



SØER 2012

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 76

2013



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

SØER 2012

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 76

2013

Rikke Bjerring
Liselotte Sander Johansson
Martin Søndergaard
Erik Jesppesen
Torben Linding Lauridsen
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. 76
Titel:	Søer 2012
Undertitel:	NOVANA
Forfattere:	Rikke Bjerring, Liselotte Sander Johansson, Martin Søndergaard, Erik Jesppesen, Torben Linding Lauridsen, 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:	November 2013
Redaktion afsluttet:	Oktober 2013
Faglig kommentering:	Naturstyrelsen
Finansiel støtte:	Miljøministeriet
Bedes citeret:	Bjerring, R., Johansson, L.S., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Lauridsen, T.L., Kjeldgaard, A., Sortkjær, L., Windolf, J. & Bøgestrand, J. 2013. Søer 2013. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 84 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 76 http://dce2.au.dk/pub/SR76.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i 2012 og beskriver udviklingen i udvalgte kemiske og fysiske miljøindikatorer siden overvågningens begyndelse i 1989 i 15 af de søer, der indgår i Kontrolovervågning af søernes udvikling. Derudover er der givet en beskrivelse af undervandsplanternes udvikling i søerne i perioden 1993-2012 samt en overordnet status for dyreplankton i perioden 1989-2009. Miljøtilstanden er generelt forbedret siden 1989. Forbedringerne ses tydeligst i de vandkemiske indikatorer, og fortrinsvis i det første årti af overvågningsperioden, men også resultaterne af vegetationsundersøgelserne viser tendenser til forbedringer. Rapporten giver yderligere en status over tilstanden i 58 søer undersøgt i perioden 2011-2012, der repræsenterer flere søtyper og næringsstofniveauer. De to hyppigste søtyper udgør 81 % af søerne og må gennemsnitligt set betegnes som næringsrige, trods tendens til et generelt fald i næringsstofniveau siden 2004-2009.
Emneord:	Søer, miljøtilstand, overvågning, Vandmiljøplan, NOVANA
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Slåen Sø (Silkeborg). Foto: Martin Søndergaard
ISBN:	978-87-7156-034-3
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	84
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR76.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
1 Sammenfatning	6
2 Undersøgelsesprogrammet	10
2.1 Kontrolovervågning	11
3 Kontrolovervågning af søernes udvikling	16
3.1 Generel karakteristik	18
3.2 Fosfor	19
3.3 Kvælstof	23
3.4 Klorofyl <i>a</i>	26
3.5 Sigtdybde	30
3.6 Dyreplankton	31
3.7 Undervandsplanter	33
3.8 Næringsstofkilder og -balancer	38
4 Kontrolovervågning af søernes tilstand	56
4.1 Generel tilstand	56
4.2 Udviklingstendenser	61
5 Betydningen af kvælstof for søers tilstand	64
5.1 Introduktion	64
5.2 Fosfor og kvælstof i danske søer (TN:TP-forholdet)	65
5.3 Fosfor, kvælstof og udbredelsen af undervandsplanter	70
5.4 Eksperimentelle undersøgelser og udenlandske erfaringer	73
5.5 Modelmæssig tilgang: Ravn Sø eksempel	74
5.6 Konklusioner og anbefalinger	75
6 Klima og afstrømning	77
6.1 Temperatur og global indstråling	77
6.2 Nedbør	80
6.3 Afstrømning	81
6.4 Vindforhold	81
7 Referencer	82

[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 2012.

Overvågningsprogrammet er målrettet mod at tilvejebringe det nødvendige dokumentations- og vidensgrundlag til at understøtte Danmarks overvågningsbehov og -forpligtigelser. Programmet er løbende tilpasset overvågningsbehovene og omfatter overvågning af tilstand og udvikling i vandmiljøet og naturen, herunder den terrestriske natur og luften.

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 inden for områderne ferske vande, marine områder, landovervågning, atmosfæren, samt arter og naturtyper.

I overvågningsprogrammet er der en klar arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentre og Naturstyrelsen. Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland - GEUS, 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 fagdatacenter for atmosfæren hos Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet.

I 2013 er den årlige nationale rapportering af naturtyper og arter erstattet af EU-afrapporteringen til Habitatdirektivet og Fuglebeskyttelsesdirektivet for perioden 2007-2012. Data fra 2012 vil endvidere indgå sammen med data fra 2013 i NOVANA-rapporten i 2014.

Denne rapport er udarbejdet af Fagdatacenter for ferskvand. Rapporten er baseret på data indsamlet af Naturstyrelsen.

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes sammen med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenter-rapporter i Vandmiljø og natur, 2012, som udgives af DCE, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland - GEUS og Naturstyrelsen.

1 Sammenfatning

I 2012 indgik 46 søer i kontrolovervågningen. Heraf var 18 søer omfattet af kontrolovervågningen af søernes udvikling og 28 var omfattet af kontrolovervågningen af søernes tilstand. Søernes tilstand spænder fra helt rene til stærkt forurenede som følge af eksisterende eller tidligere tiders spildevandsudledninger. Der indgik 41 ferskvandssøer (heraf 16 i kontrolovervågningen af udvikling og 25 i kontrolovervågningen af tilstand) og fem brakvandssøer (to i kontrolovervågningen af udvikling og tre i kontrolovervågningen af tilstand). I alt er der i 2011-2012 undersøgt 58 søer, der er indeholdt i programmet for kontrolovervågning af tilstand.

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 2012 i 15 af de 18 søer, som er omfattet af kontrolovervågning af udvikling. For de resterende tre søer er der ikke 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 58 søer, som er omfattet af kontrolovervågning af tilstand og som er undersøgt i perioden 2011-2012.

Tabel 1.1. Miljøtilstanden i overvågnings søerne illustreret ved udvalgte nøgleparametre. Der er angivet medianværdier for sommerperioden.* Én sø indgår med to bassiner i kontrolovervågning af tilstand, således at værdierne er et gennemsnit af 59 observationer.

Parameter	Kontrolovervågning af udvikling	Kontrolovervågning af tilstand
	2012	2011-2012
Undersøgelsesår		
Antal søer*	18	58
Totalfosfor søkoncentration (mg P/l)	0,056	0,064
Totalkvælstof søkoncentration (mg N/l)	0,96	0,89
Sigtdybde (m)	1,7	1,1
Klorofyl a (µg/l)	33	37
Farvetal (mg Pt/l)	23	26

Fosforkoncentrationen i de 15 søer i kontrolovervågningen af søernes udvikling med lang tidsserie var i 2012 59 % (årgennemsnit) lavere end niveauet for de første seks år af overvågningsperioden (1989-1994). Årsmedianen faldt med 48 % fra perioden 1989-1994 til 2012, mens den i 2012 kun var faldet med 28 % i forhold til perioden 2007-2011. Det mest markante fald er således sket i den første del af overvågningsperioden og i de mest belastede søer. Af de 15 søer har der været et signifikant fald i totalfosforkoncentrationen i sommerperioden i 11 søer i løbet af overvågningsperioden (Tabel 1.2).

Ligeledes for totalkvælstofniveauet har der været et generelt fald i søerne siden 1989. Årgennemsnittet og medianen i 2012 var hhv. 50 % og 46 % lavere end gennemsnittet for perioden 1989-1994, mens faldet var mere begrænset (19 % for begge værdier) sammenlignet med seneste del af overvågningsperioden (2007-2011). På enkelt sø-niveau har 13 af de 15 søer undergået en signifikant reduktion i indholdet af totalkvælstof (sommerværdier) siden 1989 (Tabel 1.2).

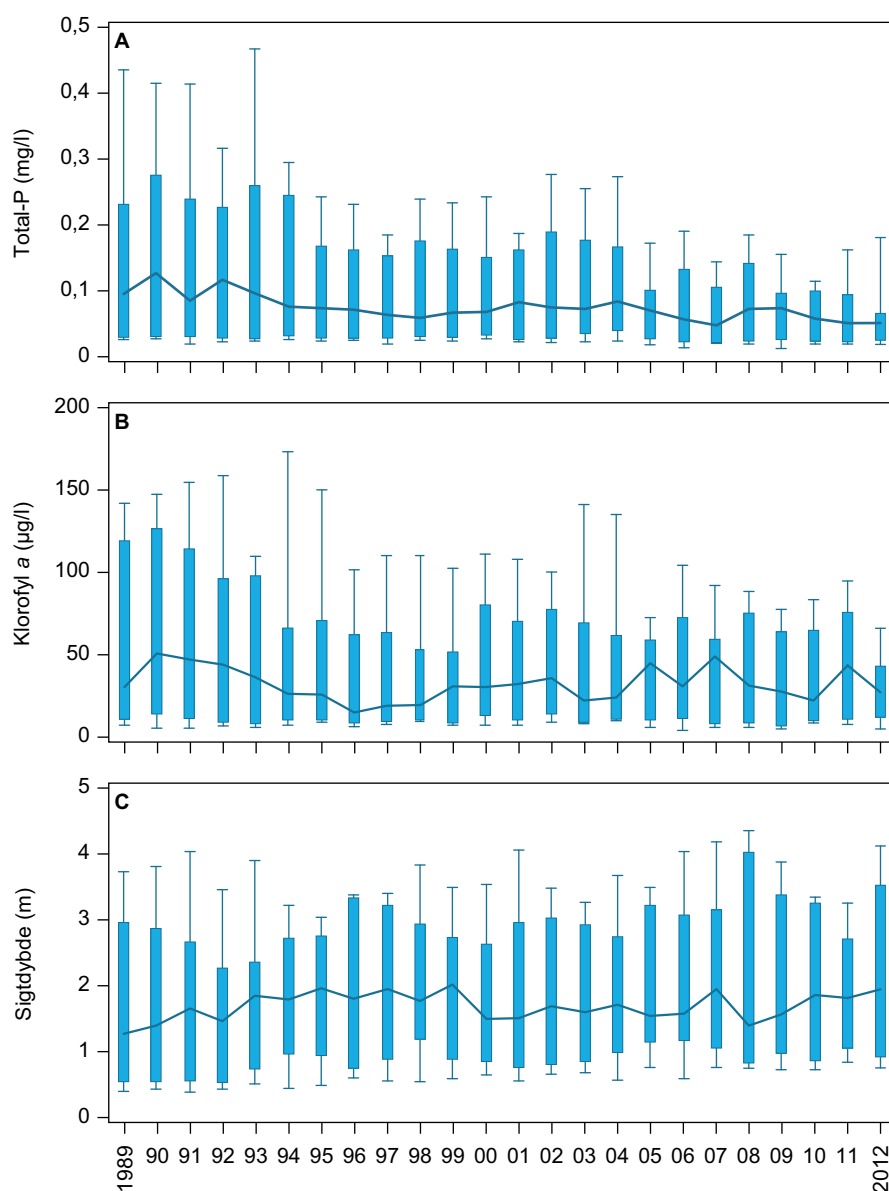
Tabel 1.2. Statistisk signifikante udviklinger for udvalgte nøgleparametre (sommergennemsnit) i miljøtilstanden i 15 af de søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling, der er undersøgt siden 1989.

Parameter	Forbedret	Forværret	Uændret
Totalfosfor koncentration	11	1	3
Totalkvælstof koncentration	13	0	2
Klorofyl a	6	2	7
Sigtdybde	8	2	5

Der er sket en reduktion i indholdet af klorofyl *a* i de intensivt overvågede søer med de højeste klorofylkoncentrationer. Derfor er årsgennemsnittet for søerne reduceret fra et niveau på ca. 60 µg klorofyl *a*/l i begyndelsen af overvågningsperioden til 23 µg klorofyl *a*/l i 2012.

Det reducerede klorofylniveau i de mest belastede søer har resulteret i en forbedring af sigtdybden i denne kategori af søer (Figur 1.1). Blandt de 15 intensivt overvågede søer er der otte søer, som har opnået en signifikant forbedret sigtdybde siden 1989 (Tabel 1.2).

Figur 1.1. Udviklingen i søkoncentrationen af A: totalfosfor (mg/l), B: klorofyl *a* (µg/l) og C: sigtdybde (m) ud fra sommergennemsnit i 15 af de søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling og som har været undersøgt siden 1989. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjen viser medianværdien.



Udviklingen i totalfosfor, klorofyl *a* og sigtddybde er afbildet på figur 1.1

Samlet set er miljøtilstanden forbedret i 15 af de søer, der indgår i kontrol- overvågning af udvikling i søer og som er undersøgt intensivt siden 1989. Ændringerne er hovedsageligt sket i første del af overvågningsperioden. Forbedringer i miljøtilstanden er registreret især for de vandkemiske parametre (bl.a. fosforkoncentration) samt sigtddybde og dermed søernes klarhed, men også for dækningsgraden af undervandsvegetationen, hvor der har været fremgang i otte ud af 15 intensivt undersøgte søer. Udviklingen i dyreplanktonbiomassen er ikke entydig.

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 størstedelen af søerne, specielt i den første del af overvågningsperioden, som et resultat af reducerede belastninger, for fosfor specielt fra rensningsanlæg. Fosforkoncentrationen i vandet, der løber til og fra søerne har derimod ikke ændret sig nævneværdigt de seneste 12 år, gennemsnitligt set, mens der ses en svagt faldende tendens i kvælstofkoncentrationen. Således er den gennemsnitlige koncentration for fosfor og kvælstof i tilført vand hhv. faldet med 26 og 20 % mellem perioderne 1990-94 og 1995-00, mens faldet ligger på hhv. 7-12 og 13-15 % mellem perioderne 1995-00 til 2001-06 og 2001-06 til 2007-2011. Også den absolutte tilførsel af kvælstof og fosfor til søerne er reduceret. Derimod viser den relative tilbageholdelse store fluktuationer og viser ingen markante ændringer i overvågningsperioden. Tilbageholdelsen er dog steget i fire søer for fosfor og kvælstof.

