9,2	83,4
2007-2013*	3,1	1,0	1,7	0,1	10,7	83,3
2014	3,0	2,0	1,5	0,0	11,5	82,0

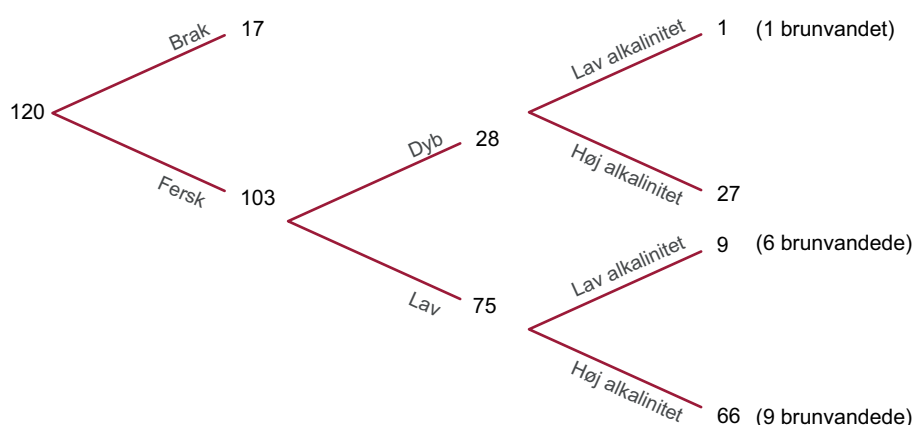
4 Kontrolovervågning af søernes tilstand

Overvågning af de danske søers generelle økologiske og kemiske tilstand foretages ved undersøgelse i 150 søer >5 ha i løbet af perioden 2011-2015, dvs. ca. 30 søer undersøges hvert år.

Denne del af rapporten giver en overordnet status for de 120 søer, der er undersøgt i 2011-2014 (den nuværende NOVANA-periodes første fire år). Derudover gives der et overordnet overblik over udviklingen i de søer, der er undersøgt i perioden 2010-2014, sammenlignet med den forrige NOVANA-periode (2004-2009). Dette er muligt, da de søer, der indgik i overvågningen i "overgangsåret" 2010 og i kontrolovervågningen af søernes tilstand i perioden 2011-2015, er en delmængde af de tidligere undersøgte Ekstensiv-1 søer samt søer, der tidligere indgik i "Det intensive program" i NOVANA-perioden 2004-2009 (se afsnit 4.2).

De undersøgte søer repræsenterer flere forskellige søtyper, herunder også brakvandssøer (figur 4.1). Dette gør det muligt at give et forsigtigt bud på tilstand og udviklingstendens for enkelte af søtyperne. Dog må det pointeres, at de 120 søer ikke nødvendigvis er et repræsentativt udsnit af de 150 søer, der er udvalgt på geografisk stratificeret vis. Dette tages der forbehold for ved vurderingerne i denne rapport.

Figur 4.1. Fordeling af søer, der indgik i kontrolovervågningen af tilstand i 2011-2014, fordelt på søtyper baseret på salinitet (>0.5 ‰), middeldybde (>3 m), alkalinitet (>0.2 meq/l) og farvetal (>60 mg Pt/l).



4.1 Generel tilstand

De 120 søer, der på nuværende tidspunkt er blevet undersøgt med henblik på tilstandsvurdering, repræsenterer i alt syv søtyper, defineret ud fra salinitet, middeldybde, alkalinitet og farvetal (figur 4.1). Størstedelen af søerne repræsenterer den typiske danske sø: fersk, lavvandet, alkalint og ingen humusstoffer af nævneværdig grad (ikke-brunvandet: farvetal <60 mg Pt/l). Tabel 4.1 giver den samlede oversigt over de morfometriske parametre, sigtddybe samt fire vandkemiske nøgleparametre for de 120 undersøgte søer, mens tabel 4.2 viser de vandkemiske og biologiske forhold fordelt på fire søtyper. Søernes geografiske placering er vist i figur 4.2.

Tabel 4.1. Oversigt over morfometriske samt vandkemiske nøgleparametre (sommerværdier) for de 120 søer, som er undersøgt i perioden 2011-2014.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Oplandsareal (km ²)	26,7	6,5	0,05	945	100
Søareal (ha)	115,1	20,6	5	1730	119
Middeldybde (m)	2,3	1,6	0,3	13,2	116
Maksimumsdybde (m)	4,4	2,5	0,3	30,9	117
Totalfosfor (mg P/l)	0,130	0,073	0,012	1,363	120
Totalkvælstof (mg N/l)	1,19	1,03	0,28	5,11	119
Sigtdybde (m)	1,2	1,0	0,2	5,1	119
Klorofyl a (µg/l)	54	31	2	282	119
Farvetal (mg Pt/l)	42	27	5	544	119

Søernes areal spænder fra en nedre grænse på 5 ha op til 1730 ha. Størstedelen er lavvandede søer (median for middeldybde er 1,6 meter og gennemsnittet 2,3 meter), men også dybe søer med en maksimaldybde på op til 31 meter forekommer. Søerne tilhører generelt den mere næringsrige kategori med en sommermedian af totalfosfor på 0,07 mg/l og et gennemsnit på 0,13 mg/l. Dog forekommer der også enkelte rene søer med et fosforsommergennemnit under 0,02 mg P/l.

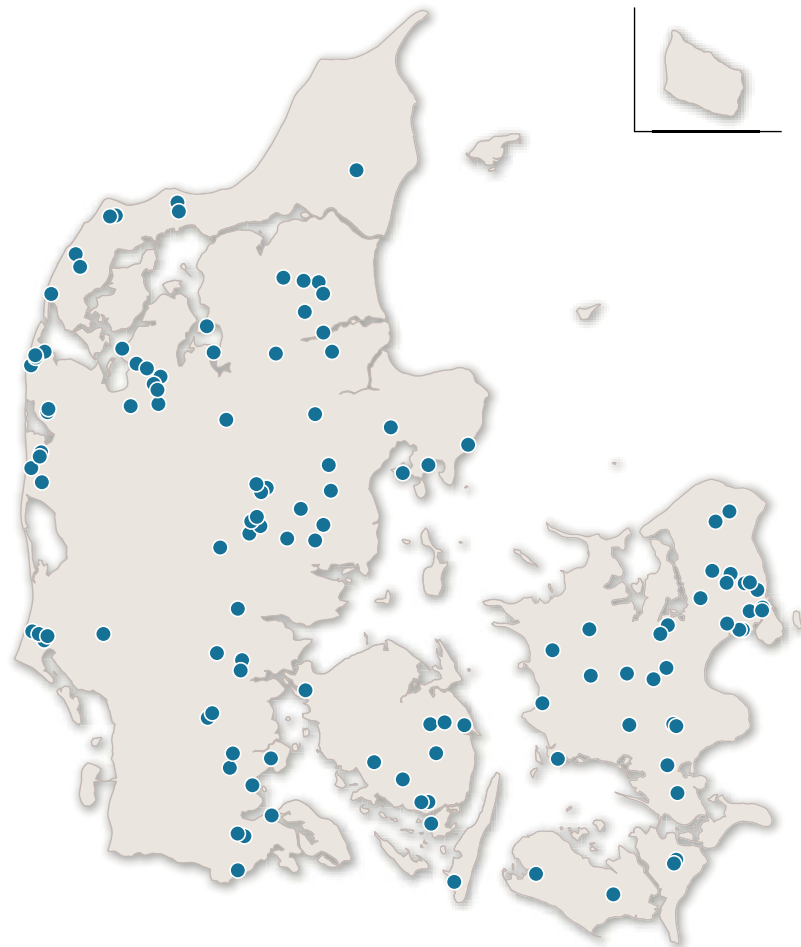
Tabel 4.2. Oversigt over kemiske og biologiske data fra de 120 søer (sommerværdier) fordelt på fire søtyper, som er undersøgt i perioden 2011-2014 (for de lavvandede søer indgår både dybe og lavvandede søer). Hvis der er data for flere år, indgår søen med den seneste måling. Fisk indsamlet med net med maskestørrelse 68 og 85 mm i fiskeundersøgelserne er ikke medtaget. ¹⁾ gedde+aborre+sandart >10 cm, ²⁾ skalle+rudskalle+brasen+hybrider. ³⁾ Heraf fem søer uden planter. ⁴⁾⁵⁾ Heraf én sø uden planter. ⁶⁾ Heraf tre søer uden planter. CPUE = catch "per unit effort".

Lavvandet, alkalin	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,3	1,2	0,3	2,8	64
Maksimumsdybde (m)	2,6	2,0	0,3	10,1	66
Totalfosfor (mg P/l)	0,138	0,086	0,018	1,363	66
Totalkvælstof (mg N/l)	1,31	1,09	0,48	5,11	66
Sigtdybde (m)	0,9	0,9	0,2	2,4	65
Klorofyl a (µg/l)	64,7	41,7	3,5	282,1	66
Alkalinitet (meq/l)	2,29	2,13	0,15	5,30	66
pH	8	8	7	10	64
Farvetal (mg Pt/l)	40	34	11	126	66
Suspenderet stof (mg/l)	20	13	2	88	66
Konduktivitet (mS/m)	59	47	11	752	63
Relativt plantedækket areal (%)	20,4	8,1	0,0	87,6	64 ³⁾
Relativt plantedækket volumen (%)	9,8	3,1	0,0	60,2	64
Antal arter af undervandsplanter	9	8	0	34	64
Plantedybdegrænse (m)	1,4	1,5	0,0	5,3	64
Fisk CPUE (antal/net)	163	118	0	678	64
Fisk CPUE biomasse (kg/net)	4,6	4,5	0,3	10,6	64
Andel af rovfisk ¹⁾ antal (%)	15	8	0	75	64
Andel af rovfisk ¹⁾ biomasse (%)	32	28	0	97	64
Andel af karpefisk ²⁾ antal (%)	51	54	0	99	64
Andel af karpefisk ²⁾ biomasse (%)	49	55	0	89	64

Dyb, alkalin	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	5,6	4,3	3,2	13,2	26
Maksimumsdybde (m)	11,5	10,0	5,0	30,9	24
Totalfosfor (mg P/l)	0,067	0,056	0,016	0,208	27
Totalkvælstof (mg N/l)	0,84	0,77	0,28	1,78	26
Sigtdybde (m)	2,4	2,0	0,6	5,1	27
Klorofyl a (µg/l)	30,7	18,4	5,2	128,3	26
Alkalinitet (meq/l)	2,28	2,52	0,27	4,65	26
pH	8	8	7	9	25
Farvetal (mg Pt/l)	18	16	5	51	26
Suspenderet stof (mg/l)	7	6	2	19	26
Konduktivitet (mS/m)	40	40	11	67	24
Relativt plantedækket areal (%)	8,2	4,5	0	35,5	27 ⁴⁾
Relativt plantefyldt volumen (%)	1,1	0,3	0	7,1	27
Antal arter af undervandsplanter	9	9	0	24	27
Plantedybdegrænse (m)	3,5	3,0	0	9,5	27
Fisk CPUE (antal/net)	104	82	10	327	27
Fisk CPUE biomasse (kg/net)	3,2	2,8	0	9,2	27
Andel af rovfisk ¹⁾ antal (%)	20	18	5	56	27
Andel af rovfisk ¹⁾ biomasse (%)	40	36	13	90	26
Andel af karpfisk ²⁾ antal (%)	34	30	0	84	27
Andel af karpfisk ²⁾ biomasse (%)	49	52	6	73	26
Lavvandet + dyb, lavalkalin	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,9	1,3	0,8	4,8	9
Maksimumsdybde (m)	3,5	2,3	0,9	11,0	10
Totalfosfor (mg P/l)	0,057	0,036	0,012	0,150	10
Totalkvælstof (mg N/l)	0,74	0,70	0,42	1,21	10
Sigtdybde (m)	1,1	1,1	0,4	2,0	10
Klorofyl a (µg/l)	30,1	15,5	1,7	107,0	10
Alkalinitet (meq/l)	0,05	0,04	-0,05	0,19	10
pH	6	6	4	7	10
Farvetal (mg Pt/l)	138	84	12	544	10
Suspenderet stof (mg/l)	6	4	3	14	10
Konduktivitet (mS/m)	12	11	7	25	10
Relativt plantedækket areal (%)	20,8	13,9	0	63,0	10 ⁵⁾
Relativt plantefyldt volumen (%)	4,6	1,0	0	19,7	10
Antal arter af undervandsplanter	6,3	7	0	10	10
Plantedybdegrænse (m)	1,6	1,3	0	4,5	10
Fisk CPUE (antal/net)	29	28	11	59	6
Fisk CPUE biomasse (kg/net)	2,7	2,3	0,9	5,4	6
Andel af rovfisk ¹⁾ antal (%)	59	54	22	99	6
Andel af rovfisk ¹⁾ biomasse (%)	78	90	12	100	6
Andel af karpfisk ²⁾ antal (%)	19	0	0	68	6
Andel af karpfisk ²⁾ biomasse (%)	19	1	0	86	6

Brakvandssøer	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,2	1,0	0,3	2,8	17
Maksimumsdybde (m)	2,2	2,3	0,4	5,6	17
Totalfosfor (mg P/l)	0,244	0,155	0,028	1,224	17
Totalkvælstof (mg N/l)	1,51	1,42	0,53	3,12	17
Sigtdybde (m)	0,7	0,6	0,2	1,5	17
Klorofyl a (µg/l)	61,3	56,5	13,2	143,7	17
Alkalinitet (meq/l)	3,16	3,31	1,22	4,16	17
pH	9	9	8	9	17
Farvetal (mg Pt/l)	32	25	16	77	17
Suspenderet stof (mg/l)	43	23	6	180	17
Konduktivitet (mS/m)	802	665	114	2366	17
Salinitet (‰)	7,1	5,7	1,9	21,4	17
Relativt plantedækket areal (%)	15,5	5,9	0	61,5	17 ⁶⁾
Relativt plantefyldt volumen (%)	8,6	1,2	0	63,5	17
Antal arter af undervandsplanter	6	4	0	34	17
Plantedybdegrænse (m)	1,0	0,7	0	2,5	17
Fisk CPUE (antal/net)	101	79	6	322	15
Fisk CPUE biomasse (kg/net)	2,9	2,0	0	11,2	15
Andel af rovfisk ¹⁾ antal (%)	5	0	0	22	15
Andel af rovfisk ¹⁾ biomasse (%)	14	3	0	49	15
Andel af karpfisk ²⁾ antal (%)	27	26	0	99	15
Andel af karpfisk ²⁾ biomasse (%)	42	43	0	98	15

Figur 4.2. Geografisk placering af søer, der indgik i kontrol-
overvågningen for tilstand i 2011-
2014.



De lavvandede, alkaline søer er som helhed næringsrige (totalfosfor på 0,09 mg/l (sommermedian)) og har et højt klorofyl *a*-indhold og en lav sigtddybde. Dækningsgraden af undervandsplanter er lav (median på 8,1 %) og repræsenteret af ni arter som median. Der er en betydelig fiskebestand, som er domineret af karpefisk (lidt over 50 % både biomasse- og antalsmæssigt) (tabel 4.2).

De dybere, alkaline søer er generelt mindre næringsrige end de lavvandede (hhv. 35 % og 29 % lavere for totalfosfor og -kvælstof (sommermedianer)). Samtidig har de en relativt høj sigtddybde, og klorofyl *a*-niveauet er lavere (56 % (sommermedian)) end i de lavvandede søer. Farvetal og den generelle mængde suspenderet stof er omtrent halvt så stor i de dybe, alkaline søer sammenlignet med de lavvandede.

Undervandsvegetationens udbredelse er naturligt mere begrænset i de dybe søer og er med medianværdi på 4,5 % plantedækket areal lavere end i de lavvandede søer. Den højere sigtddybde i de dybe søer afspejles dog i dybdegrænsen for undervandsplanterne, som har en median på 3,2 m. Antallet af undervandsplantearter er som medianværdi ni og dermed på samme niveau som for de lavvandede, alkaliske søer. Forskellen i antallet af søer, der er repræsenteret i de to grupper (66 lavvandede og 27 dybe søer), skal dog tages i betragtning, hvilket også gælder for de øvrige parametre.

Fiskebestanden i de dybere alkaline søer er generelt lavere end i de lavvandede søer (hhv. 31 og 37 % for antal og biomasse), og andelen af større rovfisk er højere, mens andelen af karpefisk antalsmæssigt er lavere (tabel 4.2). Biomasse-mæssigt er andelen af karpefisk på højde med niveauet for lavvandede søer. Dette indikerer, at der generelt er få, men store rovfisk i de lavvandede søer, mens der i de dybe søer størrelsesmæssigt er en mere jævn bestand af rovfisk samt færre, men større karpefisk i de dybere søer, og der er dermed en bedre kontrol af karpefiskene. Igen må forskellen i antallet af søer mellem de to grupper dog tages in mente.

Det er vanskeligt at give en generel status for tilstanden i de lavalkaline og brakke søer, da der kun er undersøgt et begrænset antal søer af disse typer. Her gives dog alligevel en status på baggrund af tilstandsundersøgelserne i disse søer. De 10 lav-alkaline søer (ni lavvandede og en dyb) inkluderer både ikke-brunvandede og brunvandede søer. De har lav pH og er overvejende næringsfattige (medianværdien for totalfosfor er 0,036 mg/l). Det høje humusindhold i de brunvandede søer bevirker, at medianen for farvetal bliver relativt høj, og følgelig er sigtddybden for gruppen også forholdsvis lav (tabel 4.2).

Blandt brakvandssøerne er der stor spredning mht. næringsstofniveau, og totalfosforindholdet spænder fra 0,028 til 1,124 mg/l. Flertallet er dog næringsrige og medianværdien for totalfosfor i de 17 søer er på 0,16 mg/l. Sigtddybden er tilsvarende lav med en medianværdi på kun 0,6 m, hvilket afspejler et højt klorofyl *a*-niveau med en medianværdi på 57 µg /l. Fisketætheden og biomassen er i samme størrelsesorden som de øvrige alkaline søer og generelt domineret af hundestejle eller karpefisk. Undervandsvegetationens plantedække er på trods af lave vanddybder for de fleste søer lav med en medianværdi på 6 %.

4.2 Udviklingstendenser

De foregående afsnit beskriver tilstand i søerne, der indgår i kontrolovervågning af tilstand, i perioden 2011-2014. Ved at inkludere undersøgelser fra 2010 er der mulighed for at undersøge udviklingstendenserne i mange af søerne, da de fleste søer, der er undersøgt i perioden 2010-2014, også er undersøgt i perioden 2004-2009 efter samme retningslinjer. Typisk er de undersøgt to gange for de kemiske parametre og undervandsplanter, mens fiskebestanden er undersøgt én gang i perioden 2004-2009.

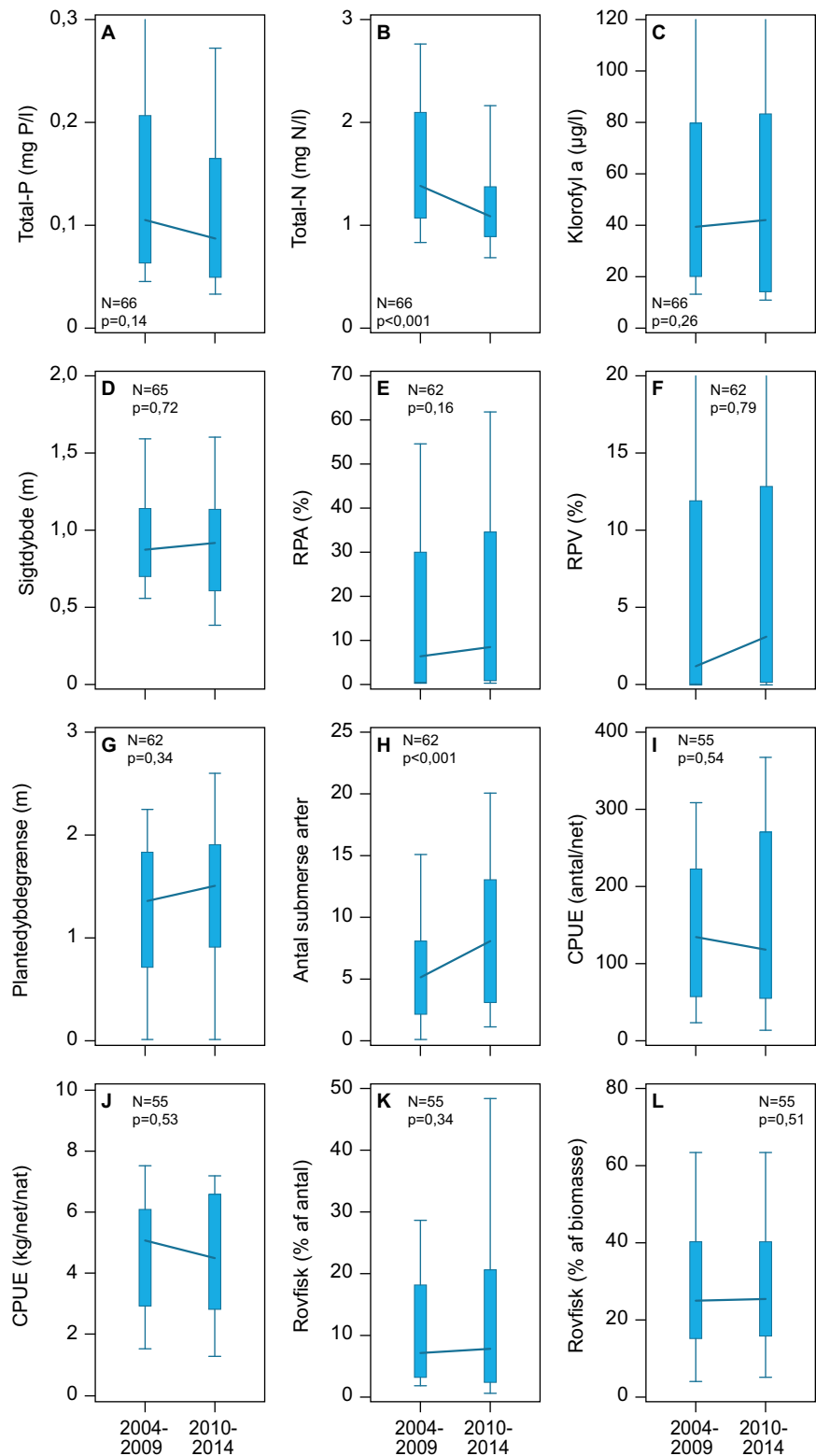
På nuværende tidspunkt i denne overvågningsperiode er der i alt 66 søer af den hyppigste søtype: lavvandede, alkaline søer, der også er undersøgt i perioden 2004-2009, mens i alt 27 søer af typen dybe, alkaline søer er undersøgt. I dette afsnit sammenlignes resultaterne fra undersøgelserne i 2004-2009 med resultaterne fra den seneste periode (2010-2014) for disse søer. Derudover præsenteres tilsvarende sammenligninger for de mindre hyppigt forekommende søtyper: lav-alkaline søer og brakvandssøer.