De 58 søer, der i 2011 og 2012 indgik i kontrolovervågning af søernes tilstand, repræsenterede syv søtyper, heraf fire brakvandssøer og syv lavalkaline søer, hvoraf én er dyb. Størstedelen af søerne er ferske, alkaline og lavvandede (33) eller dybe (14) søer. Den overordnede tilstand for alle søerne ses af Tabel 1.1. Tilstanden i de 33 lavvandede, alkaline søer er overordnet næringsrig med en sommermedian på 0,086 mg P/l, sigtddybde på 1 m og klorofyl *a* koncentration på 40 µg/l. De højeste planteplanktonbiomasser blev observeret i de mest næringsrige søer og bestod overvejende af blågrønalger. Plantedækket var relativt lavt (median 8 % plantedækket areal) og fiskesammensætningen generelt domineret af karpefisk (skalle, brasen og rudskalle). Sammenlignet med perioden 2004-2009 er der sket et signifikant fald i total fosfor og kvælstof koncentrationer samt en signifikant stigning i plantedækket areal og plantefyldt volumen. Næringsstofniveauet i de dybe, alkaline søer er overordnet lidt lavere end i de lavvandede søer med en sommermedian for totalfosfor på 0,060 mg P/l og sigtddybde på 1,8 m mens klorofyl *a* koncentration ligger på samme niveau (39 µg/l) som i de lavvandede søer. Planteplankton bestod overvejende af blågrønalger og furealger og undervandsvegetation var sparsom (median 1 % plantedækket areal). Medianen for fisketætheden er halvt så stor som i de lavvandede søer og domineret af karpefisk. Sammenlignet med perioden 2004-2009 er der som for de lavvandede, alkaline søer sket et signifikant fald i total fosfor og kvælstof koncentrationer. Et andet positivt tegn er en signifikant stigning i det relative antal af rovfisk større end 10 cm. Tendenserne må dog tages med forbehold pga. det begrænsede antal søer i analysen.

Kvælstofs rolle i de danske søer er i denne rapport analyseret med henblik på nærmere at kunne vurdere, hvornår kvælstof henholdsvis fosfor er mest betydende for søers vandkvalitet. På grund af den høje grad af autokorelation mellem de to næringsstoffer kan dette vanskeligt afgøres ud fra empiriske sammenhænge, men analyserne viser at, der i løbet af sæsonen sker store ændringer i især de lavvandede søers forhold mellem totalkvælstof og totalfosfor (TN:TP-forhold). Dette peger på, at både fosfor- og kvælstofindholdet spiller en vigtig rolle for søernes tilstand, og at det ofte vil være hensigtsmæssigt at fokusere på begge næringsstoffer i forhold til at opretholde eller skabe en god vandkvalitet. Fosfor vil hyppigst være begrænsende for primærproduktionen i foråret og forsommeren, mens kvælstof i mange søer kan være begrænsende senere på året. Kvælstofindholdet har også stor betydning for undervandsplanternes vækstvilkår, bl.a. via epifytternes kobling til højt kvælstofindhold.

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 fisk- og planktonundersøgelser hvert sjette år. I 2011 blev programmet udvidet med tre søer (hvoraf to søer tidligere har indgået i programmet), således at der nu foretages intensive undersøgelser i "Kontrolovervågning af søernes udvikling" (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: >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, idet data fra de undersøgte stationer samtidig indgår som en del af programmet for 2011-2015.

Fra og med 2011 trådte den nye NOVANA periode endeligt 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). Undersøgelserne i den operationelle overvågning omfatter vandkemiske og fysiske undersøgelser, måling af klorofyl *a*, sedimentundersøgelser samt undersøgelse af vandplanter. Søerne i denne overvågning er udpeget af Naturstyrelsen og omfatter i alt ca. 400 søer >5 ha samt ca. 1800 søer <5 ha (naturtypesøer). Resultaterne fra søerne i den operationelle overvågning indgår ikke i denne rapport.

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

2.1 Kontrolovervågning

En oversigt over kontrolovervågningen findes i tabel 2.1.

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 > 5ha)	18	18
Naturtyper		
Vandhuller og småsøer (0,01-1 ha)	35	175
Søer mellem 1 og 5 ha	35	175

2.1.1 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 kontrolovervågning 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 2.2). 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 forsøringsstatus. 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 total jern i alle søer samt for miljøfremmede stoffer og tungmetaller i 80 udvalgte søer. I disse udvalgte søer analyseres desuden for kvikssølv i fiskebiota i udvalgte fisk i forbindelse med fiskeundersøgelsen.

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

Tabel 2.2. Oversigt over parametre og antal af prøver i kontrolovervågning 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 a	7
- suspenderet stof	7
- sigtdybde	7
<i>Miljøfremmede stoffer og tungmetaller²</i>	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 hele overvågningsprogrammet). Desuden analyseres fiskebiota for kvikssølv i disse søer.

2.1.2 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 1989-2011. Én af de tre "nye" søer har tidligere indgået i "Det intensive program" og to i andre dele af overvågningsprogrammet, men 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 2.3). I søvandet beskrives næringsstofferne med målinger af både totale og uorganiske fraktioner af kvælstof og fosfor, tilsvarende måles næringsstofferne i bundvandet ved evt. lagdeling af vandet i søerne.

Sedimentets indhold af totalfosfor og jern bestemmes en gang hvert sjette år til understøttelse af analyserne af næringsstofomsætningen i søerne. Bufferkapacitet og forsureningsstatus kan beskrives ved måling af alkalinitet og pH, som sammen med bl.a. totaljern indgår i beskrivelsen af næringsstofdynamikken i søerne. Herudover indgår også ilt- og temperaturprofiler, ledningsevne samt sigtddybde til 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 relativ 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 2.3.

De intensive målinger i søerne giver grundlag for at udarbejde en detaljeret beskrivelse af søernes økosystem, således at næringsstofomsætning, biologisk tilstand og interaktioner kan tolkes. Samtidigt kan der etableres en årsagssammenhæng mellem menneskelig påvirkning og søernes respons såvel fysisk-kemisk som biologisk. Det er samtidigt muligt at beskrive klimatiske og andre naturgivne forholds indflydelse på søerne og deres respons.

Med kun 18 søer (hvoraf kun de 15 med en lang tidsserie) i kontrolovervågningen af udviklingen kan man ikke betragte disse søer som værende repræsentative for de danske søer og deres udvikling. For så vidt angår kemiske og fysiske parametre giver resultaterne fra disse søer dog et rimeligt grundlag for at vurdere resultaterne fra de mere ekstensivt 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.

De 168 søer, som er omfattet af kontrolovervågningen udgør ca. 28 % af alle danske søer i denne størrelsesgruppe (>5 ha) (Tabel 2.4).

Tabel 2.3. Oversigt over måleprogram med årlige prøvetagningsfrekvenser i kontrolovervågning 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
- farvetal	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	
- sigtdybde ¹⁾	19	
- vandstand ¹⁾	19	
<i>Vandføring¹⁾</i>	19 eller kontinuert	
<i>Sedimentkemi</i>	hvert 6. år	
<i>Planteplankton</i>	12 hvert 6. år **	
	(1 gang pr. mdr.)	
<i>Miljøfremmede stoffer og tungmetaller²⁾</i>	1	
<i>Dyreplankton</i>	12 hvert 6. år **	
	(1 gang pr. mdr.)	
<i>Vandplanter</i>	hvert 3. år	
<i>Fiskeundersøgelse</i>	hvert 6. år **	

¹⁾ Feltnålinger inkl. dybdeprofil for ilt og temperatur. ²⁾ Måles kun hvis saliniteten er 0,5 ‰ eller derover. ³⁾ En gang i perioden 2011-2015.

²⁾ Foretages i udvalgte søer på sediment (totalt 80 søer i hele overvågningsprogrammet). Desuden analyseres fiskebiota for kviksølv i disse søer.

Tabel 2.4. Oversigt over måleprogrammer i kontrolovervågningen af søer >5 ha, 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. *) Kemiske parametre. Biologiske parametre undersøges med lavere frekvens.

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

2.1.3 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 tilstandsvurderingssystem for naturtypesøer < 5 ha.

Tilstandsvurderingssystem	Antal prøver pr. år
Vegetation	1
Opland	1
Trusler	1
Vandkemiske og fysiske analyser:	1
- salinitet	1
- ledningsevne	1
- temperatur	1
- pH	1
- farvetal	1
- alkalinitet	1
- totalkvælstof	1
- totalfosfor	1
- klorofyl a	1

3 Kontrolovervågning af søernes udvikling

Denne del af rapporten indledes med en generel karakteristik af de 18 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling (figur 3.1). 15 af disse søer var før omfattet af "Det intensive program", og har dermed gennemgået intensive undersøgelser siden 1989. Karakteristikken omfatter nøgletabel-ler med gennemsnits-, median-, minimums- og maksimumsværdier af udvalgte variable. Herefter følger en række små afsnit, som beskriver standard-indikatorerne: fosfor, kvælstof, klorofyl *a*, sigtdybde, dyreplankton, undervandsplanter, samt fosfor- og kvælstoftransport til og fra søerne.

I 2012 afsluttedes den første tre-årige turnus for undersøgelserne af undervandsplanterne (se afsnit 2), dækkende perioden 2010-2012. I 2010 indledtes den seks-årige undersøgelsesturnus for plankton- og fiskeundersøgelser. Resultater af planteplanktonundersøgelserne 1989-2009 blev delvist afrapporteret i "Søer 2011" (Bjerring et al., 2012), og der gives i denne rapport en overordnet præsentation af resultaterne for dyreplankton for den samme periode. På grund af problemer med dataoverførsel er afrapporteringen af både plante- og dyreplanktonundersøgelser ufuldstændige. Under forudsætning af, at dataoverførslen er på plads, forventes det at blive opdateret i 2014. For en status over fiskebestanden til og med 2009 henvises der til rapporten "Søer 2009" (Bjerring et al., 2010). 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 indikator beskrives den aktuelle tilstand og udviklingen. Udviklingen i søernes tilstand er især vurderet på grundlag af tidsvægtede sommergennemsnit af de enkelte variable (1. maj - 31. september).

De statistiske beregninger er baseret på log-lineær regression på de udregnede middelværdier (kemiske variable, sigtdybden, resultater fra undersøgelser af planteplankton og undervandsplanter samt stoftransporter) og er testet for, om der er afvigelser fra nulhypotesen, dvs. om der gennem de i alt 24 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 opdelt 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.

Pga. de lave undersøgelsesfrekvenser (se ovenfor) for de biologiske parametre er det vanskeligt at vurdere udviklingstendenser, og analyser på to- tre- eller seks-års basis er heller ikke altid muligt for alle søer, fordi de i nogle tilfælde ikke er repræsenteret i hver periode. En oversigt over undersøgelser af vandkemi, undervandsplanter, fisk, plante- og dyreplankton i de 18 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes tilstand, i perioden 2004-2012 ses af Tabel 3.1.

Tabel 3.1. Oversigt over undersøgelser af vandkemi, undervandsplanter, fisk, planteplankton og dyreplankton i de 18 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes tilstand for perioden 2004-2012.

(X) angiver, at undersøgelserne er utilstrækkelige til at indgå i analyser af udviklingen søerne i denne rapport. *) Pga. problemer med dataoverførsel er resultaterne ikke medtaget i denne rapport.

	Vandkemi										Undervandsplanter										Fisk												Planteplankton												Dyreplankton											
	04	05	06	07	08	09	10	11	12	04	05	06	07	08	09	10	11	12	04	05	06	07	08	09	10	11	12	04	05	06	07	08	09	10	11	12	04	05	06	07	08	09	10	11	12											
Arreskov Sø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X			X						X					X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X													
Arresø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X		X											X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X													
Bryrup Landsø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				X				X						X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X													
Engelsholm Sø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X			X							X	X	X	X	X		X				X	X	X	X	X*)		X													
Furesøen Storesø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				X		X						X		X	X	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X			X											
Hinge Sø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X		X				X								X	X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X	X												
Hornum Sø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				X								X	X	X	X	X	X	X		X			X	X	X	X	X*)				X										
Keldsnor							(X)	X	X			(X)			(X)																																									
Kvie Sø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				X				X						X	X	X	X	X					X	X	X	X																
Maglesø v. Brorfelde	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X			X	X												X	X		X	X	X					X	X	X	X	X*)	X*)													
Norssø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X*)			X		X						X		X	X	X	X	X	X		X			X	X	X	X	X*)	X*)			X											
Ravnso	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				X									X	X	X	X	X	X					X	X	X	X	X														
Store Søgård Sø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X		X									X	X	X	X	X					X	X	X	X	X*)															
Søby Sø, Midtjylland	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X					X		X					X		X	X	X	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X			X											
Søholm Sø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				X						X		X	X	X	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X			X											
Tranemose			(X)			(X)		X	X		(X)	(X)	(X)					X															X														X									
Ulvedybet			(X)			(X)		X	X		(X)	(X)					X				X																																			
Vesterborg Sø	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X		X				X							X		X	X	X	X	X	X		X			X	X	X	X	X	X			X										

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 570. Hydraulisk opholdstid varierer i 2012 med mere end en faktor 260 (Hinge Sø: 0,04 år og Furesøen 10,1 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 omkring 0,02 mg P/l til næringsrige søer med fosforkoncentrationer på ca. 0,3 mg P/l som sommergennemsnit (tabel 3.2). Selvom disse søer altså repræsenterer et bredt spektrum af næringsstofkoncentrationer, er der 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 3 og 194 µg/l og middelsommersigt dybder mellem 0,3 og 4,2 m. Søernes alkalinitet om sommeren spænder fra -0,03 til 6,3 meq/l med overvægt af de alkaliske søer. pH-værdierne varierer mellem 4,4 og 9,5 og søerne dækker dermed et bredt spektrum af surhedsgrader. Alle de nævnte værdier er fra overvågningen i 2012.

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



Tabel 3.2. Vandkemiske forhold i de 18 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling i 2012, baseret på års- og sommergennemsnit for de enkelte søer.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Totalfosfor (mg /l) år	0,085	0,055	0,017	0,344	18
Totalfosfor (mg /l) sommer	0,087	0,056	0,019	0,267	18
Opløst fosfor (ortho-P) (mg /l) år	0,018	0,010	0,002	0,083	18
Opløst fosfor (ortho-P) (mg /l) sommer	0,017	0,005	0,002	0,130	18
Totalkvælstof (mg /l) år	1,55	1,34	0,30	3,64	18
Totalkvælstof (mg /l) sommer	1,16	0,96	0,27	3,01	18
Nitrat (NO ₃ -N) (mg /l) år	0,68	0,41	0,07	2,01	18
Nitrat (NO ₃ -N) (mg /l) sommer	0,22	0,04	0,01	1,22	18
Klorofyl a (µg/l) år	45,5	24,0	4,2	301,8	18
Klorofyl a (µg/l) sommer	46,3	33,3	2,8	194,2	18
Farvetal (mg Pt/l) år	34,8	24,3	7,7	166,0	18
Farvetal (mg Pt/l) sommer	31,2	23,2	6,5	131,4	18
Sigtdybde (m) år	2,1	2,0	0,3	5,1	18
Sigtdybde (m) sommer	1,8	1,7	0,3	4,2	18
Alkalinitet (meq/l) år	2,25	2,39	-0,03	6,55	18
Alkalinitet (meq/l) sommer	2,15	2,29	-0,03	6,28	18
pH år	7,9	8,3	4,4	9,0	18
pH sommer	8,1	8,4	4,4	9,5	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.