I de lavvandede, alkaline søer ses der et signifikant fald i medianen for totalkvælstofkoncentrationen fra 1,4 til 1,1 mg/l (figur 4.3B). Medianværdien for totalfosfor er også reduceret, men ikke signifikant. Der ses et generelt fald i alle søer, idet også 25 og 75 % fraktilerne for både totalkvælstof og totalfosfor er faldet. Dette fald ser ikke ud til at have forårsaget et generelt fald i klorofyl *a*-koncentrationen eller en stigning i sigtddybden mellem de to perioder, hvor værdierne stort set er på samme niveau (sommermedian på 39 og 42 µg klorofyl *a*/l og sigtddybe på 0,9 m). Trods dette ses der en tendens til forbedringer i undervandsvegetationen; det er dog kun stigningen i artsantallet, der er signifikant. Der ses ingen signifikante generelle ændringer i fiskeforekomsten og sammensætningen i de lavvandede, alkaline søer.

Udviklingen i de dybe, alkaline søer svarer til den, der ses for de lavvandede, alkaline søer. Tendensen, hvor det er muligt at sammenligne mellem perioden 2004-2009 og perioden 2010-2014 (27 søer), viser en signifikant reduktion i totalfosfor og totalkvælstof (hhv. en reduktion fra 0,07 til 0,06 mg P/l og 1,0 til 0,8 mg N/l). Dette afspejles dog ikke i medianen for klorofyl *a*-koncentrationen og sigtddybden, der ligger på hhv. 23 µg/l og 2,2 m i den første periode og på hhv. 18 µg/l og 2 m i den seneste periode (figur 4.4, A-D). Undervandsvegetationen er relativt begrænset (median på 4,5 % relativt plantedække i 2010-2014), men udviser en stigende tendens, dog uden signifikans. Det samme gælder plantedybdegrænsen, mens stigningen i antal arter fra syv til ni er beskeden, men signifikant (figur 4.4, E-H). Den totale fisketæthed viser ingen signifikante ændringer. Derimod er der en signifikant stigning i fiskebiomassen samt i den procentvise andel af rovfisk. De signifikante tendenser er kun vejledende, idet kun 21 søer indgår i analysen af fiskebestanden.

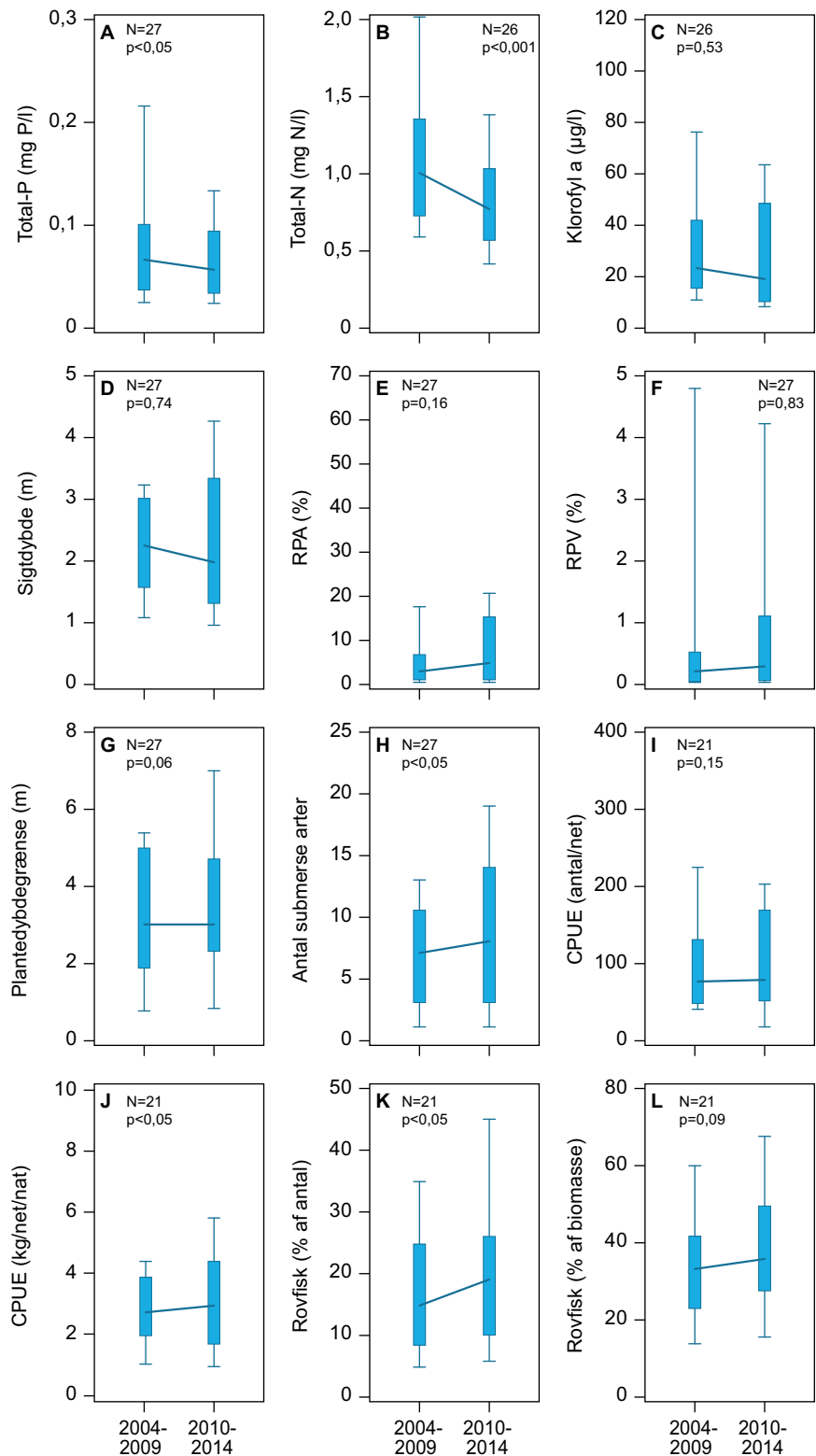
Figur 4.3. Udviklingstendenser fra perioden 2004-2009 til 2010-2014 i kemiske (sommergennemsnit) og biologiske parametre i de 66 lavvandede, alkaline søer, der indgår i kontrolovervågningen af tilstand i 2010-2014.

A: Totalfosfor (Total P (mg/l)), B: Totalkvælstof (Total N (mg/l)), C: Klorofyl a ($\mu\text{g/l}$), D: Sigtdybde (m), E: Relativt plantedækket areal (% af søens areal), F: Relativt plantefyldt volumen (% af søens volumen), G: Plantedybdegrænse ekskl. trådalger (m), H: Antal undervandsplantearter inkl. trådalger, I: Antal af fisk (CPUE = antal/net/nat), J: Biomasse af fisk (CPUE = kg/net/nat), K: Andel af rovfisk (gedde + aborre >10 cm) (% , antal), L: Andel af rovfisk (gedde + aborre >10 cm) (% , biomasse). Bjælkerne i boksplot-tene viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier. Antallet af søer (N) samt p-værdi (p) for parret t-test er angivet.

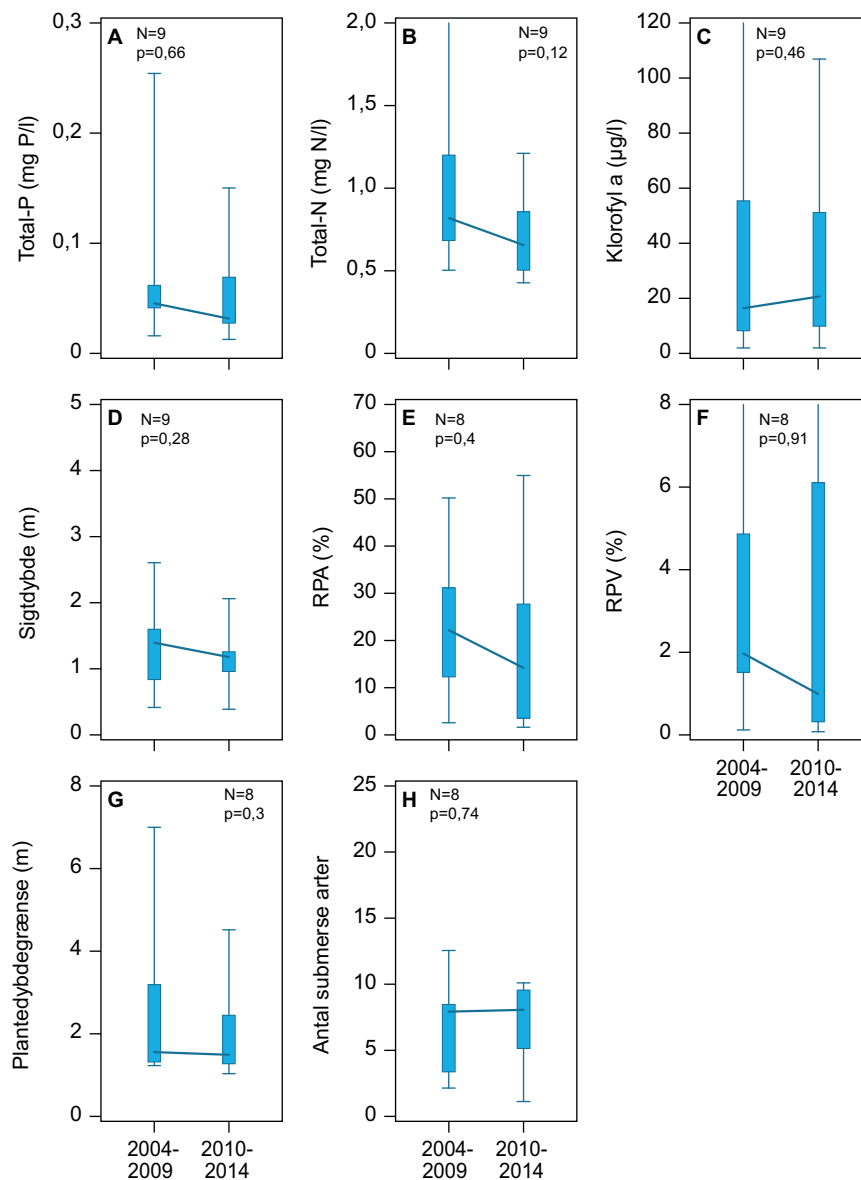


Figur 4.4. Udviklingstendenser fra perioden 2004-2009 til 2010-2014 i kemiske (sommergennemsnit) og biologiske parametre i de 27 dybe, alkaline søer, der indgår i kontrolovervågningen af tilstand i 2010-2014.

A: Totalfosfor (Total P (mg/l)), B: Totalkvælstof (Total N (mg/l)), C: Klorofyl a ($\mu\text{g/l}$), D: Sigtdybde (m), E: Relativt plantedækket areal (% af søens areal), F: Relativt plantefyldt volumen (% af søens volumen), G: Plantedybdegrænse ekskl. trådalger (m), H: Antal undervandsplantearter inkl. trådalger, I: Antal af fisk (CPUE = antal/net/nat), J: Biomasse af fisk (CPUE = kg/net/nat), K: Andel af rovfisk (gedde + aborre >10 cm) (% , antal), L: Andel af rovfisk (gedde + aborre >10 cm) (% , biomasse). Bjælkerne i boksplottene viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier. Antallet af søer (N) samt p-værdi (p) for parret t-test er angivet.



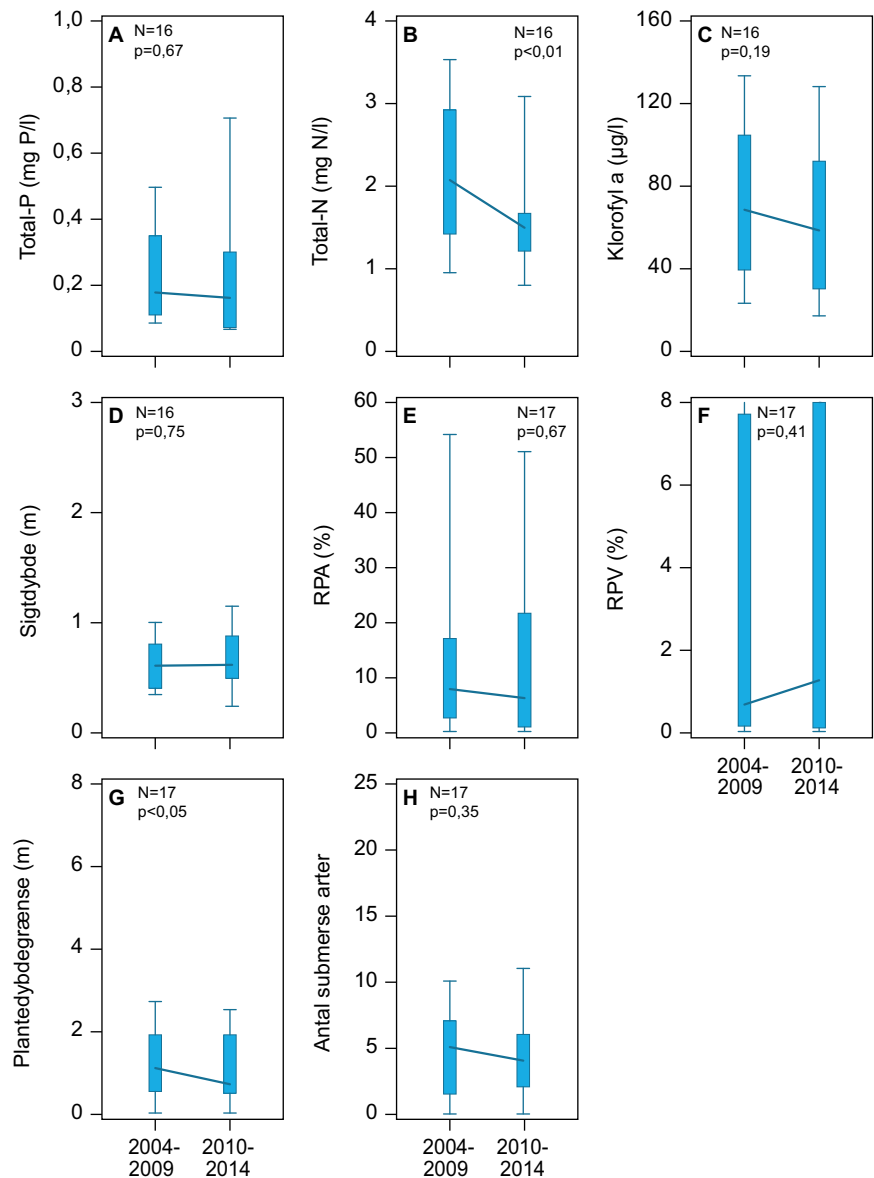
Figur 4.5. Udviklingstendenser fra perioden 2004-2009 til 2010-2014 i kemiske (sommergennemsnit) og biologiske parametre i de lav-alkaline søer, der indgår i kontrolovervågningen af tilstand i 2010-2014 og som der tidligere er lavet undersøgelser i. A: Totalfosfor (Total P (mg/l)), B: Totalkvælstof (Total N (mg/l)), C: Klorofyl a ($\mu\text{g/l}$), D: Sigtdybde (m), E: Relativt plantedækket areal (% af søens areal), F: Relativt plantefyldt volumen (% af søens volumen), G: Plantedybdegrænse ekskl. trådalger (m), H: Antal undervandsplantearter inkl. trådalger. Bjælkerne i boksploterne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier. Antallet af søer (N) samt p-værdi (p) for parret t-test er angivet.



Udviklingen i de ni lavalkaline søer, hvor det er muligt at sammenligne mellem perioden 2004-2009 og perioden 2010-2013, ses i figur 4.5. Det er på baggrund af det lave antal undersøgte søer ikke muligt at tale om generelle nationale udviklingstendenser for denne søtype, men resultaterne vises som information. Ingen af parametrene viser en signifikant ændring mellem de to perioder. Fiskeforekomst er ikke medtaget, da der kun er data for fire søer. Næringsstofniveauet ser ud til at følge tendenserne (faldende) set i de alkaline søer, mens der ikke ses de store ændringer i klorofyl a-niveau og sigtdybde. Derimod ser undervandsvegetationen ud til at være gået lidt tilbage, både hvad angår dækningsgrad og plantefyldt volumen.

Figur 4.6. Udviklingstendenser fra perioden 2004-2009 til 2010-2014 i kemiske (sommergennemsnit) og biologiske parametre i de brakvandssøer, der indgår i kontrolovervågningen af tilstand i 2010-2014 og som der tidligere er lavet undersøgelser i.

A: Totalfosfor (Total P (mg/l)), B: Totalkvælstof (Total N (mg/l)), C: Klorofyl a ($\mu\text{g/l}$), D: Sigtdybde (m), E: Relativt plantedækket areal (% af søens areal), F: Relativt plantefyldt volumen (% af søens volumen), G: Plantedybdegrænse ekskl. trådalger (m), H: Antal undervandsplantearter inkl. trådalger. Bjælkerne i boksplotterne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier. Antallet af søer (N) samt p-værdi (p) for parret t-test er angivet.



Brakvandssøerne, hvoraf 17 søer er undersøgt i begge perioder, viser et signifikant fald i totalkvælstofkoncentrationen mellem de to perioder (figur 4.6 B), hvorimod totalfosforindholdet er uændret. Derudover er der tendenser til faldende klorofyl a-niveau (figur 4.6), mens plantedybdegrænsen ser ud til at være gået tilbage. Igen kan der kun tales om tendenser pga. det sparsomme datamateriale.

5 Operationel overvågning af søernes tilstand

Den operationelle overvågning af søer over 5 ha er sat i værk med henblik på at vurdere tilstanden for de søer, som er i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet i 2015. Naturstyrelsen anvender undersøgelserne til at generere indsatsplaner for målopfyldelse. I programperioden (2011-2015) er der nu foretaget overvågning af 357 søer. Derudover vil en del af de søer, der er i programmet for kontrolovervågning, indgå, da det er vurderet, at ca. 75 % af disse søer ikke opfylder målsætningen og derfor vil være omfattet af behov for operationel overvågning. Det operationelle program omfatter søer, hvori der aldrig har været tilsyn, eller hvor statusoplysningerne er forældede, søer med manglende oplysninger i forhold til nødvendig indsats, søer med igangsatte indsatser samt målopfyldte søer, der er i forværring. Det vandkemiske måleprogram (plus klorofyl *a* og sigtddybde) svarer som udgangspunkt til programmet for kontrolovervågningen af tilstand. I udvalgte søer foretages sedimentanalyser, belastningsopgørelser samt analyser af fraktioner af kvælstof og fosfor. Vegetationsundersøgelser foretages som udgangspunkt i alle søer bortset fra dem, som forventes at være i dårlig tilstand, eller søer, hvor der er viden om, at omfanget af vegetationen er ubetydelig.

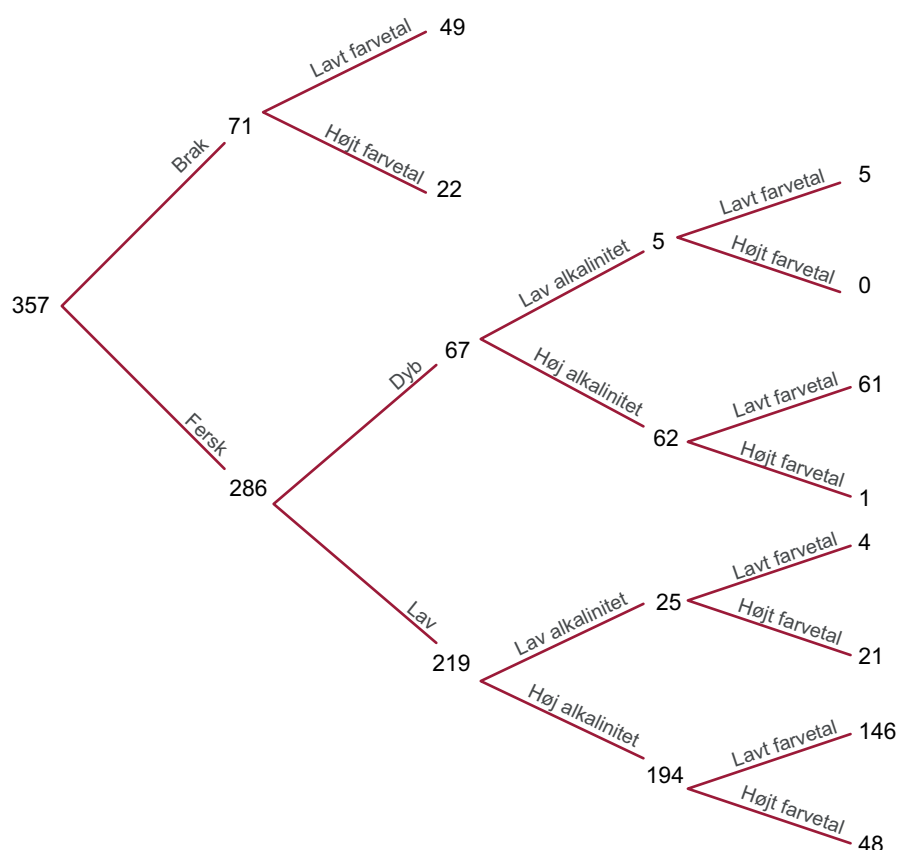
Nedenfor gives en kort status for søernes tilstand i det operationelle program efter ønske fra Naturstyrelsen. Det må pointeres, at de 357 søer, der indtil nu er undersøgt, ikke nødvendigvis er et repræsentativt udsnit af de udvalgte søer i det operationelle program. Ej heller er de repræsentative for de danske søer som helhed.