Fosfor er et plantenæringsstof, der i de fleste søer betragtes som den 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.

Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2012 af henholdsvis totalfosfor og opløst fosfor (orthofosfat) i de søer, der er omfattet af kontrolovervågning af udvikling, og som har været undersøgt siden 1989 ses af figur 3.2. Resultaterne for de enkelte søer ses af figur 3.3 og tabel 3.5. Reduktioner i medianværdierne i perioden 1989-2012 er et udtryk for, at det generelle koncentrationsniveau, herunder også i de middelnæringsrige søer, er reduceret. De tre "nye" søer er ikke medtaget i disse fremstillinger; sommermiddelkoncentrationerne fra 2011 og 2012 for disse ses af tabel 3.3.

Det største fald i fosfor, både på sommer- og årsbasis, er generelt sket i begyndelsen af overvågningsperioden (tabel 3.4, figur 3.2 og figur 3.3). Sommermedianen af totalfosforkoncentrationen lå i perioden 1989-1993 på ca. 0,1 mg/l. Fra 1994 og frem varierede værdierne mellem 0,06-0,08 mg/l, (dog 0,05 i 2007, 2011 og 2012). Der er en tendens til lavere værdier mod slutningen af perioden (figur 3.2) specielt i de mest belastede søer. 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.

Det er i de næringsrige søer, at fosforkoncentrationen er faldet mest siden 1989. 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 typisk for de mere næringsfattige søer ikke ses nogen signifikant ændring eller kun med en lavere statistisk sikkerhed (se figur 3.3 og tabel 3.5). Pga. dette påvirkes gennemsnitsværdierne forholdsvis kraftigt. Årgennemsnitsværdierne for totalfosfor er faldet støt fra 0,15 mg P/l i perioden 1989-94 til 0,06 i 2012 og opløst fosfor fra 0,05 til 0,02 mg P/l i 2012 (Tabel 3.4). Den gennemsnitlige årsværdi af totalfosfor i de intensivt undersøgte søers overfladevand er dermed reduceret med 59 % og opløst fosfor med 61 %.

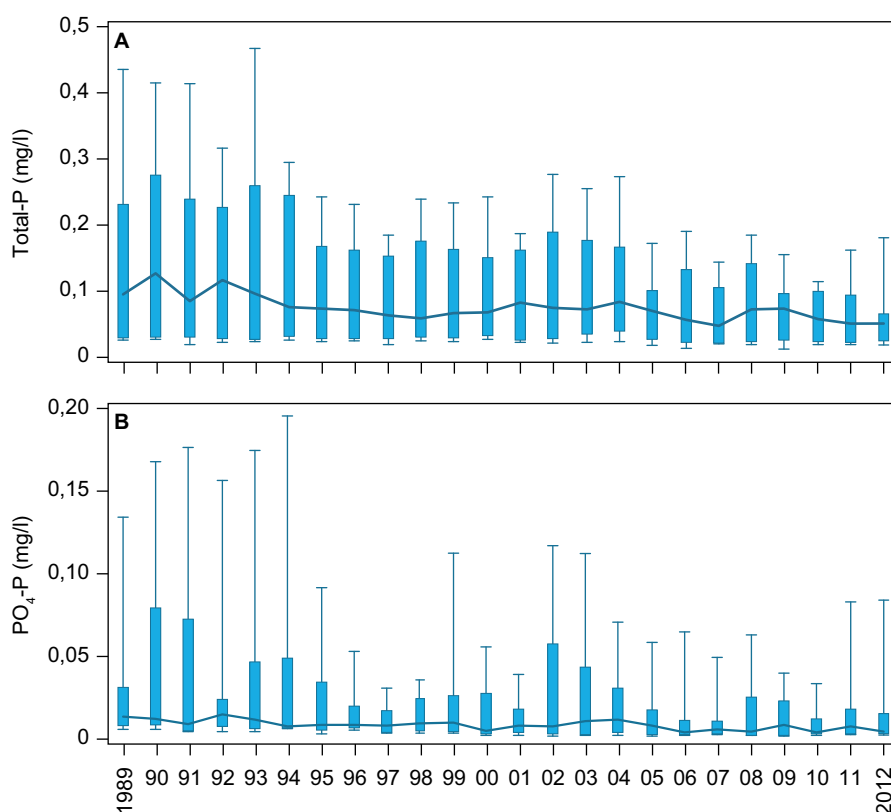
Tabel 3.3. Sommergennemsnit for søkoncentrationen af totalfosfor og orthofosfat for de tre søer, der indgik i kontrolovervågning af udvikling fra 2011.

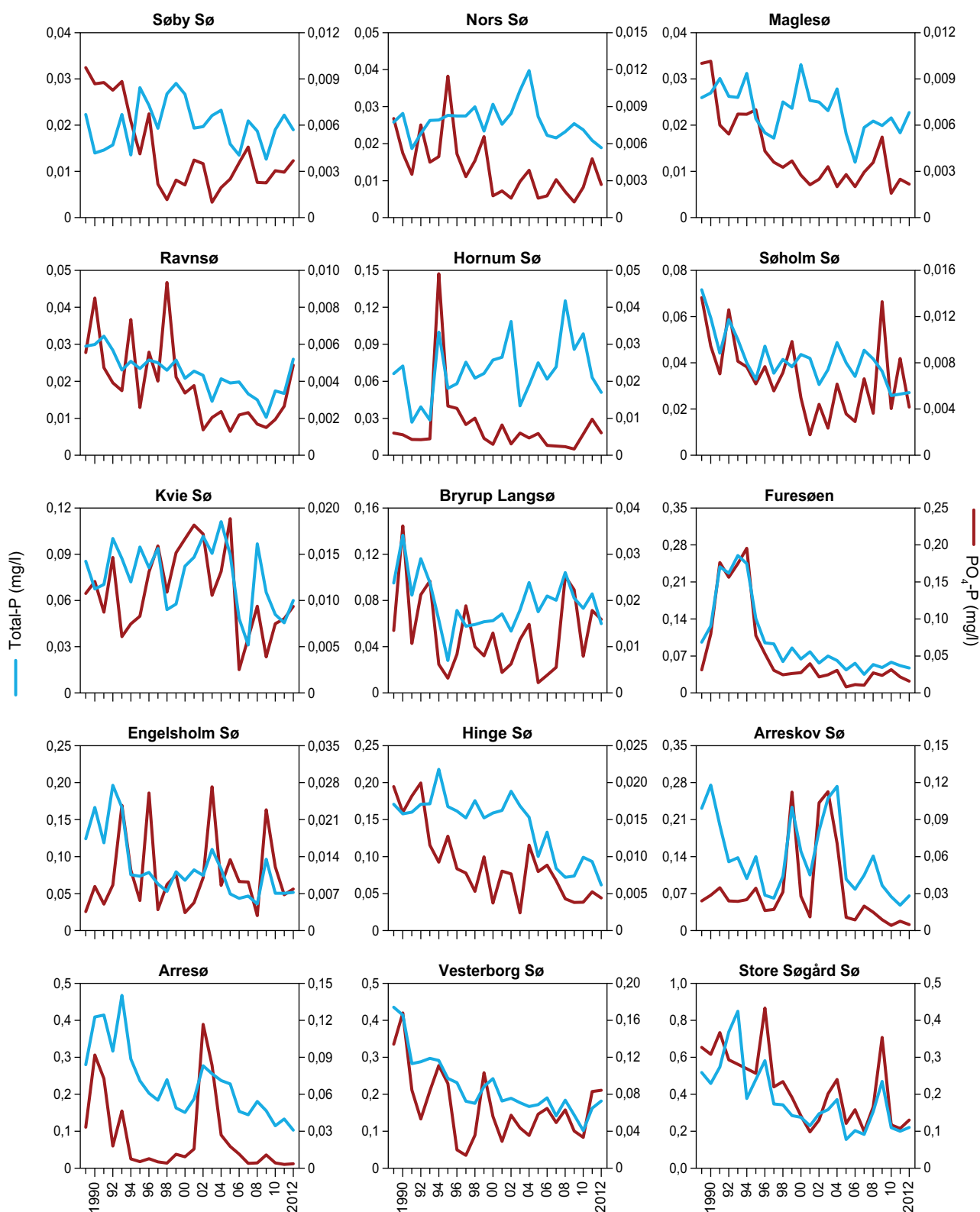
	Totalfosfor, sommermiddel (mg/l)		Opløst fosfor, sommermiddel (mg/l)	
	2011	2012	2011	2012
Ulvedybet	0,267	0,256	0,006	0,007
Tranemose	0,037	0,022	0,006	0,002
Keldsnor	0,285	0,267	0,005	0,006

Det totale fosforniveau i de 15 søer udtrykt ved medianen er reduceret med 48 % fra perioden 1989-1994 til 2012 på årsbasis. I de rene søer (25 % fraktillen) har totalfosforindholdet stort set været uændret gennem hele undersøgelsesperioden. Derimod er sket en kraftig reduktion (67 %) i totalfosfor i de mest næringsrige søer (både 75% fraktil og max-værdier).

Indholdet af opløst fosfor i overfladevandet viser et andet mønster end totalfosfor. Reduktionen i opløst fosfor blandt de renere søer er relativt større end for totalfosfor og niveauet for 2012 er stort set som for perioden 2007-2011 (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.





Figur 3.3. Udvikling i sommermiddel-koncentrationen af totalfosfor (Total-P) og opløst fosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$) i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling og har været overvåget siden 1989. Bemærk forskellige skalaer på akserne.

Tabel 3.4. Koncentrationen af totalfosfor (Total-P) og opløst fosfor (Ortho-P) angivet som årsmiddel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler (overfladevand) for perioderne 1989-94, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2011 samt 2012 i 15 af de søer der indgår i kontrolovervågning 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
2007-2011	0,070	0,019	0,029	0,071	0,077	0,192
2012	0,060	0,017	0,040	0,051	0,074	0,154
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	0,029	0,002	0,008	0,014	0,047	0,118
2007-2011	0,023	0,003	0,006	0,014	0,028	0,117
2012	0,021	0,003	0,004	0,014	0,027	0,083

På enkelt søniveau er totalfosforindholdet som års- og sommermiddel mindsket signifikant i henholdsvis 12 og 11 af de 15 søer, hvorfra der er målinger i søvandet siden 1989. Indholdet af orthofosfat i søvandet er reduceret i 10 (på årsbasis) og 10 (sommer) af de 15 søer med lang tidsserie (Tabel 3.5).

Kun i Hornum Sø har der været en signifikant stigning i års- og sommermiddelkoncentrationen af totalfosfor. I Engelsholm Sø har der på årsbasis været en stigning i opløst fosfor.

Tabel 3.5. Udviklingen i indholdet af totalfosfor (Total-P) og opløst fosfor (Ortho-P) i overfladevand i de søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes tilstand og som har været undersøgt fra 1989 til 2012. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsmiddel		Sommermiddel	
	Ortho-P	Total-P	Ortho-P	Total-P
Nors Sø	----	---	---	0
Hornum Sø	0	++	0	+
Hinge Sø	----	----	----	----
Ravn Sø	0	0	----	----
Bryrup Langsø	--	--	0	0
Søby Sø	----	0	---	0
Kvie Sø	0	---	0	-
Engelsholm Sø	+++	----	0	----
Store Søgård Sø	----	----	----	----
Arreskov Sø	0	---	--	--
Søholm Sø	----	----	--	----
Arresø	----	----	--	----
Furesøen	----	----	----	----
Maglesø	----	---	----	--
Vesterborg Sø	----	----	0	----
I alt +/++/+++ /++++	1	1	0	1
I alt -/--/---/----	10	12	10	11