5.1 Generel tilstand

Søerne i den operationelle overvågning repræsenterer flere søtyper (figur 5.1). Til forskel fra fremstillingen af data fra kontrolovervågningen er søerne her opdelt i ikke-brunvandede (lavt farvetal: <60 mg Pt/l) og brunvandede (højt farvetal: >60 mg Pt/l) søer, da datamaterialet er betydeligt større end for kontrolovervågningen.

De lavvandede, alkaline søer med lavt farvetal er generelt ret næringsrige (sommermedian af totalfosfor på 0,11 mg/l) med højt klorofyl *a*-niveau og forholdsvis lav sigtddybde. Det skal dog bemærkes, at søerne (146 stk.) repræsenterer et stort spænd (0,04-1,23 µg P/l), og undervandsvegetationens dækningsgrad ligger generelt på et relativt lavt niveau, men også her er der store variationer (tabel 5.1). Generelt er det de større og mere lavvandede af de ikke-brunvandede søer, der har den største grad af plantedække (dette er ikke vist her).

Figur 5.1. Fordeling af søer, der indgår i den operationelle overvågning i 2011-2014, på søtyper baseret på salinitet (>0.5 ‰), middeldybde (>3 m), alkalinitet (>0.2 meq/l) og farvetal (>60 mg Pt/l).



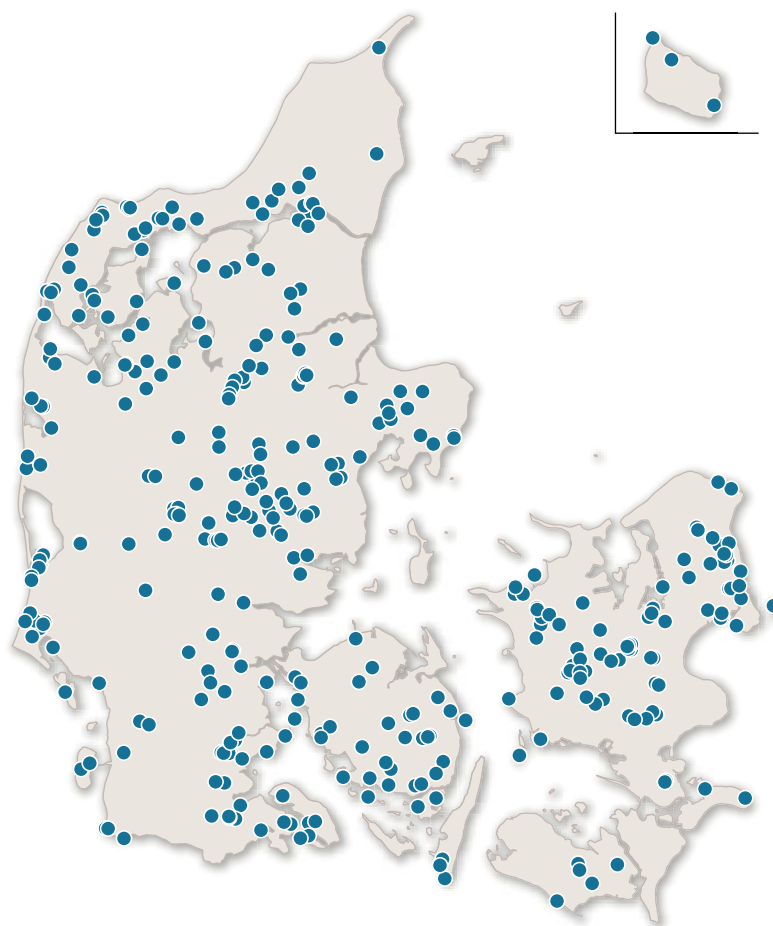
De alkaline, lavvandede søer med højt farvetal (median 91 mg Pt/l) er generelt mere næringsrige og har en lavere sigtddybde end deres pendanter med lavt farvetal (bemærk dog forskel i antal søer for de to søtyper). Det er bemærkelsesværdigt, at undervandsvegetationen generelt er udbredt med en medianværdi på 25 % plantedækket areal (typiske dominerende arter er spinke vandaks, børsteblandet vandaks, kransnålalger og vandpest). Det høje plantedække kan skyldes, at søerne, selvom de pr. definition er brunvandede (>60 mg Pt/l), ligger i den lave ende af skalaen, samt at de generelt er mere lavvandede end de ikke-brunvandede, alkaline, lavvandede søer.

De dybe, alkaline søer er middelnæringsrige, og deres tilstand ligger stort set på niveau med den observerede tilstand i søer af samme søtype i kontrolovervågningen af søernes tilstand (tabel 4.2 og 5.1).

De lavalkaline søer er generelt karakteriseret ved et lavt pH-niveau, og størstedelen af dem (21 ud af 30 søer) har et højt farvetal (brunvandede). De ikke-brunvandede, lavalkaline søer er ekstraordinært næringsfattige efter danske forhold. Dette skyldes, at seks ud af de ni søer er vandfyldte nedlagte brunkulslejer fra Søby Brunkulslejer. Flere målinger heri ligger nær detektionsgrænsen for totalfosfor. Disse søer har også udbredt undervandsvegetation.

De brunvandede, lavalkaline søer er generelt næringsrige med et relativt højt klorofyl *a*-niveau, lav sigtddybde (sommermedian på 50 cm) og sparsom undervandsvegetation (tabel 5.1).

Figur 5.2. Geografisk placering af søer, der indgik i den operationelle overvågning af søer >5 ha i perioden 2011-2014.



De brakke søer med lavt farvetal er næringsrige og ligger på niveau med de lavvandede, ferske søer, omend både klorofyl *a*-niveau og sigtddybde generelt fremstår lidt lavere, og undervandsvegetationen udviser et noget højere plantedække (tabel 5.1). Som for de lavvandede, alkaline søer gælder det også for de brakke søer, at der generelt findes et højere plantedække af undervandsvegetation i de større og mere lavvandede søer (udbredte arter er bl.a. børstebladet vandaks og havgræsser).

De 16 brakvandssøer med højt farvetal (sommermedian på 113 mg Pt/l) fremstår som de generelt mest næringsrige søer i den operationelle overvågning med en sommermedian af totalfosfor på 0,43 mg/l og totalkvælstof på 3,5 mg/l. Til trods for dette er der i de 12 søer, hvor der er foretaget vegetationsundersøgelse generelt et relativt stort areal med undervandsvegetation. I brakke søer kan klorofylmængden være høj på trods af udbredt undervandsvegetation og et anderledes dyreplankton- og fiskesamfund, der kan resultere i en lavere græsningskapacitet hos dyreplanktonet (Jeppesen m.fl. 1994, Jensen m.fl. 2010) end set i ferske søer.

Tabel 5.1. Oversigt over kemiske og biologiske data fra de 357 søer (sommerværdier), der indgik i den operationelle overvågning i perioden 2011-2014, fordelt på syv søtyper. Hvis der er data for flere år, indgår søen med den seneste undersøgelse.

Lavvandet, alkalint, lavt farvetal	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,5	1,3	0,2	3,0	115
Maksimumsdybde (m)	3,0	2,9	0,3	7,6	102
Søareal (ha)	63,3	15,2	0,9	895,0	117
Totalfosfor (mg P/l)	0,155	0,110	0,014	1,225	146
Totalkvælstof (mg N/l)	1,16	1,11	0,28	4,68	146
Sigt dybde (m)	1,0	0,9	0,2	3,3	145
Klorofyl a (µg/l)	69,1	53,6	3,5	694,6	146
Alkalinitet (meq/l)	2,50	2,39	0,38	5,12	146
pH	8	8	8	10	139
Farvetal (mg Pt/l)	34	33	6	63	146
Suspenderet stof (mg/l)	20	15	2	146	146
Konduktivitet (mS/m)	45	40	18	114	138
Relativt plantedækket areal (%)	18,8	3,7	0,0	90,0	119
Relativt plantedækket volumen (%)	9,1	1,1	0,0	84,9	119
Plantedybdegrænse (m)	2,0	1,7	0,3	7,5	92
Antal arter af undervandsplanter	7	6	1	28	95
Alle dybder, alkalint, højt farvetal	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,2	0,9	0,4	4,5	28
Maksimumsdybde (m)	2,4	1,9	0,6	8,8	31
Søareal (ha)	50,8	13,5	4,6	530,0	32
Totalfosfor (mg P/l)	0,233	0,130	0,020	1,447	49
Totalkvælstof (mg N/l)	1,61	1,44	0,70	5,32	49
Sigt dybde (m)	0,8	0,6	0,2	2,6	48
Klorofyl a (µg/l)	81,9	53,3	4,8	511,6	49
Alkalinitet (meq/l)	2,22	2,05	0,22	6,08	49
pH	8	8	7	10	47
Farvetal (mg Pt/l)	100	91	57	406	49
Suspenderet stof (mg/l)	21	14	2	101	49
Konduktivitet (mS/m)	43	37	13	120	46
Relativt plantedækket areal (%)	25,2	17,1	0	75,5	34
Relativt plantedækket volumen (%)	15,2	6,4	0	49,0	34
Plantedybdegrænse (m)	1,2	1,1	0,2	3,7	30
Antal arter af undervandsplanter	11	7	1	33	30
Dyb, alkalint, lavt farvetal	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	5,7	4,7	1,0	22,0	54
Maksimumsdybde (m)	12,1	10,1	2,3	45,7	51
Søareal (ha)	191,2	37,0	4,5	1660,0	55
Totalfosfor (mg P/l)	0,067	0,044	0,009	0,386	61
Totalkvælstof (mg N/l)	0,93	0,77	0,31	2,58	61
Sigt dybde (m)	2,7	2,2	0,7	7,2	61
Klorofyl a (µg/l)	28,0	18,7	3,2	159,9	61
Alkalinitet (meq/l)	2,37	2,41	0,27	4,44	61
pH	8	8	7	9	59
Farvetal (mg Pt/l)	16	14	2	39	61
Suspenderet stof (mg/l)	7	5	1	29	61
Konduktivitet (mS/m)	44	42	11	88	59
Relativt plantedækket areal (%)	12,5	4,3	0	62,6	49
Relativt plantedækket volumen (%)	2,6	0,5	0	30,4	49
Plantedybdegrænse (m)	3,9	3,4	0,3	10,5	45
Antal arter af undervandsplanter	9	8	1	39	45