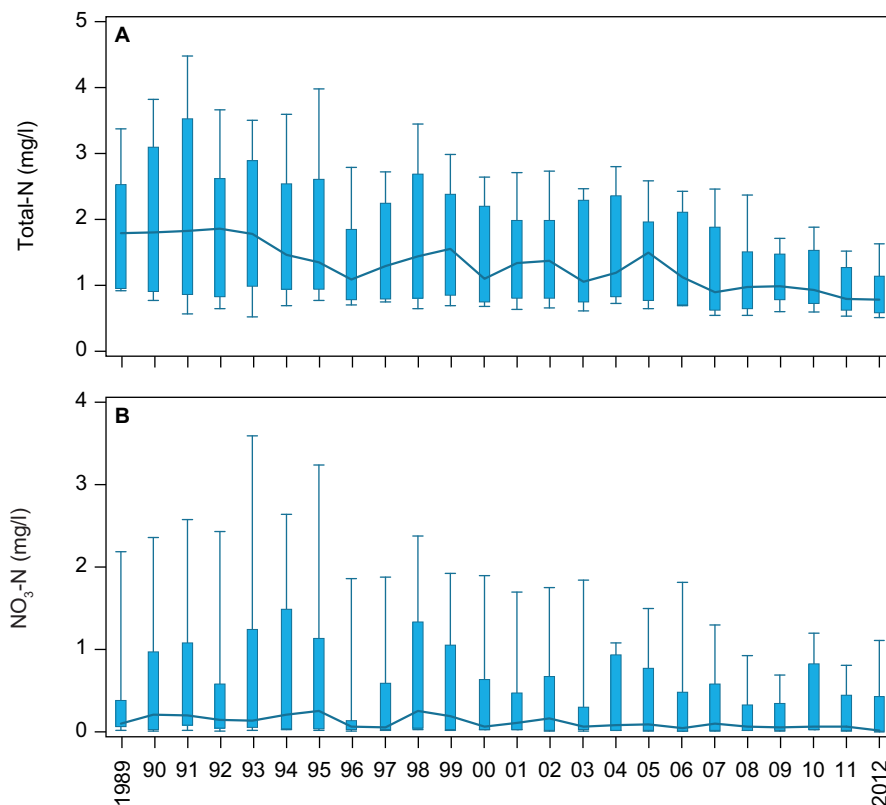
3.3 Kvælstof

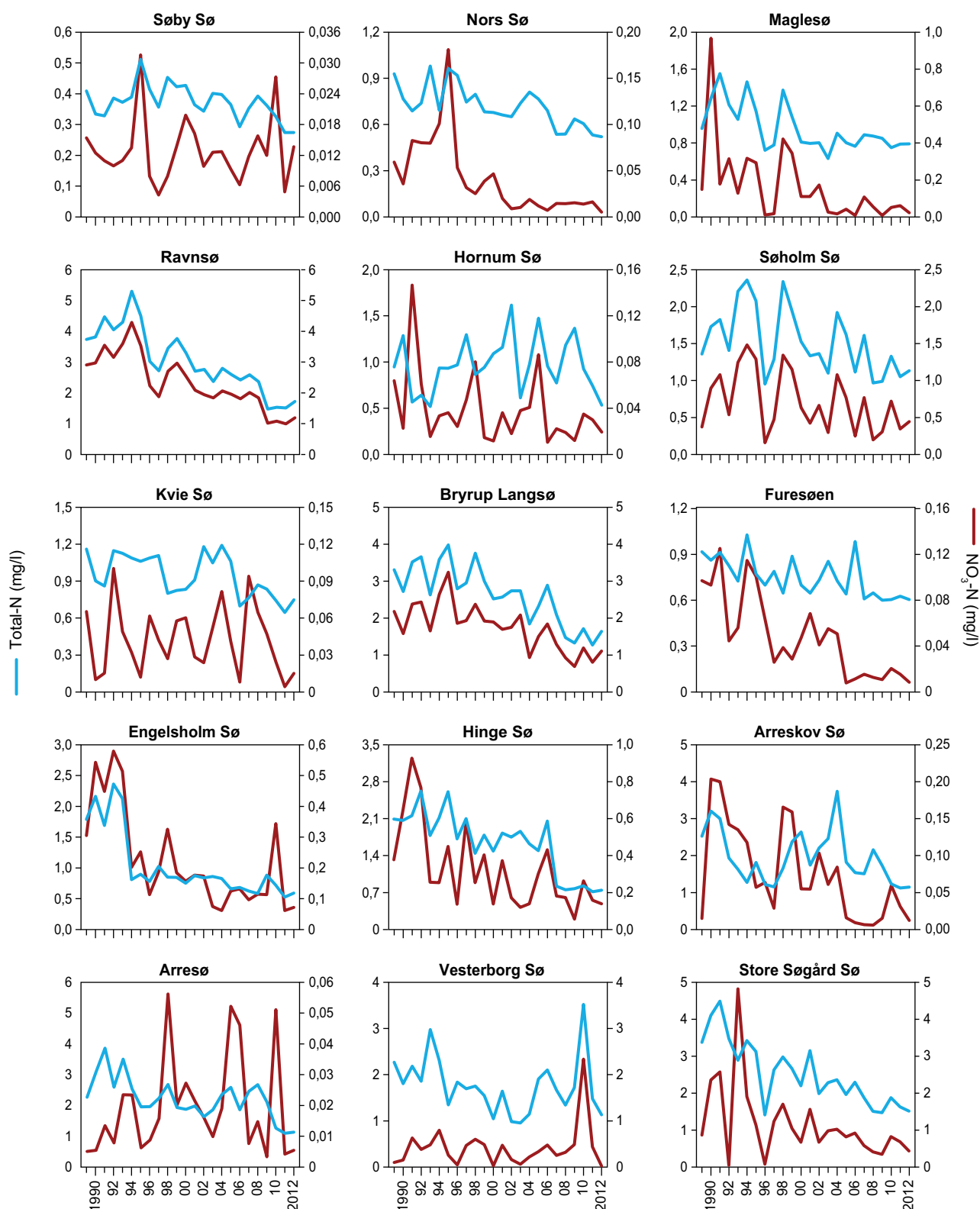
Kvælstof i vandmiljøet stammer primært fra udvaskning fra landbrugsarealer. Mindre betydende kilder er renseanlæg, industrier og dambrug.

Kvælstof er ligesom fosfor et plantenæringsstof og har betydning for algemængden 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 et al., 2005). Omvendt kan kvælstofbegrænsningen af epifytter have den omvendte virkning (se kapitel 5).

I søerne foregår der en naturlig kvælstoffjernelse (denitrifikation), som har betydning for, hvor meget kvælstof der transporteres ud af søerne og videre via vandløbene til havet. Overvågningen af kvælstofkoncentrationerne bidrager med viden om denitrifikationskapaciteten og giver dermed muligheder for at vurdere søernes samlede kapacitet til at fjerne kvælstof.

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. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjen viser medianværdien.





Figur 3.5. Udvikling i sommermiddel-koncentrationen af totalkvælstof (Total-N) og nitrat (NO₃-N) 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. Sommergennemsnit for søkoncentrationen af totalkvælstof og nitrat for de tre søer, der indgik i Kontrolovervågning af udvikling fra 2011.

	Totalkvælstof, sommermiddel (mg/l)		Nitrat, sommermiddel (mg/l)	
	2011	2012	2011	2012
Ulvedybet	2,4	3,0	0,007	0,012
Tranemose	0,93	0,69	0,004	0,003
Keldsnor	2,82	2,97	0,014	0,015

Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2012 af henholdsvis totalkvælstof og nitrat i de søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling ses af figur 3.4. Resultaterne for de enkelte søer ses af figur 3.5 og tabel 3.8. Reduktioner i medianværdierne er et udtryk for, at det generelle koncentrationsniveau, herunder også i de middelnæringsrige søer, er reduceret. Sommermiddelkoncentrationerne fra 2011 og 2012 for de tre "nye" søer i programmet ses af tabel 3.6. Siden 1989 er der sket en reduktion i indholdet af totalkvælstof i søerne, der indgår i kontrolovervågning af udvikling såvel på års- som på sommerniveau. Sommermedianen af totalkvælstof lå i perioden 1989-1993 på omkring 1,8 mg/l. 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 2011 og 2012 de laveste i overvågningsperioden (0,8 mg/l) (Figur 3.4).

Sommermedianen af nitratkoncentrationen lå i perioden 1989-1999 mellem 0,1 og 0,25, bortset fra 1996 og 1997, som 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).

Faldet i kvælstofkoncentrationen er, som for fosfor, størst blandt de søer, der som udgangspunkt udviste de højeste kvælstofkoncentrationer. Således er der i fem af de syv søer, hvori der fandtes totalkvælstofkoncentrationer højere end 2 mg/l (sommermiddel) i begyndelsen af overvågningsperioden, sket et fald på 0,1 % signifikansniveau. I de mere næringsfattige søer er reduktionen generelt mindre signifikant (Figur 3.5 og Tabel 3.8).

Tabel 3.7. Koncentrationen af totalkvælstof (Total-N) angivet som årsmiddel- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler (overfladevand) for perioderne 1989-94, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2011 samt 2012 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	2,74	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	1,95	0,41	0,86	1,77	2,78	4,21
2007-2011	1,69	0,40	0,99	1,58	2,14	4,33
2012	1,37	0,30	0,68	1,28	1,92	2,66

Årsgennemsnittet for totalkvælstof er reduceret med 50 % fra et niveau på ca. 2,7 indtil 1994 til ca. 1,4 mg N/l i 2012. Som for fosfor kan der for kvælstof konstateres en reduktion i de middelnæringsrige søer (medianen), som er reduceret med 46 % i 2012 i forhold til niveauet indtil 1994 (årsværdier) (Tabel 3.7).

Om sommeren er der sket et fald i totalkvælstofkoncentrationen på 52 % for sommergennemsnittet og 57 % for medianen i 2012 i forhold til årene 1989 til 1994. Faldet i sommerkoncentrationerne var størst blandt de næringsrige søer. Kvælstofindholdet er således reduceret mest i sommerperioden. Kvælstofkoncentrationen i søerne i vinterhalvåret er påvirket af de eksterne tilførsler fra oplandet i højere grad end om sommeren, og den større reduktion i kvælstofkoncentrationen i søvandet i sommermånederne skyldes såvel reduktionen i kvælstoftilførslerne, men også en forøget denitrifikation internt i søerne på grund af et generelt reduceret eutrofieringsniveau.

I de reneste søer er sommerkoncentrationen af totalkvælstof faldet siden perioden 1995-2000.

Tabel 3.8. Udviklingen i indholdet af totalkvælstof (Total-N) og nitrat (NO₃-N) i søvand i de søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes tilstand og som har været undersøgt fra 1989 til 2012. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

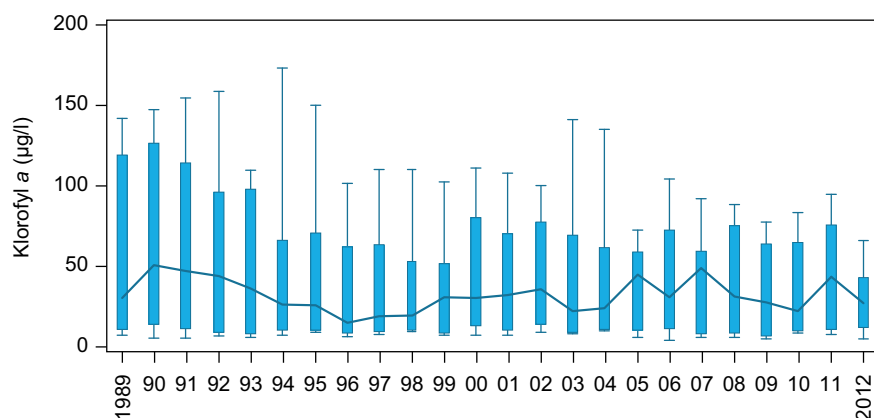
	Årsmiddel		Sommermiddel	
	NO ₃ -N	Total-N	NO ₃ -N	Total-N
Nors Sø	----	----	----	----
Hornum Sø	----	0	-	0
Hinge Sø	----	----	----	----
Ravnsø	----	----	----	----
Bryrup Langsø	----	----	----	----
Søby Sø	0	----	0	--
Kvie Sø	0	0	0	----
Engelsholm Sø	----	----	----	----
Store Søgårdsø	0	----	0	----
Arreskov Sø	----	---	---	-
Søholm Sø	0	---	-	---
Arresø	0	----	0	----
Furesøen	----	----	----	----
Maglesø	---	----	---	----
Vesterborg Sø	0	--	0	0
I alt +/++/+++ /++++	0	0	0	0
I alt -/--/---/----	9	13	10	13

For de enkelte søer er der siden 1989 sket en signifikant reduktion i koncentrationen af totalkvælstof i 13 (årsmiddel og sommermiddel) af de 15 søer (Tabel 3.8). Indholdet af nitrat er reduceret i ni søer for årsmiddel og ti for sommermiddel. Ingen af søerne har oplevet en signifikant stigning i kvælstofkoncentration.

3.4 Klorofyl *a*

Klorofyl *a* er det grønne pigment i fotosyntetiserende højere planter og alger og kan bruges som et indirekte 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.

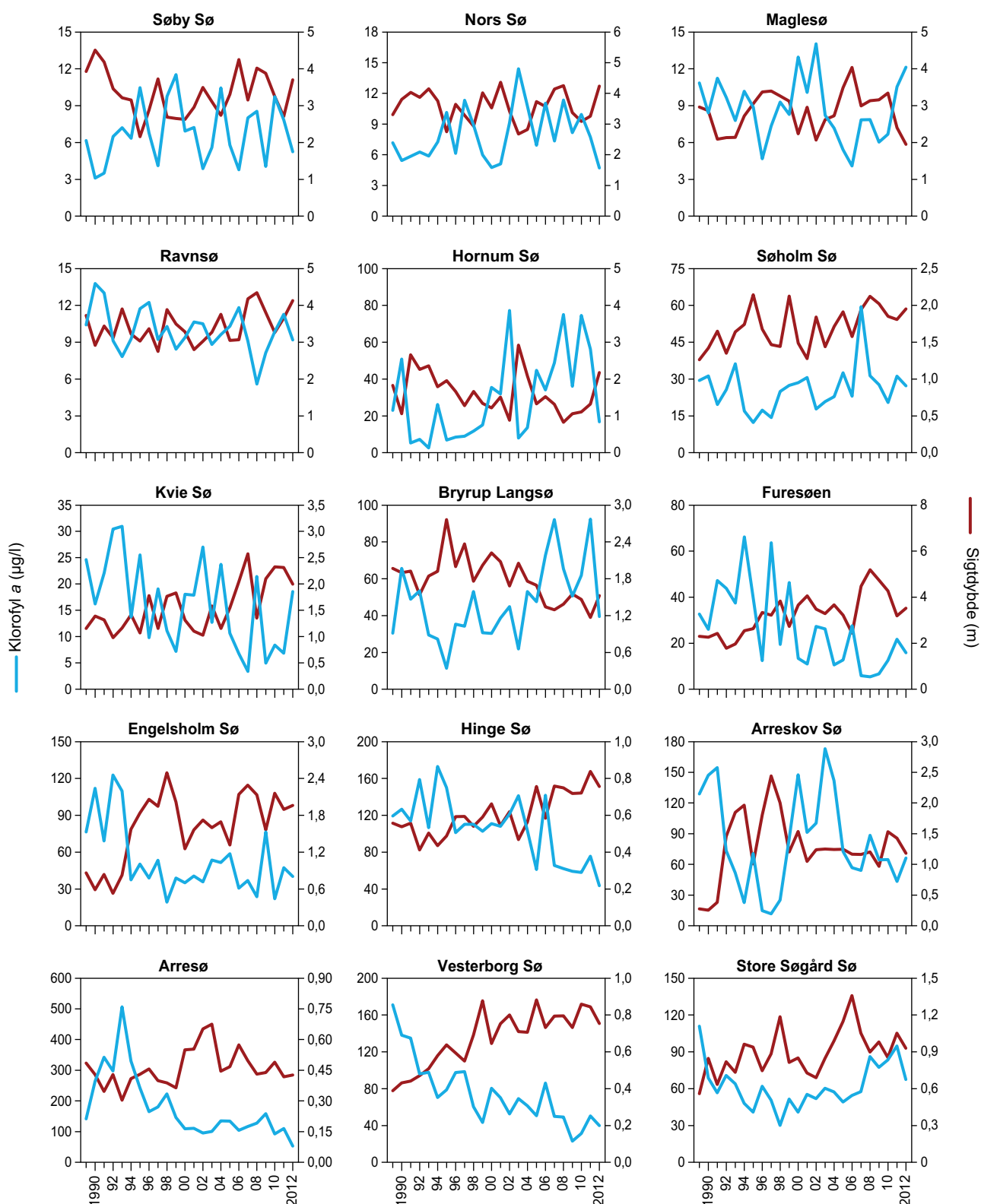


Udviklingen i sommerkoncentrationen fra 1989 til 2012 af klorofyl *a* i de søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling ses af Figur 3.6. Sommermiddelkoncentrationerne fra 2011 og 2012 for de tre "nye" søer i programmet ses af tabel 3.10 Resultaterne for de enkelte søer ses af figur 3.7. Medianværdierne har ligget på samme niveau i undersøgelsesperioden. Dog sås der et konstant fald fra 1990 til 1996 fra 51 til 15 $\mu\text{g/l}$. Herefter var der en stigende tendens (dog med relativt lave værdier i 2003, 2004 og 2006) indtil 2007 (49 $\mu\text{g/l}$). Herefter lå koncentrationen på et ensartet niveau (22-31 $\mu\text{g/l}$) indtil 2012, bortset fra 2011, hvor koncentrationen var 43 $\mu\text{g/l}$.

Også med hensyn til klorofyl er de største ændringer generelt sket i søer med de højeste klorofylkoncentrationer. I 2012 var søkoncentrationen af klorofyl *a* på årsbasis mindsket i forhold til perioden 1989-1994 med 84 % i søerne med det højeste klorofylindhold. 75 % fraktilen er reduceret med 58 % for årsværdierne. Faldet i de høje klorofylkoncentrationer har resulteret i, at klorofylgennemsnittet på årsbasis er reduceret med 61 % fra 60 $\mu\text{g/l}$ i 1989-1994 til 23 $\mu\text{g/l}$ i 2012.

Tabel 3.9. Søkoncentrationen af klorofyl *a* angivet som årsgennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-kvartiler (overfladevand) for perioderne 1989-94, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2011 samt 2012 i de 15 søer, som er overvåget siden 1989. Baseret på årsgennemsnit for de enkelte søer, enheden er $\mu\text{g/l}$.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
		Årsværdier					
Klorofyl <i>a</i>	1989-1994	59,5	6,5	10,8	29,0	80,9	382,5
	1995-2000	39,1	8,0	10,3	21,8	37,1	226,5
	2001-2006	33,1	6,3	8,8	26,1	44,4	98,5
	2007-2011	29,4	7,1	8,5	26,0	43,3	94,9
	2012	23,3	4,2	10,6	23,0	34,3	61,3



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

Tabel 3.10. Sommergennemsnit for søkoncentrationen af klorofyl *a* og for sigtddybden for de tre søer, der indgik i Kontrolovervågning af udvikling fra 2011.

	Klorofyl <i>a</i> , sommermiddel (µg/l)		Sigtddybde, sommermiddel (m)	
	2011	2012	2011	2012
Ulvedybet	158,5	176,3	0,36	0,40
Tranemose	17,4	2,8	0,58	0,96
Keldsnor	200,9	194,2	0,25	0,28

I de enkelte søer er klorofyl *a*, årsmiddel og sommermiddel, reduceret signifikant i henholdsvis syv og seks af de 15 søer (Tabel 3.11). Klorofyl *a* indholdet er øget signifikant i Hornum Sø og Bryrup Langsø både i sommerperioden og på årsniveau.

Tabel 3.11. Udviklingen i indholdet af klorofyl *a* (µg/l) og sigtddybde (meter) i søvandet i de søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes tilstand og som har været undersøgt fra 1989 til 2012. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

	Årsmiddel		Sommermiddel	
	Klorofyl <i>a</i>	Sigtddybde	Klorofyl <i>a</i>	Sigtddybde
Nors Sø	0	0	0	0
Hornum Sø	+++	0	+++	-
Hinge Sø	----	++++	----	++++
Ravnsø	0	++	0	0
Bryrup Langsø	+	--	++	----
Søby Sø	--	+	0	0
Kvie Sø	---	++++	---	++++
Engelsholm Sø	----	+++	---	++++
Store Søgård Sø	0	++	0	+++
Arreskov Sø	0	++	0	+
Søholm Sø	0	0	0	+++
Arresø	----	++++	----	0
Furesøen	----	++++	----	++++
Maglesø	0	0	0	0
Vesterborg Sø	----	++++	----	++++
I alt +/++/+++/++++	2	10	2	8
I alt -/-/---/----	7	0	6	2

Udviklingen i klorofyl *a* følger ikke altid udviklingen i næringsstofindholdet. F.eks. er stigningen i klorofyl *a* indholdet som medianværdi i perioden 1996-2007 og fra 2010 til 2011 ikke sammenfaldende med udviklingen af kvælstof og fosfor i denne periode (figur 3.2, 3.4 og 3.6). Årsagen er, at indholdet af klorofyl *a* ikke kun er styret af næringsstofindhold. Ikke mindst dyreplanktons græsning har stor indflydelse på planteplanktonindholdet (både forekomst og artssammensætning) og dermed klorofylindholdet i søen. En ændring i forekomst og artssammensætning af dyreplankton (som oftest vil være forårsaget af et skift i fiskebestanden) og dermed dens græsningskapacitet vil derfor påvirke forekomsten af planteplankton. En ændring i klorofylindholdet (som mål for planteplankton) kan altså ikke altid forklares ved kemiske forhold alene.

Som tidligere nævnt varierer klorofyl *a* indholdet mellem planteplanktonarterne og desuden kan det variere mellem sæsoner indenfor den enkelte art. Dette kan også være en del af årsagen til forskellighed i udvikling mellem næringsstoffer og klorofyl *a*.

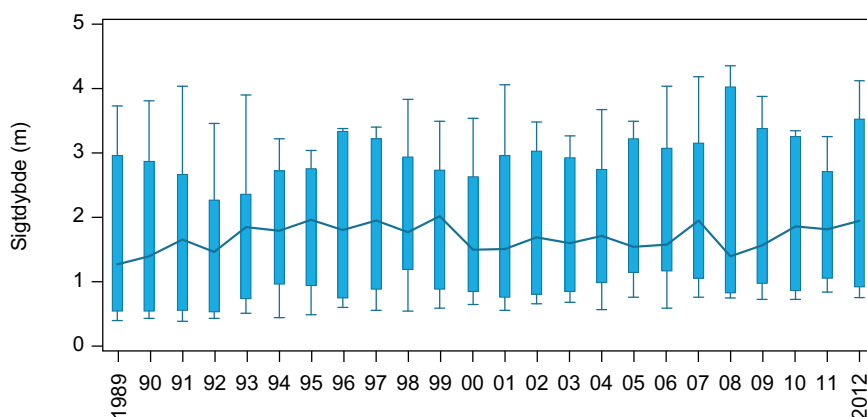
3.5 Sigtdybde

Sigtdybden er et udtryk for vandets klarhed eller gennemsigtighed, dvs. sigtdybden er afgørende for lysets evne til at trænge ned i søvandet og dermed også et mål 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.

Sigtdybden i de 15 søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling har vist en generel stigende tendens siden 1989. 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 de seneste år (Figur 3.8). Udviklingen i sigtdybden i de enkelte søer ses af Figur 3.7.

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 sigtdybden i 2012 23 % højere end niveauet i perioden 1989-1994 for årsværdier. Sammenlignet med perioden 1989-1994 er der sket forbedringer i søer med både lav og høj sigtdybde. Således er 25 %-fraktilen i 2012 steget med 19 % og minimumsværdien med 28%. Maksimumsværdien er steget med 38 % mens 75 %-fraktilen har udvist en stigning på 18% (Tabel 3.12).

Tabel 3.12. Sigtdybden angivet som årsgennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1989-94, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2011 samt 2012 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	2,21	0,64	1,15	1,95	3,41	4,41
	2007-2011	2,34	0,57	1,12	2,11	3,58	5,19
	2012	2,39	0,46	1,00	2,10	3,89	5,06

Det generelt reducerede næringsstofniveau i søerne siden overvågningen af vandmiljøet begyndte i 1989 har således ført til øget sigtddybde i de fleste af søerne, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling. For de enkelte søer er der sket en signifikant stigning i sigtddybdens års- og sommermiddel i henholdsvis 10 og otte af de 15 søer (Tabel 3.11). Kun i Hornum Sø (kun sommergennemsnit) og Bryrup Langsø er sigtddybden blevet mindre siden 1989. Flere søer, primært de mest klarvandede (f.eks. Nors Sø, Maglesø og Søby Sø) viser ingen eller kun en lille ændring i sigtddybden (Figur 3.7).

3.6 Dyreplankton

Dyreplankton spiller en stor rolle i søens økologi, idet mange af dyregrupperne tjener som føde for de planktivore fisk og derudover er specielt dafnierne vigtige græssere på planteplankton i søen. Ændringer i biomassen og den taksonomiske sammensætning af dyreplankton kan derfor indikere ændringer i søens økologiske tilstand.

I denne generelle oversigt medtages data frem til og med 2009, idet alle søer først vil være analyseret for zooplankton i 2015. Totalt set har dyreplanktonbiomassen ikke ændret sig meget siden perioden 1989-94, udtrykt ved medianen. Der skete dog en stigning i de første 10 år af overvågningsperioden, mens der i løbet af de seneste år er sket et mindre fald.

Relativt set er hjuldyrene og de små cladocerer de grupper, der har vist den største reduktion i biomassen, idet den i 2008/2009 var faldet med knap 60 % for begge grupper i forhold til værdien i perioden 1989-1994. Biomassen af vandlopperne er også faldet, således at den i 2008/2009 var den laveste i hele perioden. Dette fald kan tilskrives reduktionen i de calanoide vandloppers biomasse, som faldt fra 85 µg TV/l i perioden 1989-94 til 48 i 2008/2009. De cyclopoide vandlopper og dafnierne udviste en stigning på ca. 20 % for begge grupper (tabel 3.13).

Tabel 3.13. Dyreplanktonbiomasse ($\mu\text{g TV/l}$) – totalt og på gruppeniveau for ni søer, der er undersøgt hvert år i perioden 1989-2008 eller 2009. Sommergennemsnits- og medianværdier, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1989-94, 1995-2000, 2001-2007 samt 2008/2009. Ikke alle søer er undersøgt i både 2008 og 2009. Disse to år er derfor slået sammen. Hvis en sø er undersøgt i både 2008 og 2009 er der anvendt et gennemsnit af de to år. Flere af de søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes tilstand er undersøgt i alle årene, men pga. problemer med dataoverførsel, er de ikke medtaget i denne analyse.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Sommerværdier							
Total biomasse	1989-94	710	219	307	747	912	1511
	1995-00	739	141	330	924	1077	1300
	2001-07	761	175	312	780	990	1601
	2008/2009	597	119	287	681	750	1391
Hjuldyr	1989-94	65	19	29	45	68	237
	1995-00	39	11	23	34	54	91
	2001-07	37	6	13	49	58	66
	2008/2009	33	3	5	19	59	80
Vandlopper (Total)	1989-94	226	34	118	187	193	703
	1995-00	283	35	149	217	246	830
	2001-07	230	42	150	168	264	558
	2008/2009	217	25	121	142	217	824
Cyclopoide vandlopper	1989-94	144	24	49	60	103	538
	1995-00	192	8	62	91	139	829
	2001-07	158	9	71	88	219	557
	2008/2009	155	2	42	78	91	824
Calanoide vandlopper	1989-94	80	0	38	85	135	165
	1995-00	91	2	79	86	120	169
	2001-07	72	1	33	60	90	209
	2008/2009	62	0	44	58	79	146
Cladoceer (Total)	1989-94	420	134	165	490	571	842
	1995-00	417	82	171	415	657	862
	2001-07	494	126	143	441	757	1295
	2008/2009	347	61	161	442	483	710
Små Cladoceer	1989-94	198	20	92	136	270	527
	1995-00	111	14	31	48	122	412
	2001-07	114	25	32	53	80	370
	2008/2009	146	4	16	56	175	575
Dafnier	1989-94	217	29	107	116	350	582
	1995-00	302	34	99	154	423	834
	2001-07	373	45	83	124	695	948
	2008/2009	194	57	130	147	281	425

Ser man på de enkelte søer er der ikke nogen generel tendens i udviklingen af dyreplanktonbiomassen fra 1989-2008/2009, bortset fra et fald i hjuldyrenes biomasse i fem af de ni søer og ingen stigning i nogen af dem. Den totale biomasse er forøget i Hinge Sø (hovedsageligt pga. en forøgelse af biomassen af vandlopper og dafnier) og Arresø (pga. cyclopoide vandlopper og cladoceer). Dyreplanktonbiomassen er faldet i Vesterborg Sø (pga. hjuldyr og vandlopper), mens biomassen for dafnier alene er steget. For de resterende søer gælder det, at der ikke er sket nogen signifikant ændring i den totale biomasse, men i alle søerne ses der ændringer i en-flere af de enkelte dyregrupper (Tabel 3.14).

Tabel 3.14. Udviklingen i dyreplanktonbiomassen ($\mu\text{g TV/l}$) i ni af de søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes tilstand og som har været undersøgt fra 1989 til 2008/2009. Flere søer er undersøgt i alle årene, men pga. problemer med dataoverførsel er de ikke medtaget i denne analyse. . -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring.

Sommermiddel								
	Total	Hjuldyr	Vandlopper (Total)	Cyc. vandlopper	Cal. vandlopper	Cladoceer (Total)	Små Cladoceer	Dafnier
Hinge Sø	+	0	+	+	+	0	0	++
Ravn Sø	0	----	0	0	0	0	0	0
Bryrup Langsø	0	0	0	0	--	0	0	0
Søby Sø	0	----	0	----	0	0	---	++
Arreskov Sø	0	0	0	++	--	0	--	0
Søholm Sø	0	---	+	0	0	---	0	---
Arresø	++	0	++	+++	0	++	0	0
Furesøen	0	--	0	0	0	0	0	0
Vesterborg Sø	----	----	----	----	---	0	0	++
I alt +/++/+++ /++++	2	0	3	3	1	1	2	3
I alt -/--/---/----	1	5	0	2	3	1	0	1

3.7 Undervandsplanter

Undervandsvegetationen er en væsentlig parameter for hele søens økologi. Vegetationen har afgørende betydning for blandt andet fiskesammensætning, dyreplanktonsammensætning, udveksling af næringsstoffer mellem sediment og vand, næringsstofkoncentrationen i vandfasen og iltindholdet i såvel vand som sediment. Undervandsvegetationen er desuden følsom over for forringelser i vandkvaliteten i form af f.eks. reduceret sigtdybde eller øget algemængde/klorofylindhold og er dermed en god indikator for vandkvaliteten.