Lavvandet, lavalkalin, lavt farvetal	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)			0,7	0,7	1
Maksimumsdybde (m)			1,7	1,7	1
Søareal (ha)			6,4	6,4	1
Totalfosfor (mg P/l)	0,015	0,017	0,010	0,018	4
Totalkvælstof (mg N/l)	0,54	0,50	0,30	0,87	4
Sigtdybde (m)	1,7	1,5	1,5	2,3	4
Klorofyl a (µg/l)	5,0	5,2	3,4	6,1	4
Alkalinitet (meq/l)	0,09	0,09	0	0,18	4
pH	6	6	5	7	4
Farvetal (mg Pt/l)	27	26	12	44	4
Suspenderet stof (mg/l)	2	2	2	3	4
Konduktivitet (mS/m)	18	16	10	28	4
Relativt plantedækket areal (%)	65,7	76,0	40,1	81,1	3
Relativt plantedækket volumen (%)	27,9	14,3	13,2	56,2	3
Plantedybdegrænse (m)	2,3	2,5	1,5	3,0	3
Antal arter af undervandsplanter	4	4	3	4	3
Lavvandet, lavalkalin, højt farvetal	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,1	1,0	0,3	2,8	16
Maksimumsdybde (m)	2,4	1,8	0,6	8,0	18
Søareal (ha)	12,6	8,9	5,0	48,6	20
Totalfosfor (mg P/l)	0,116	0,079	0,034	0,398	21
Totalkvælstof (mg N/l)	1,05	0,94	0,73	2,12	21
Sigtdybde (m)	0,6	0,5	0,2	1,2	21
Klorofyl a (µg/l)	57,8	47,1	7,6	244,0	21
Alkalinitet (meq/l)	0,08	0,04	-0,03	0,20	21
pH	6	6	4	7	19
Farvetal (mg Pt/l)	270	231	76	1001	21
Suspenderet stof (mg/l)	14	10	2	54	21
Konduktivitet (mS/m)	15	15	7	28	19
Relativt plantedækket areal (%)	10,2	4,6	0	68,4	15
Relativt plantedækket volumen (%)	2,8	0,9	0	17,3	15
Plantedybdegrænse (m)	1,0	1,2	0,2	1,8	13
Antal arter af undervandsplanter	7	8	1	16	13
Dyb, lavalkalin, lavt farvetal	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)			9,0	9,0	1
Maksimumsdybde (m)			9,7	9,7	1
Søareal (ha)			19,2	19,2	1
Totalfosfor (mg P/l)	0,012	0,005	0,004	0,038	5
Totalkvælstof (mg N/l)	1,11	0,89	0,51	2,10	5
Sigtdybde (m)	4,8	4,7	2,2	8,6	5
Klorofyl a (µg/l)	6,0	2,3	1,1	22,1	5
Alkalinitet (meq/l)	0,03	0,02	0,02	0,04	5
pH	4	4	3	7	5
Farvetal (mg Pt/l)	8	2	1	25	5
Suspenderet stof (mg/l)	2	1	1	5	5
Konduktivitet (mS/m)	41	32	10	99	5
Relativt plantedækket areal (%)	37,9	30,9	18,1	71,9	5
Relativt plantedækket volumen (%)	8,1	3,2	0,4	24,3	5
Plantedybdegrænse (m)	5,9	5,7	3,8	10,0	5
Antal arter af undervandsplanter	4	2	2	8	5

Brakvandssøer, lavt farvetal	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,1	0,8	0,2	3,5	32
Maksimumsdybde (m)	2,5	1,6	0,5	13,5	37
Søareal (ha)	135,9	18,4	5,5	1618,0	36
Totalfosfor (mg P/l)	0,161	0,115	0,025	0,557	49
Totalkvælstof (mg N/l)	1,22	1,14	0,55	3,22	49
Sigtdybde (m)	0,7	0,7	0,1	2,2	49
Klorofyl a (µg/l)	54,4	47,3	3,9	193,7	49
Alkalinitet (meq/l)	2,96	2,93	0,96	4,58	49
pH	9	9	7	9	49
Farvetal (mg Pt/l)	33	32	13	61	49
Suspenderet stof (mg/l)	35	19	4	209	49
Konduktivitet (mS/m)	1088	829	44	4650	48
Salinitet (‰)	7,3	5,1	0,5	29,6	49
Relativt plantedækket areal (%)	18,8	6,1	0	80,1	38
Relativt plantedækket volumen (%)	11,2	3,0	0	100,0	38
Plantedybdegrænse (m)	1,2	1,0	0,2	4,6	34
Antal arter af undervandsplanter	6	6	1	17	34
Brakvandssøer, højt farvetal	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	0,4	0,4	0,2	1,0	7
Maksimumsdybde (m)	1,2	0,7	0,5	3,1	5
Søareal (ha)	16,1	10,3	5,2	56,0	8
Totalfosfor (mg P/l)	0,900	0,433	0,060	4,320	21
Totalkvælstof (mg N/l)	4,16	3,47	1,38	12,67	21
Sigtdybde (m)	133,3	80,5	17,2	586,9	20
Klorofyl a (µg/l)	0,4	0,3	0,1	1,0	21
Alkalinitet (meq/l)	4,17	3,68	2,08	7,65	21
pH	9	9	8	9	22
Farvetal (mg Pt/l)	122	113	68	279	21
Suspenderet stof (mg/l)	105	46	8	1047	21
Konduktivitet (mS/m)	1212	1182	89	3898	21
Salinitet (‰)	7	6,4	0,7	24,3	21
Relativt plantedækket areal (%)	17,8	15,2	0	72,0	12
Relativt plantedækket volumen (%)	10,7	7,6	0	44,9	12
Plantedybdegrænse (m)	0,7	0,5	0,1	2,3	11
Antal arter af undervandsplanter	5	5	1	16	11

6 Klima og afstrømning

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

Temperaturen påvirker direkte en række processer i søerne, og forskelle i temperaturniveauet og sæsonforløbet kan derfor 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.

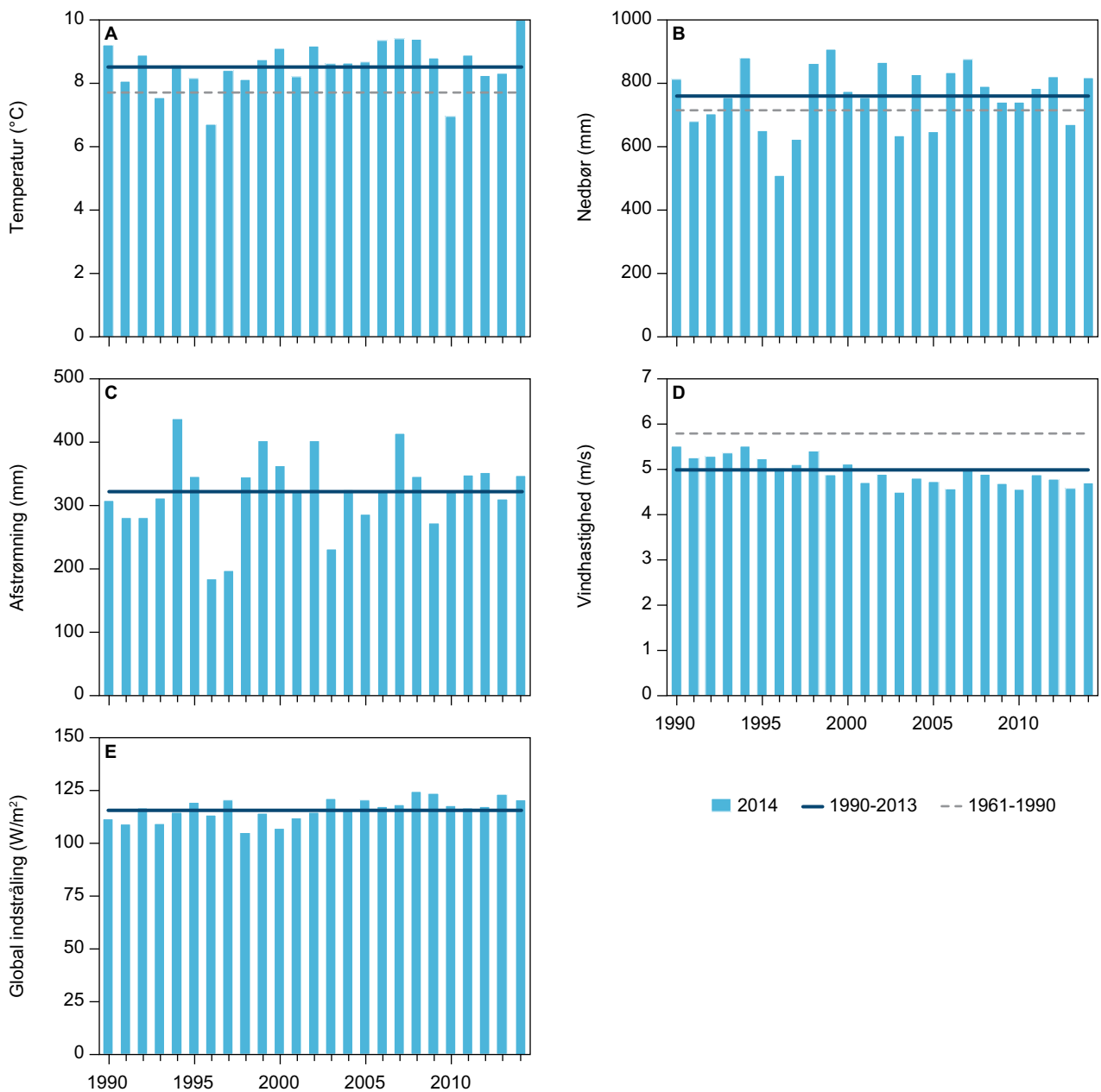
Klimadata er tilvejebragt via DMI's GRID-data (<http://novana.dmi.dk/novana>). Det vil sige temperatur- og vinddata er baseret på data fra 20x20 km kvadrater, de såkaldte Grid-værdier, mens månedsnedbøren er baseret på 10x10 km grids. For alle parametre er grids'ne "klippet" med kystlinjen og derefter 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. Månedssdata for nedbør og potentiel fordampning anvendes i beregningen af næringsstofbalancer for 10 af de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling (kapitel 3.6). For datagrundlag og beregningsmetoder af ferskvandsafstrømningen henvises til Wiberg-Larsen m.fl. (2015).

I nærværende kapitel gives der en kort oversigt over de klimatiske forhold i 2014 sammenlignet med perioden 1990-2013 samt "normalperioden", der er defineret som årene 1961 til 1990.