I forhold til Habitatdirektivet (Den Europæiske Union, 1992) er undervandsvegetationens artssammensætning og vegetationens udbredelse central for habitatens typebetegnelse samt dens bevaringsstatus. Undervandsplanter indgår også i Vandrammedirektivet (Den Europæiske Union, 2000) som en af vandkvalitetsparametrene, der skal anvendes til at fastsætte den økologiske kvalitet.

Ved undersøgelserne før 2004 blev den enkelte sø inddelt i delområder, og dækningsgrad samt plantefyldt volumen blev bestemt dels i delområderne og dels i hele søen.

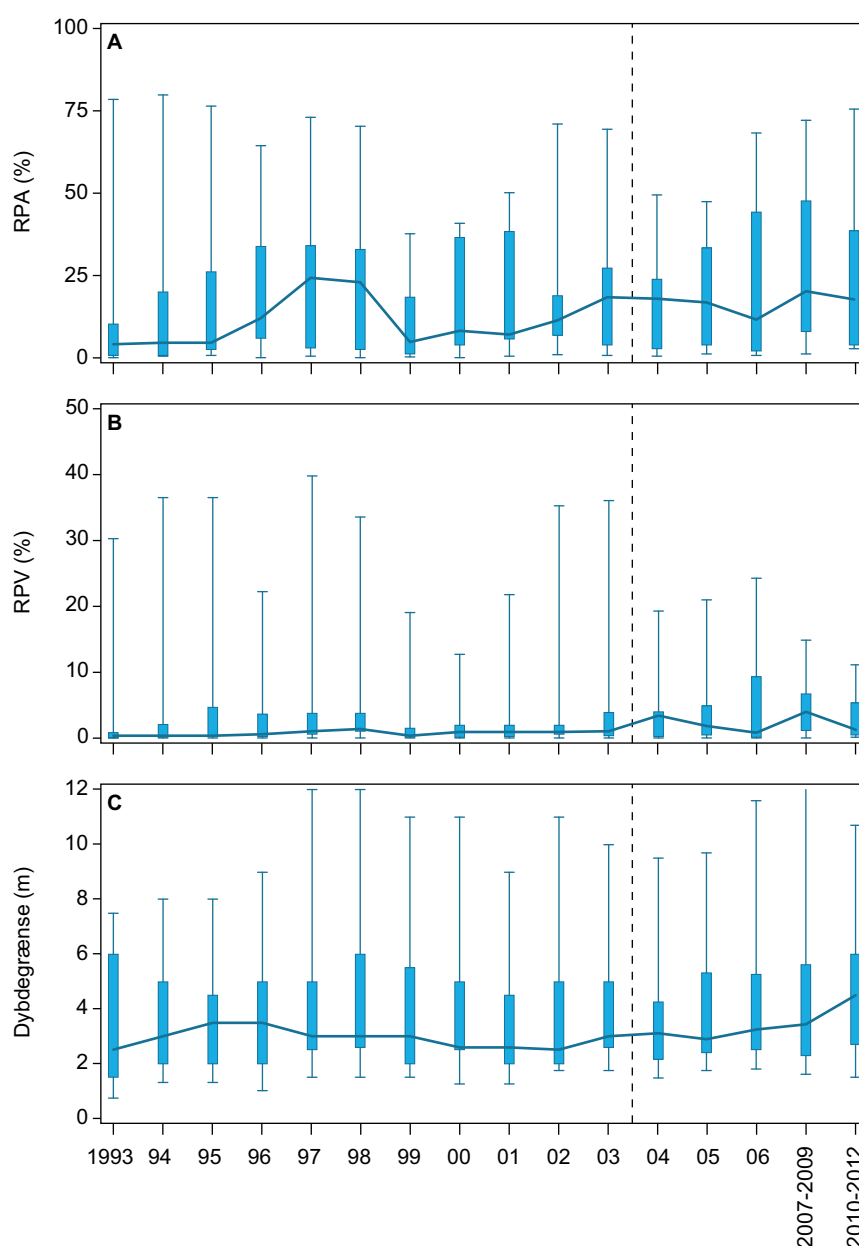
Fra 2004 (NOVANA) er undersøgelserne foretaget ved en transektundersøgelse. Der beregnes en samlet relativ plantedækningsgrad (RPA) baseret på data fra transekterne. På baggrund af plantehøjde og vanddybde i de enkelte observationspunkter beregnes et relativt plantefyldt volumen (RPV). Desuden registreres den maksimale dybde, hvori de enkelte arter er fundet (dybdegrænsen). Transektundersøgelsens samlede resultat er baseret på færre observationer end den tidligere områdeundersøgelse, men anvendelsen af transekter sikrer, at observationspunkterne er fordelt over hele søarealet. Da de samme transekter anvendes de efterfølgende år, er der områder, hvor vegetationen ikke undersøges. Dette kompenseres ved at supplere undersøgelsen med observationer i områder med formodet eller udbredt vegetation med henblik på at supplere artslisten. I transektundersøgelsen

sen indgår desuden den størst registrerede dybde for de enkelte arter (dybdegrænsen).

Undervandsplanternes udbredelse er siden 1993/94 og frem til 2006 undersøgt én gang årligt i ni af de tidligere 37 overvågningssøer. Fra 2007 blev programmet ændret således, at der kun skulle foretages planteundersøgelser hvert andet år i de søer, der dengang var indeholdt i "Det intensive program". Fra 2010 blev frekvensen yderligere nedsat, så søerne, der nu er indeholdt i kontrolovervågningen af søernes udvikling, skal undersøges hvert tredje år. Udviklingen i undervandsplanterne er derfor undersøgt ved at sammenligne perioderne 2007-2009 og 2010-2012 med de enkelte år siden 1993. Hvis en sø er undersøgt flere gange i perioden 2007-2009 og/eller 2010-2012, er der anvendt et gennemsnit for årene i den enkelte periode.

Udviklingen i det relativt plantedækkede areal, det relativt plantefyldte volumen og dybdegrænsen for perioden 1993-2012 i de ni søer ses af Figur 3.9.

Figur 3.9. Udviklingen i undervandsplanternes A: dækningsgrad (RPA), B: relativt plantefyldt volumen (RPV) og C: dybdegrænse i de ni søer, hvor der i perioden 1993-2006 er foretaget årlige vegetationsundersøgelser. I perioden 2007-2012 er søerne ikke undersøgt årligt og derfor er perioderne 2007-2009 og 2010-2012 præsenteret ved én søjle på grafen. Søjlerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjen viser medianværdien. OBS – metode-skift fra og med 2004 – se tekst.



Resultaterne for de enkelte søer i kontrolovervågningen af udvikling ses af Figur 3.10.



Figur 3.10. Udvikling i relativt plantede areal, relativt plantefyldt volumen og dybdegrænse for 15 af de søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling. Bemærk forskellige skalaer. OBS – der er foretaget metodeskift i 2004 – se tekst.

Fra 1993 til 1997 skete der i de ni gennemgående søer en stigning i det relativt plantedækkede areal (fra ca. 4 til ca. 23 %) og fra 1993 til 1998 i det relativt plantedækkede volumen (fra ca. 0,3 til 1,3 %), udtrykt ved medianværdien. Frem til 1999 skete der et fald i begge parametre (til henholdsvis 5 og 0,4 %), hvorefter både RPA og RPV var stigende indtil 2004 (18 % og 3 %). Frem til 2006 var tendensen faldende til henholdsvis 11 % og 1 %. Medianen af planternes dybdegrænse har konstant ligget mellem 2,5 og 3,5 m i perioden 1993-2006 (Figur 3.9).

De aggregerede resultater for perioden 2007-2009 og 2010-2012 viser en stigning i medianværdien for RPA til henholdsvis 20 og 18 % for de 9 søer og for RPV til 4 % og 1 %. Dybdegrænsen er steget, specielt frem til den sidste periode til 4,5 m (Figur 3.9).

Tabel 3.15. Relativt plantedækket areal, Relativt plantedækket volumen og dybdegrænse for to af de tre søer, der indgik i kontrolovervågning af udvikling fra 2011. Der er endnu ikke foretaget sammenlignelige undersøgelser i Keldsnor.

	Relativt plantedækket areal (%)	Relativt plantedækket volumen (%)	Dybdegrænse (m)
	2012	2012	2012
Tranemose	90,3	50,7	1
Ulvedyb (2012)	38,5	17,2	1,5

En generel oversigt over undervandsvegetationen i de intensivt undersøgte søer for perioden 2004-2012 (perioden, hvor der er foretaget transektundersøgelser) ses af Tabel 3.16. Den omfatter søer, der er undersøgt mindst én gang i hver af perioderne 2004-2006, 2007-2009 og 2010-2012.

Der er store variationer i vegetationens omfang i de intensivt undersøgte søer. I 2010-2012 varierede artsantallet fra 1 til 31, den maksimale dybdegrænse varierede fra 0,9 meter til 10,7 meter, og den største dækningsgrad var på 76 %, mens der også var søer stort set uden planter. I flertallet af søerne var der kun en lille dækningsgrad (median 9,6 %), og den maksimale dybdegrænse i halvdelen af de undersøgte søer var mindre end 2,7 meter (tabel 3.16). Sammenlignet med perioden 2004-2006 er der en tendens til en generel stigning i undervandsplanternes udbredelse i 2010-2012, idet medianen for relativt plantedækket areal er steget fra 2 til 10 %. Totalt set er der sket en lille stigning i RPV i perioden 2004-2012 (medianen steget fra 0,4 % til 0,8 %). Det skal her understreges, at tabel 3.16 og figur 3.9 ikke kan sammenlignes direkte, da de to fremstillinger ikke omfatter de samme søer (se Tabel 3.1).

Tabel 3.16. Oversigt over undervandsvegetationen (transektundersøgelse) i 13 af de 18 søer, der nu indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling i perioden 2004-2006, 2007-2009 og 2010-2012. I de tilfælde, hvor søerne er undersøgt mere end én gang i perioden, indgår søen med et gennemsnit.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
2004-2006					
Relativt plantedækket areal (%)	14,5	2,2	0,03	50,7	13
Relativt plantefyldt volumen (%)	3,3	0,4	0,00	16,6	13
Dybdegrænse (m)	3,6	2,6	1,25	8,9	13
Artsantal	10,4	9,0	1,00	25,3	13
Trådalger – relativt dækket areal (%)	1,3	0,3	0,00	7,5	13
2007-2009					
Relativt plantedækket areal (%)	19,8	8,1	0,09	72,2	13
Relativt plantefyldt volumen (%)	3,4	1,2	0,01	14,8	13
Dybdegrænse (m)	3,8	2,6	0,75	13,5	13
Artsantal	11,9	9,0	2,50	28,0	13
Trådalger – relativt dækket areal (%)	5,7	0,7	0,00	34,8	13
2010-2012					
Relativt plantedækket areal (%)	17,6	9,6	0,07	75,6	13
Relativt plantefyldt volumen (%)	2,4	0,8	0,01	11,1	13
Dybdegrænse (m)	4,0	2,7	0,90	10,7	13
Artsantal	13,7	10,0	1,00	31,0	13
Trådalger – relativt dækket areal (%)	2,8	0,6	0,00	13,1	13

Siden undersøgelseernes start er der sket signifikante stigninger i relativt plantedækket areal i otte af de 15 søer, i relativt plantefyldt volumen og vandplanternes dybdegrænse i fire søer (tabel 3.17). De generelt forbedrede betingelser for undervandsplanter i de intensive søer, kan relateres til det faldende næringsstof- og klorofylniveau med de heraf følgende forøgede sigtddybder.

De mest signifikante stigninger for dækningsgraden (RPA) ses i søerne Kvie Sø, Arreskov Sø, Hinge Sø, Søholm Sø, Furesøen og Nors Sø, men også Engelsholm Sø og Arresø (kun undersøgt henholdsvis seks og fem gange) blev dækningsgraden øget. Kvie Sø, Engelsholm Sø, Arreskov Sø og Hinge Sø udviste stigninger i det plantefyldte volumen (RPV). Dybdegrænsen var steget signifikant i Kvie Sø, Furesøen, Hinge sø og Arreskov sø. Udviklingen i Nors Sø er ikke entydig, da RPA er øget, RPV stagnerende og dybdegrænsen reduceret (tabel 3.17).

Tabel 3.17. Udviklingen i undervandsplanter i 15 af de 18 søer, der nu indgår i kontrol-
overvågningen af udvikling, i perioden 1993-2012. Det skal bemærkes at der i perioden
1993 til 2005 er foretaget årlige undersøgelser. Herefter er frekvensen varierende (kolon-
ne "N" og tabel 3.1). -/+, -/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på hen-
holdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signi-
fikant ændring. RPA er det relative plantedækkede areal. RPV er det relative plantefyldte
volumen. N angiver antal undersøgelser i den enkelte sø inden for perioden.

	RPA	RPV	Dybdegrænse	N
Nors Sø	+++	0	--	15
Hornum Sø	---	---	0	17
Hinge Sø	+++	++	+++	16
Ravnsø	0	0	0	17
Bryrup Langsø	Analyse ikke foretaget			3
Søby Sø	---	---	0	16
Kvie Sø	++++	++++	++++	16
Engelsholm Sø	++	+++	0	6
Store Søgaard Sø	0	0	0	4
Arreskov Sø	+++	+++	+++	16
Søholm Sø	+++	0	0	17
Arresø	+	0	0	5
Furesøen	+++	0	++++	16
Maglesø	0	0	0	16
Vesterborg Sø	0	0	0	7
I alt +/++/+++/++++	8	4	4	
I alt -/--/---/----	2	2	2	

I Hornum Sø og Søby Sø er der tendens til forværring af undervandsvegetationen, idet både RPA og RPV har været faldende. Dette er også gældende for dybdegrænsen i Søby Sø, mens den ikke har udvist ændringer i Hornum Sø. I Ravn Sø, Maglesø, Store Søgaard Sø, Vesterborg Sø og Store Søgaard Sø er der ikke registreret signifikante ændringer i undervandsvegetationen. Vesterborg Sø og Store Søgaard Sø er dog kun undersøgt henholdsvis syv og fire gange.

Arresø viser, på baggrund af fem undersøgelser, tendens til forbedring i RPA.

3.8 Næringsstofkilder og -balancer

Af de 18 søer, som indgår i kontrolovervågningen af udvikling er der opstillet stofbalancer for alle undersøgelsesår siden 1990 for 10 af søerne. Punktkildebelastningen er opgjort specifikt til søernes tilløbsoplande samt til afløbsoplandet fra 1990-2012. I år med manglende punktkildedata er anvendt interpolerede værdier. Regnvandsbetinget bidrag er i år opgjort på udledningspunkter modsat sidste år, hvor bidraget blev fordelt ud på oplande proportionalt med det befæstede areal.

I de beregnede næringsstilførsler af kvælstof og fosfor indgår tilførsler fra de målte tilløb til de enkelte søer, samt en estimeret tilførsel af det diffuse bidrag fra det umålte opland. Det diffuse bidrag fra det målte opland er estimeret som differensen mellem den målte transport og oplyst mængde udledt spildevand (rensningsanlæg, industri, dambrug, regnvandsbetinget). Det diffuse bidrag er herefter omsat til et vandføringsvægtet koncentrationsbidrag af kvælstof og fosfor, som er anvendt til beregning af det diffuse bidrag fra det umålte opland på månedsbasis. I en del tilfælde opstår der herved urealistisk

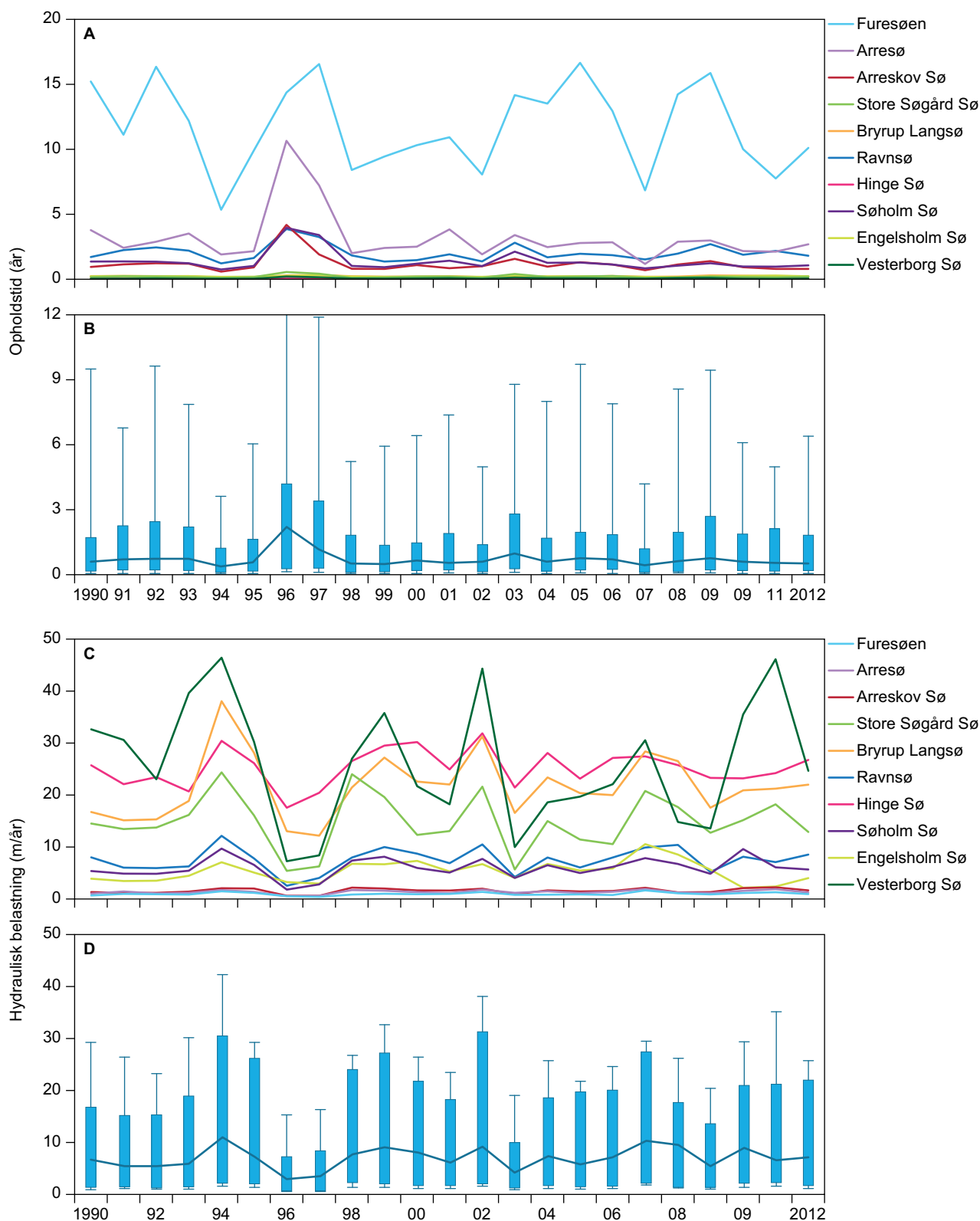
lave koncentrationer. Dette kan skyldes udligningen af spildevandsbelastningen til månedsværdier (årsværdien divideret med 12) samt lavere målinger i tilløbene og/eller højere spildevandsværdier end de aktuelle forhold. Det er velkendt, at fosfortransporter, der som tilfældet er her, beregnes på baggrund af punktpåtagninger i vandløb, generelt underestimerer den 'sande transport'. I de tilfælde hvor de beregnede fosforkoncentrationer fra det diffuse bidrag bliver mindre end 0,1 mg P/l er værdien 0,1 mg P/l anvendt, mens værdien 1,0 mg N/l tilsvarende er anvendt ved kvælstofkoncentrationer fra det diffuse bidrag lavere end 1,0 mg N/l. Til sammenligning var den gennemsnitlige koncentration i vandløb i naturoplande 0,05 mg P/l og 0,12 i vandløb med landbrugsopland uden punktkilder. De tilsvarende værdier for kvælstofkoncentrationen var hhv. 1,0 mg N/l og 4,34 mg N/l (Wiberg-Larsen et al., 2012). Der er pt. et projekt i gang vedr. belastningsopgørelser til søer, hvor modelberegnete værdier for bidraget fra det diffuse fosfor- og kvælstof i umålt opland anvendes med henblik på at optimere estimeringen af belastningen af total kvælstof og fosfor fra det umålte opland, som for mange søer kan udgøre en ret stor andel af oplandet – selv for de 10 intensivt undersøgte søer hvor massebalancen opgøres (16-60 % umålt opland). Det forventes, at resultaterne fra dette arbejde vil kunne indgå i rapporteringer fremover.

Dette afsnits analyser af vand- og stofbalancer samt kildeopsplitning er foretaget på de søer, der indgår i kontrolovervågningen af udvikling og som er vurderet egnede til at en betydelig del af det vand, der til -og fraføres søen, kan måles (i alt 10 søer).

3.8.1 Vandbalancer

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

Mest markant i overvågningsperioden siden 1990 har været de to tørre år: 1996 og 1997. Dette gav tilsvarende anledning til en lavere afstrømning (Figur 6.1) og betydeligt længere opholdstid i søerne (Figur 3.11). Året 2003 var ligeledes et relativt tørt år med relativ lang opholdstid i de fleste søer. Der er stor variation i både opholdstid og vandtilførsel, og der ses ingen generel tidslig udvikling (Figur 3.11). I 2012 afveg hverken opholdstiden eller den hydrauliske belastning markant for perioden for nogen af søerne endsige generelt set. Medianen for opholdstiden i søerne var i 2012 på 0,5 år, med et maksimum på 10,1 år i Furesøen og minimum på 0,04 år i Hinge Sø. Medianopholdstiden for søerne var dermed på niveau med perioderne 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).



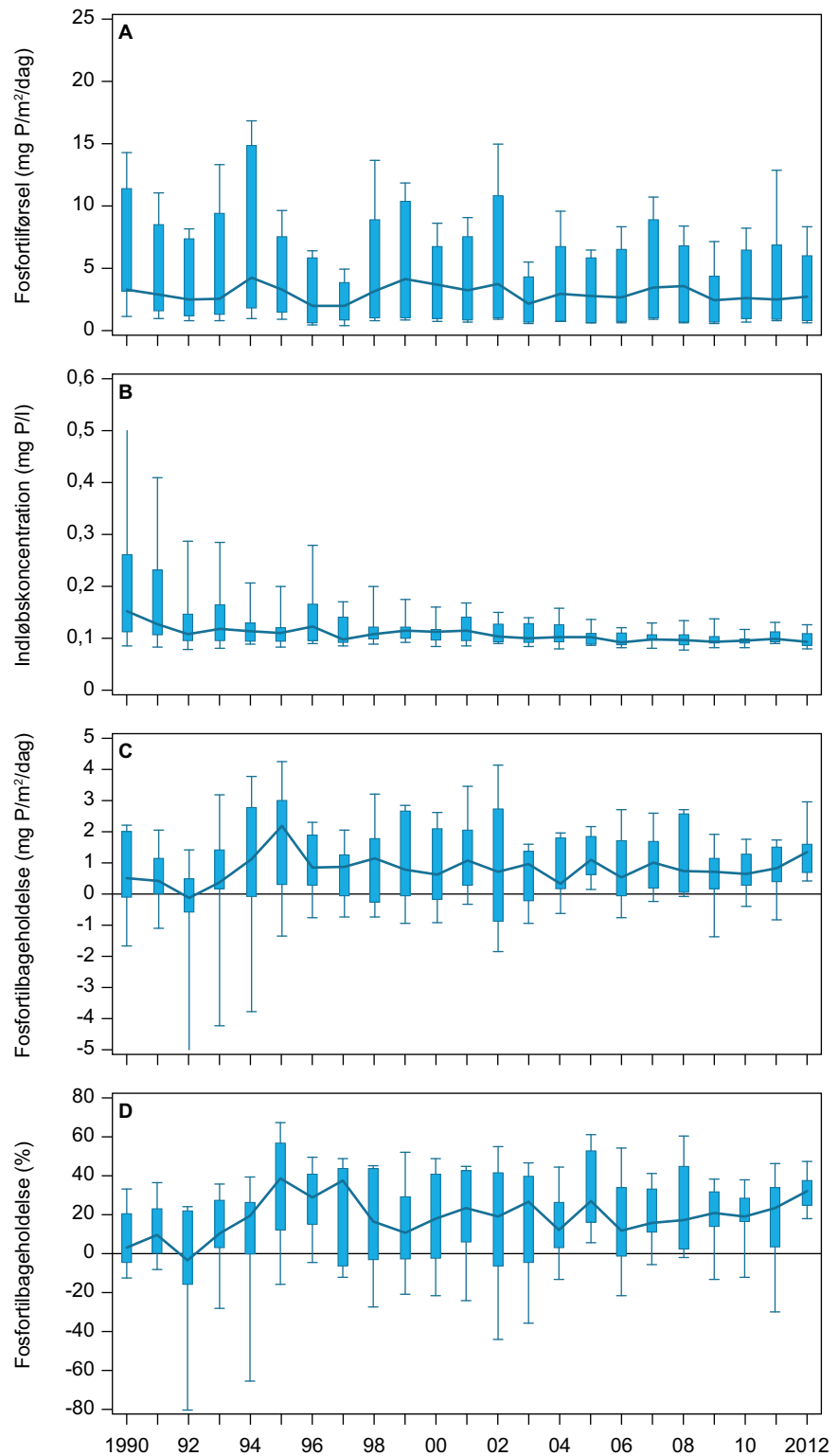
Figur 3.11. Opholdstid (år) for de 10 intensivt overvågede søer med stofbalancer 1990-2012; for de enkelte søer (A) samt generelt for de 10 søer (B). Hydraulisk belastning (m/år) for de 10 søer enkeltvis (C) samt generelt for de 10 søer (D). Bjælkerne i boksplottene viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier. Den hydrauliske belastning er beregnet som den totale tilførte vandmængde per år i m^3 divideret med søens overfladeareal i m^2 .