6.1 Temperatur og global indstråling

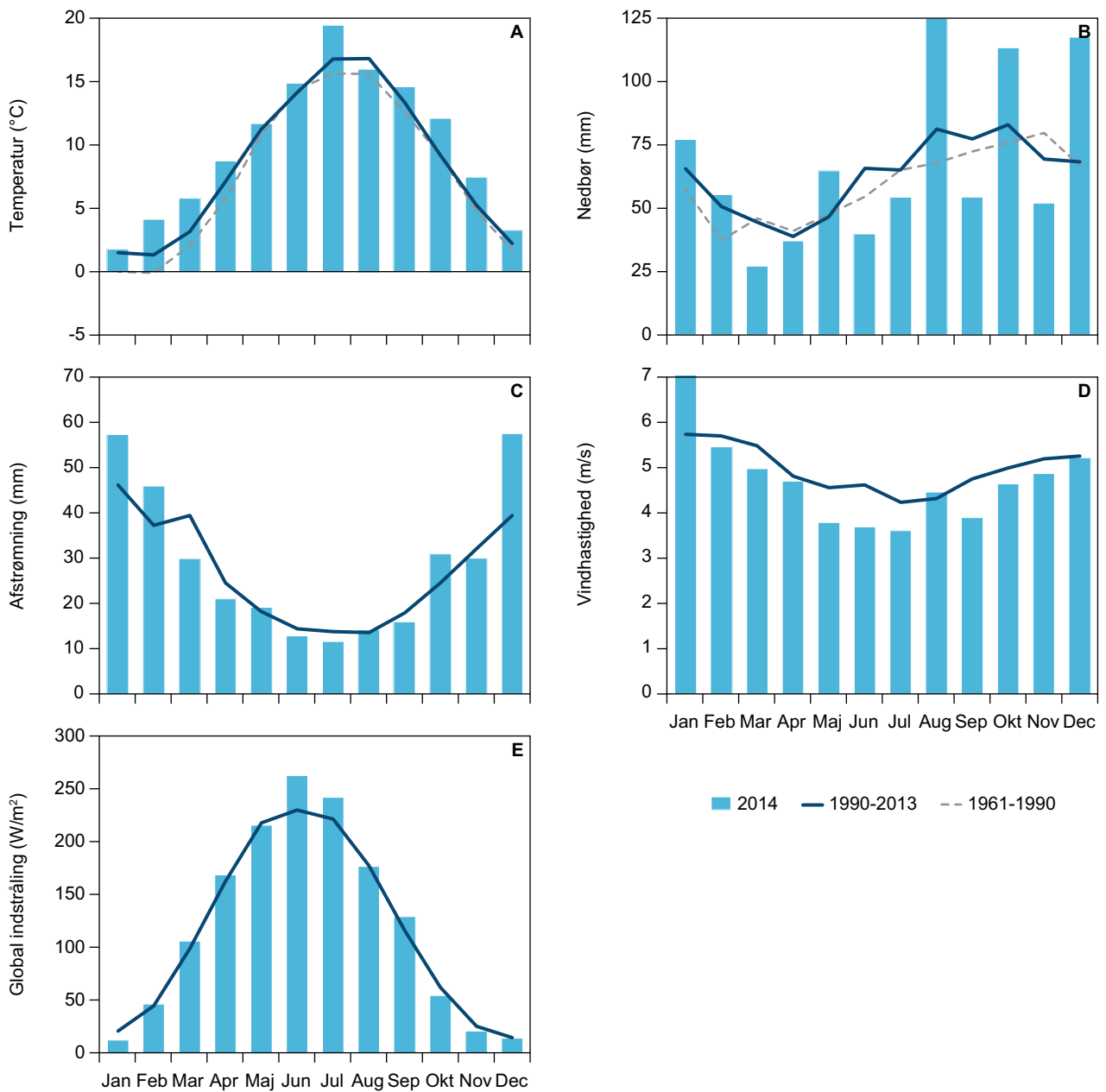
Årsmiddeltemperaturen for hele Danmark var i 2014 på 10,0 °C, hvilket indtil videre er langt den højeste i perioden (figur 6.1A). Temperaturen var 2,3 °C højere end normalgennemsnittet for perioden 1961-1990 og 1,5 °C varmere end gennemsnittet for perioden 1990-2013. Næsten alle måneder var højere end normalen, men især februar, juli og oktober, som var omkring 3 °C varmere end normalen, skilte sig ud (figur 6.2A).

Årsmiddelværdien for den globale indstråling varierer kun lidt fra år til år (figur 6.1E). I 2014 var den lidt højere end normalen for de forrige 24 år, og dette skyldes primært en højere indstråling i juni, juli og september, hvor indstrålingen var omkring 10 % højere end normalen (figur 6.2E).



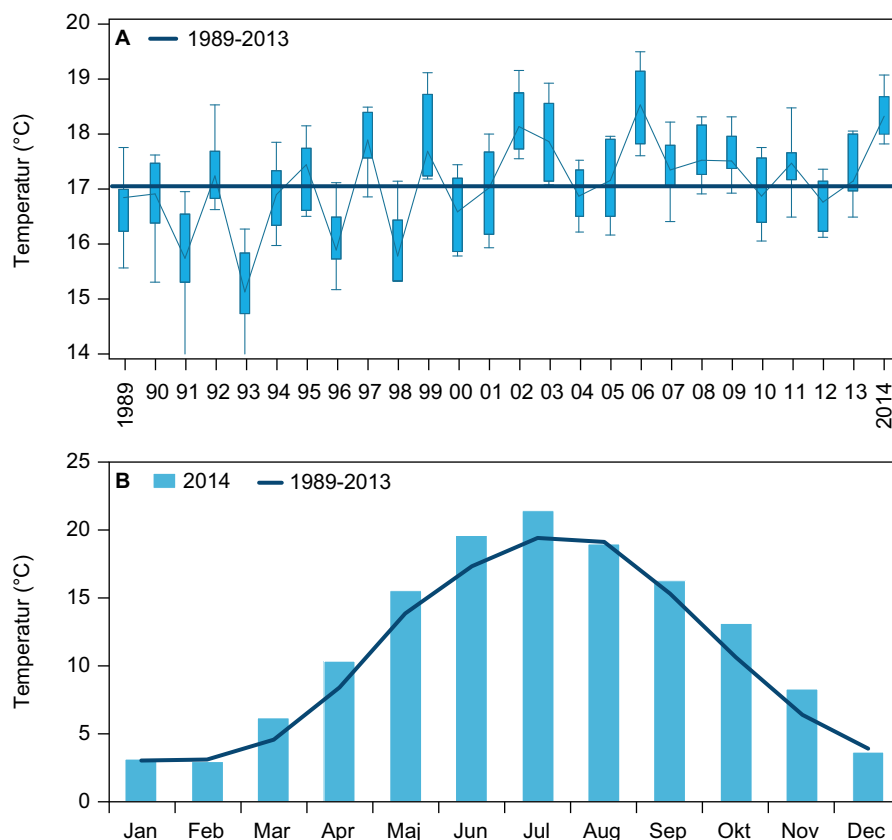
Figur 6.1. Årsværdier for lufttemperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) for Danmark 1990-2014. Desuden er gennemsnit for perioderne 1961-1990 (stiplet linje (dog ikke for ferskvandsafstrømning og global indstråling)) og 1990-2013 (fuld linje) indlagt. Data fra hele Danmark.

Vandtemperaturerne i søerne responderer på den aktuelle lufttemperatur samt indstrålingsforholdet, og givet den høje lufttemperatur i 2014 var medianen for sommertemperaturen i 2014 også den højeste målte temperatur siden 2006, der var et rekordår (figur 6.3). Vandtemperaturen var højere gennem det meste af året, og bortset fra august og de tre vinter måneder lå vandtemperaturen i overfladevandet alle måneder væsentligt højere end normalen. Største forskel var i april, juni, juli, oktober og november, hvor temperaturen var 2-3 °C over normalen for 1989-2013. I juli var vandtemperaturen som gennemsnit helt oppe på 21,4 °C.



Figur 6.2. Månedsværdier for temperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) i 2014 samt gennemsnit for perioderne 1961-1990 og 1990-2013 (førstnævnte dog ikke for global indstråling, vindhastighed og ferskvandsafstrømningen). Data fra hele Danmark.

Figur 6.3. Øverst: Årsværdier for median af gennemsnitlig vandtemperatur i overfladevandet i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling, for sommerperioden i årene 1989 til 2014. Nederst: Månedsværdier for den gennemsnitlige vandtemperatur i de 15 søer i 2014 samt gennemsnittet for perioden 1989-2013.



6.2 Nedbør

Oftentimes there are not large differences in precipitation from year to year, and 2014 was with an annual precipitation of 818 mm also only 8 % higher than the average precipitation for the period 1990-2013 (fig. 6.1B). Especially the months of August, October and December had significantly higher precipitation than normal (fig. 6.2B). On the other hand, the months of March, June, September and November were significantly drier than normal.

6.3 Afstrømning

The area-specific runoff of surface water is on an annual basis closely correlated with precipitation and was in 2014 at 346 mm, which is also slightly higher (7 %) than the average runoff for the period 1990-2013. Runoff was especially low in March, but it was higher than normal in the winter months and in October (fig. 6.1C and 6.2C).

6.4 Vindforhold

The average annual wind speed for all of Denmark varies not much from year to year and has in the last 10 years been between 4.5 and 5.0 m/s (fig. 6.1D). In 2014 it was at 4.7 m/s and thus still below the normal for both 1989-2013 (5.0 m/s) and 1961-1990 (5.8 m/s). Except for January and August the average wind speed was all months below the average wind speed for 1989-2013 (fig. 6.2D). Especially the months of May, June, July and September had more calm wind conditions.

7 Referencer

Allerup, P., Madsen, H. & Vejen, F. (1998): Standardværdier (1961-90) af nedbør-korrektioner. Teknisk Report 98-10. København, Dansk Meteorologisk Institut.

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. – Videnskabelig rapport fra Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 76. <http://dce2.au.dk/pub/SR76.pdf>

Bjerring, R., Johansson, L.S., Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Kjeldgaard, A., Sortkjær, L., Windolf, J. & Bøgestrand, J. (2015): Søer 2013. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 74 s. - Videnskabelig rapport fra Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 122 <http://dce2.au.dk/pub/SR122.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.

Bøgestrand, J. (Red.) (2003): Vandløb 2002, NOVA 2003. Danmarks Miljøundersøgelser. – Faglig Rapport fra DMU nr. 470.

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.

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.

Jensen, E., Brucet, S., Meerhoff, M., Nathansen, L. & Jeppesen, E. (2010): Community structure and diel migration of zooplankton in shallow brackish lakes: role of salinity and predators. *Hydrobiologia* 646: 215-229

Jeppesen, E., Søndergaard, M., Kanstrup, E., Petersen, B., Eriksen, R. B., Hammershøj, M., Mortensen, E., Jensen J. P. & Have A. (1994): Does the impact of nutrients on the biological structure and function of brackish and freshwater lakes differ? *Hydrobiologia* 275/276: 15-30

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.

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

Søndergaard, M., Jeppesen, E & Jensen, J.P. (1999): Danske søer og deres restaurering. 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.

Wiberg-Larsen, P., Windolf, Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Ovesen, N.O., Nielsen, A., Kronvang B. & Kjeldgaard, A. (2015): Vandløb 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 54 s. – Videnskabelig rapport fra Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 165.

Windolf, J., Thodsen, H., Trolborg, L., Larsen, S.E., Bøgestrand, J., Ovesen, N.B. & Kronvang, B. (2011): A distributed modelling system for simulation of monthly runoff and nitrogen sources, loads and sinks for ungauged catchments in Denmark. *Journal of Environmental Monitoring* 13: 2645-2658.

Windolf, J., Bøgestrand, J. & Kjeldgaard, A. (2012): Beregning af kvælstoftilførsel til en række udpegede danske fjorde. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi.

http://dce.au.dk/fileadmin/dmu.au.dk/Notat_kvaelstoftilfoersel_til_fjorde.pdf

8 Bilag

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 2. Frekvensen af prøvetagningen for de forskellige parametre fremgår ligeledes af afsnit 2.

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/til-myndigheder-og-saerligt-interesse-rede/fagdatacentre/fdcfersk/>. De tekniske anvisninger for planteundersøgelser og fiskeundersøgelser (TA S04 og TA S05) giver endvidere eksempler på beregning af plantedækningsgrader og fisketæthed – Catch Per Unit Effort (CPUE).

De kemiske nøgledata og sigtddybde er præsenteret i tabeller og figurer for hver periode (et-flere år) ved gennemsnits-, median-, minimums- og maksimumsværdier og i nogle tilfælde også ved 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) og i nogle tilfælde på årsværdier for den enkelte sø.

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). Som for årsgennemsnittet interpoleres der til dagsværdier, 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 september-måling.

Analyse af tidsmæssig udvikling i søerne i kontrolovervågningen af udvikling

De statistiske beregninger er baseret på log-lineær regression på de udregnede middelværdier (kemiske variable, sigtddybden og stoftransporter) og er testet for, om der er afvigelser fra nulhypotesen, dvs. om der gennem de i alt 26 overvågningsår har været en statistisk sikker ændring. Responsvariablen er

logaritmetransformeret for at sikre varianshomogenitet. Vi har valgt at acceptere nulhypotesen på 10 % signifikansniveau, 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 %. Man skal være opmærksom på, at denne metode vægter ændringer, der følger en jævn udvikling over en årrække frem for pludselige ændringer.

Sammenligning af resultater mellem perioden 2004-2009 og indeværende periode i søerne i kontrolovervågningen af tilstand

Der er anvendt en parret t-test til analyse af, om der forskel i resultaterne mellem de to perioder.

Vand- og stoftilførsel generelt

Vand- og stoftilførsel er opgjort jf. den tekniske rapport TR36 - Belastningsopgørelser til søer, og der henvises til Bjerring m.fl. (2014) for en udførlig beskrivelse af forudsætninger og metoder. 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 beregning af søernes vand- og stofbelastninger. Jævnfør opgørelse i Bjerring m.fl. (2014) er ca. 24 % af de 10 intensive søers oplande i gennemsnit umålte.

Målt vand og stoftilførsel

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

Ekstrapolation af vandføringer (Q/Q-relationer)

Q/Q-relationer korrelerer vandføringen i de eksisterende måleår for en given station med vandføringen fra de øvrige målestationer tilhørende en given sø. Ud fra disse Q/Q-relationer er vandføringer ekstrapoleret for målestationer, som på et tidspunkt er nedlagt, eller som har datahuller. Korrelationerne er foretaget som lineære regressioner baseret på utransformerede data samt transformeret data (log) på kvartals-niveau for at basere relationerne på flest mulige observationer og samtidig inddrage sæsonvariation. Q/Q-relationismetoden antager samme tidlige udvikling i vandafstrømningen i det vandløb, hvortil der ekstrapoleres, som i det vandløb med fuld tidsserie, der anvendes til ekstrapolationen (Bjerring m.fl. 2014).

Vandafstrømning fra umålt opland

Vandafstrømning fra det umålte opland beregnes som en arealmæssig transformation af vandafstrømningen fra det målte opland på månedlig basis. Det målte opland omfatter også estimerede afstrømninger fra målestationer med ufuldendte tidsserier (datahuller) og nedlagte stationers ekstrapolerede afstrømninger. Det umålte oplands størrelse antages således konstant over hele overvågningsperioden.

Vandbalance

Vandbalancen for søerne er opgjort på månedsbasis og afstemt som: målt og umålt tilførsel samt nedbør på søoverfladen fratrukket 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 (Allerup m.fl. 1998).

Vandbalancens restled/residual

Når vandbalances opgøres, kan der opstå et restled/residual, fordi kilderne til tilførsel og fraførsel af vand ikke går op. Residualet dækker over grundvandsbetinget udsivning, indsivning, vandstandsændringer (og dermed magasinændringer) i søen hen over året og perioden eller egentlige usikkerheder i de enkelte led i vandbalancen. Det antages, at såfremt residualet udgør op til +/- 10 % af det målte afløb fra søen set over hele den målte periode, er der tale om usikkerheder på de enkelte led i vandbalancen.

Indsivnings-og udsivningssø

Såfremt vandbalancens residual er større end +/- 10 % af det målte afløb, kategoriseres søen som hhv. indsivningssø og udsivningssø. Denne kategorisering har betydning for de kvælstof- og fosforkoncentrationer, der antages at repræsentere det indsivende og udsivende vand. I beregningerne afstemmes vandbalancen for alle søer, så der ikke sker magasinændringer over tid.

Kvælstof og fosfor i indsivende og udsivende vand

For indsivningssøer estimeres en konstant årlig koncentrationen af kvælstof i det indsivende vand ud fra minimumskoncentrationen af kvælstof registreret i alle målte tilløb i hhv. juni, juli og august for hvert år. Minimumskoncentrationerne er korrigeret til at være mellem 0,5 og 5 mg l⁻¹. For Engelsholm Sø anvendes en indsivende koncentration på 0,64 mg l⁻¹, hvilket beror på kildemålinger. For fosfor anvendes for hver sø medianen fra 2001 til 2014 af den vandføringsvægtede koncentration i de målte tilløb fratrukket punktkildebidraget. Efterfølgende er indsivningskoncentrationerne korrigeret til at være mellem 0,03 og 0,3 mg l⁻¹.

For søer, hvor vandbalancens residual er af en størrelsesorden, der tillægges usikkerhed, repræsenteres det indsivende vands kvælstof- og fosforkoncentration af vandføringsvægtede koncentrationer fra de målte tilløb. 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, som er beskrevet i Windolf m.fl. (2011 og 2012). I anvendelsen af modellen valideres det estimerede diffuse bidrag af kvælstof og fosfor for målte oplande som differencen mellem den målte transport og den oplyste mængde udledt spildevand (rensningsanlæg, industri, dambrug, regnvandsbetinget). Modellens værdier for stoftransporter korrigeres herefter til niveau med de målte værdier. Modellens beregnede stofbelastninger repræsenterer oplandsspecifikke jordtyper, dyrkningsgrad, afvandingsgrad, nedbør, temperatur samt årligt overskud af kvælstof- og fosfor fra landbruget.

Kvælstof og fosfor fra målte oplande

Diffuse kvælstof- og fosforbelastninger fra målte oplande beror på modelberegne koncentrationer via DK-QNP-modellen (Windolf m.fl. 2011). Såfremt måledata eksisterer, anvendes disse, men DK-QNP-modellen anvendes til forlængelse af afbrudte målestationers tidsserier. Modellens oplandsspecifikke stofkoncentrationer ganges her på de ekstrapolerede vandføringer (Q/Q-relationer). Den resulterende brutto-udledning fra diffuse kilder til vandløbet fratrækkes herefter for kvælstofs vedkommende retentionen i vandløb, søer og vådområder og for fosfors vedkommende retentionen i større søer. Slutresultatet giver estimatet for den diffuse fosfor- og kvælstof-

belastning. Herefter adderes eventuelle punktkilder i oplandet for at estimere den totale stofbelastning fra det enkelte opland til søen.

Modellens oplandsspecifikke stofbelastninger beregnes for hele tidsserien og også for den periode, hvor der foreligger måledata. På den baggrund foretages der korrektion af modelværdier i forhold til måleværdierne. Korrektionen foretages i to step. Først justeres modelværdierne for kvælstof- og fosforbelastningen (kg/måned) ind til niveauet for måleværdierne på månedsbasis. Jævnfør Bjerring m.fl. (2014) gøres dette ved at anvende gennemsnittet af den relative forskel mellem model og måleværdi (forholdet mellem målt og model) for hver måned over alle år som korrektionsfaktor for den pågældende måned. Dernæst undersøges der for en tidsmæssig trend i de relative afvigelser mellem måledata og modelberegnete niveauekorrigerede stofbelastninger for hver måned. Findes en sådan trend med signifikansniveau på 5 % for mere end otte af 12 måneder, foretages der en månedsspecifik korrektion for denne trend for alle måneder. De korrigerede stofbelastninger anvendes til at huldudfylde samt fuldende de ufuldendte tidsserier.

Kvælstof og fosfor fra umålte oplande

Diffus kvælstof- og fosforbelastning fra søernes umålte andel af oplandet beregnes ved anvendelse af DK-QNP-modellens oplandsspecifikke månedlige stofkoncentrationer og den estimerede vandafstrømning for det umålte opland. Retention af kvælstof i vandløb, søer, vådområder samt retention af fosfor i større søer fratrækkes, og for kvælstof korrigeres den estimerede diffuse belastning på samme vis som for den huldudfyldte og ekstrapolerede kvælstoftilførsel fra målte oplande. Dog er der den forskel, at belastningen fra alle tilløbsmålestationer med fuld tidsserie summeres, således at en modelværdi for hele det målte opland (med fuld måletidsserie) til søen valideres mod de aktuelle måleværdier (med fuld måletidsserie). Den korrektion, som foretages for det målte opland (niveau-korrektion og eventuel trendkorrektion), anvendes herefter på modelværdierne for det umålte opland (Bjerring m.fl. 2014). For fosfor er der ikke foretaget korrektion af modelværdier for de umålte oplande.

Atmosfærisk stofdeposition

Direkte på søoverfladerne repræsenteres atmosfærisk stofdeposition 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

Punktkildebelastninger opgøres specifikt til søernes tilløbsoplande samt til afløbsoplandet. I år med manglende punktkildedata anvendes interpolerede værdier.

Kvalitetssikring

Data, der fra fagsystemerne (Stoq og Fiskbase) overføres til Overfladevandsdatabasen (ODA), undergår både automatisk og faglig godkendelse i Naturstyrelsen og DCE. Der pågår for øjeblikket en proces, hvor data i ODA bliver mærket efter denne kvalitetssikring. En beskrivelse af processen kan f.eks. ses i de datatekniske anvisninger på <http://bios.au.dk/videnudveksling/til-myndigheder-og-saerligt-interessererede/fagdatacentre/fdcfersk>.

SØER 2014

NOVANA

Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i 2014 og beskriver udviklingen i udvalgte kemiske og fysiske miljøindikatorer siden overvågningens begyndelse i 1989. Femten søer indgår i kontrolovervågning af søers udvikling, og her er miljøtilstanden generelt forbedret siden 1989. Forbedringerne ses tydeligst i de vandkemiske indikatorer og fortrinsvis i det første årti af overvågningsperioden. Rapporten giver yderligere en status over tilstanden i 120 søer indeholdt i kontrolovervågning af søers tilstand undersøgt i perioden 2011-2014. Søerne repræsenterer flere søtyper og næringsstofniveauer. De to hyppigst forekommende søtyper (ferske, alkaline, hhv. lavvandede og dybe søer) udgør 78 % af søerne og må gennemsnitligt set betegnes som næringsrige, men i begge typer ses en tendens til et generelt fald i næringsstofniveau siden 2004-2009. Rapporten giver også en overordnet status for tilstanden i søer, der indgår i den operationelle overvågning, som er i risiko for ikke at opfylde målsætningen i 2015 (357 søer). Disse søer repræsenterer ni søtyper. Generelt er spændet for tilstand inden for søtyperne stort. For de hyppigst forekommende typer gives en overordnet status.