3.8.2 Fosforbalancer

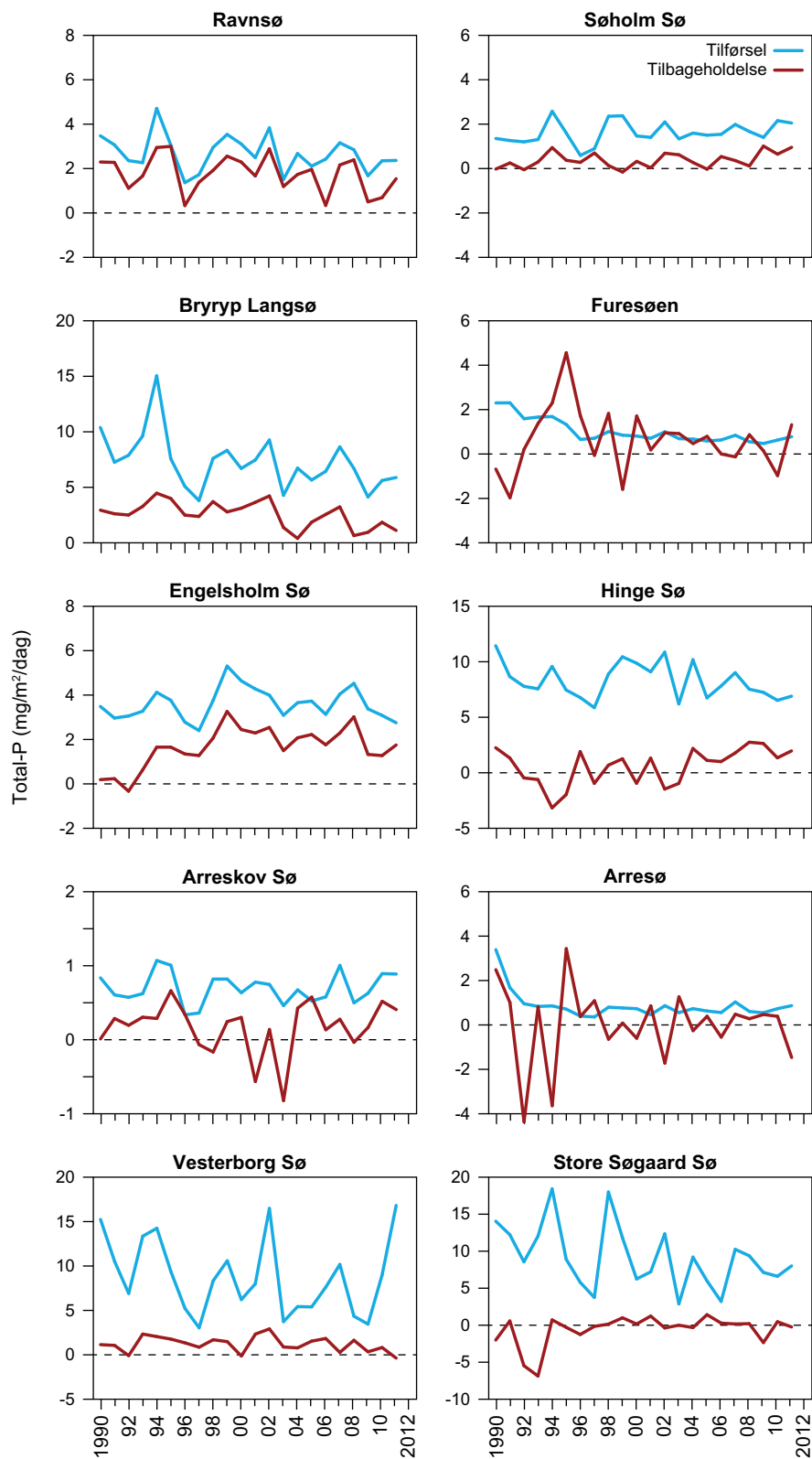
Vandtilførslen har en væsentlig betydning for den absolutte tilførsel af fosfor, da udvaskningen fra det åbne land øges med større vandtilførsel. De to tørre år 1996 og 1997, hvor der generelt var en meget lille tilførsel af fosfor ligesom tilførslen var relativ lille i det tørre år 2003, illustrerer dette (Figur 3.12A, 3.13). Tilsvarende var fosfortilførslen høj i de våde år 1994, 1999, 2002 og til dels også i 2007 og 2008 for en del af søerne.

Figur 3.12. Fosforudviklingen i de søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer ($n=10$) i perioden 1990 til 2012.

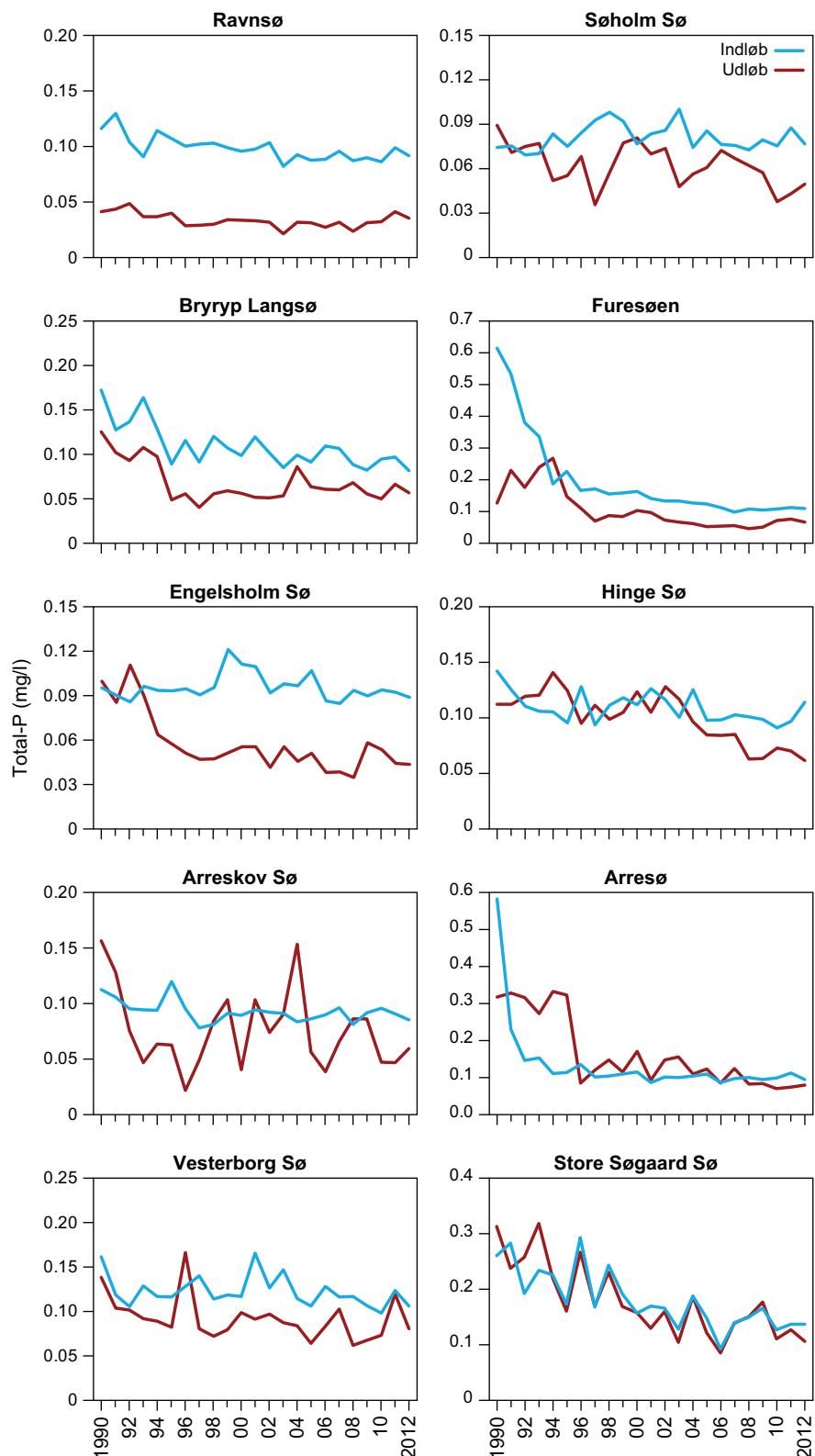
A: Total fosfortilførsel ($\text{mg P/m}^2/\text{dag}$), B: Vandføringsvægtet koncentration (mg P/l) af totalfosfor i tilført vand, C: Fosfortilbageholdelsen ($\text{mg P/m}^2/\text{dag}$), D: Fosfortilbageholdelse i % af tilførslen. Bjælkerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier.



Figur 3.13. Udvikling i tilførsel og tilbageholdelse af totalfosfor (Total-P) i hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer.



Figur 3.14. Udvikling i den vandføringsvægtede koncentration af totalfosfor (Total-P) i tilført vand samt i afløb til hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer.



Den vandføringsvægtede fosforkoncentration i det vand, der strømmer til søerne, er reduceret betragteligt (Figur 3.12B, 3.14) fra et gennemsnit omkring 0,17 mg P/l i perioden 1990-1994 til 0,12 mg P/l i perioden 1995-2000, mens reduktionen siden da har været relativt begrænset med et gennemsnit på omkring 0,10 mg P/l siden 2001-2006 (Tabel 3.18). Den gennemsnitlige koncentration i tilført vand i 2012 (0,1 mg P/l) svarer dermed til niveauet for den foregående 11-års 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 også i begyndelsen af overvågningsperioden. Medianen for koncentrationen af tilført vand afspejler også et fald, som er på 24 % fra perioden 1990-1994 (0,12 mg P/l) til 2012 (0,09 mg P/l i). Der har været en tilsvarende ændring i tilførslen af fosfor i absolutte mængder, hvor medianen for fosfortilførslen i 2012 var 11 % lavere (2,7 mg P/m²/dag) end for perioden 1990-1994 (3,0 mg P/m² /dag) (Tabel 3.18). Nedgangen i koncentrationen af fosfor i tilført vand var signifikant for syv af de 10 søer, mens faldet i den absolutte, arealspecifikke fosforbelastning var signifikant i fire søer (Tabel 3.20).

Reduktionen i fosforkoncentrationen i tilført vand til søerne forklares af reducerede punktkildetilførsler, som har været markante - f.eks. spildevand fra rensningsanlæg (Figur 3.16). 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 relative store reduktion, der er sket i de højeste fosforkoncentrationer i udløbene i perioden 1990-1994 (Figur 3.14, tabel 3.18). Faldet i fosfortilførslen i de mest belastede søer har resulteret i, at gennemsnitskoncentrationen i udløbene er faldet med hele 55 % fra 1990-1994 frem til 2012 (tabel 3.18) og er signifikant for ni ud af 10 søer (Tabel 3.20). Dog er faldet størst i den første del af overvågningsperioden (35 % fra 1990-1994 til perioden 1995-2000, herefter 9-14 % mellem de efterfølgende perioder oplistet i tabel 3.18).

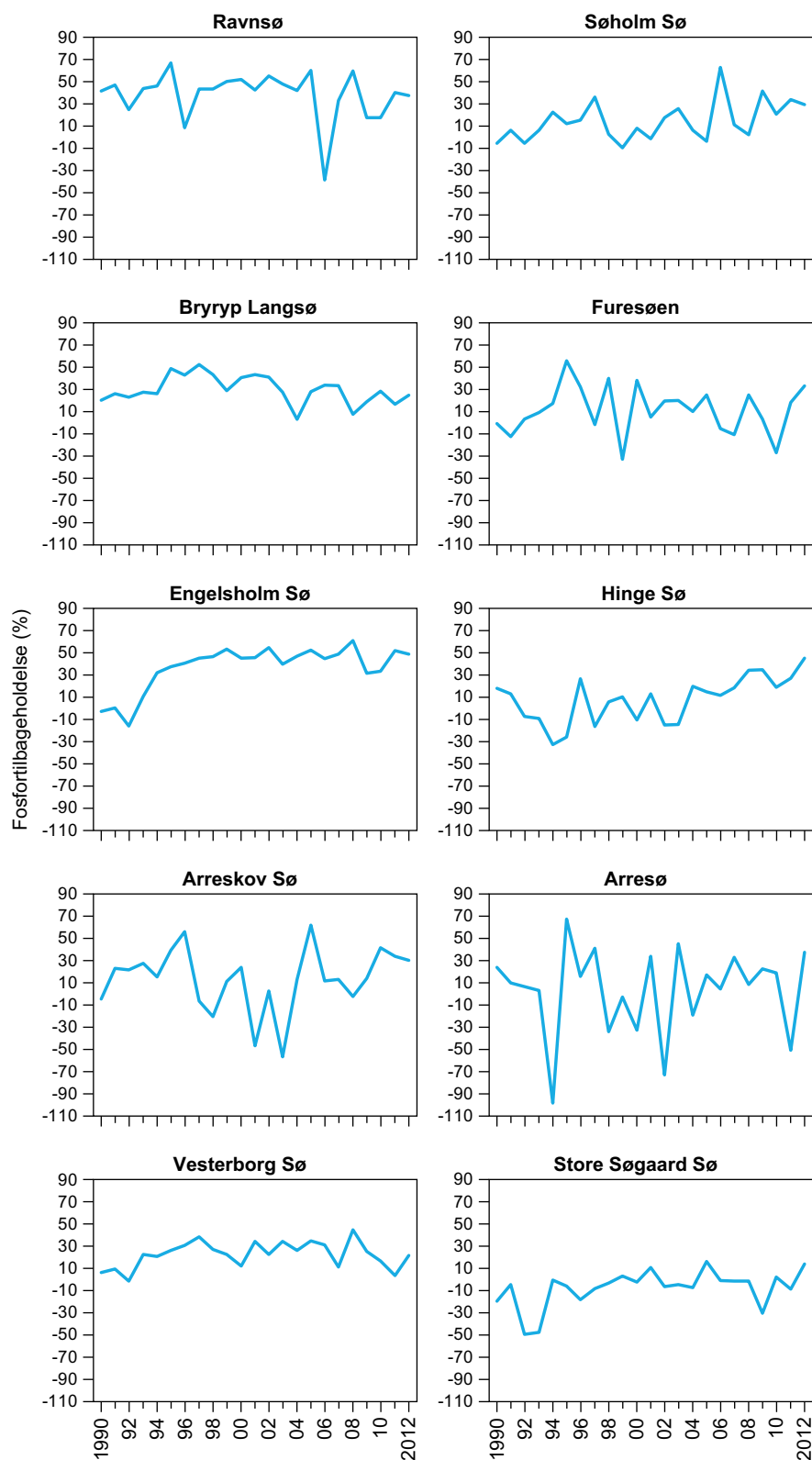
Tabel 3.18. Totalfosforkoncentration (Total-P konc (mg P/l)) samt fosfortilførslen (Total-P mængde (mg P/ m²/dag)) i det vand, der strømmer til (tilløb) og fra (udløb) de 10 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer fra 1990 til 2012 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2011 samt 2012. Årsværdier.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Tilførsel	1990-94	0,166	0,074	0,100	0,122	0,239	0,410
Total-P konc.	1995-00	0,123	0,086	0,101	0,107	0,145	0,205
	2001-06	0,108	0,084	0,092	0,100	0,128	0,149
	2007-11	0,100	0,078	0,091	0,096	0,105	0,144
	2012	0,098	0,076	0,086	0,093	0,109	0,137
Tilførsel	1990-94	5,611	0,797	1,518	3,045	9,633	12,690
Total-P mængde	1995-00	4,186	0,651	0,987	3,019	8,181	8,990
	2001-06	4,015	0,644	0,735	2,912	6,680	8,832
	2007-11	4,146	0,680	0,820	2,898	7,395	9,741
	2012	3,685	0,551	0,752	2,714	6,012	9,002
Udløb	1990-94	0,142	0,041	0,090	0,105	0,207	0,313
Total-P konc.	1995-00	0,092	0,033	0,053	0,079	0,110	0,193
	2001-06	0,079	0,029	0,061	0,075	0,102	0,131
	2007-11	0,070	0,032	0,053	0,063	0,085	0,141
	2012	0,064	0,036	0,049	0,060	0,079	0,106

Såvel den absolutte som den relative tilbageholdelse af fosfor i søerne har været relativt beskeden i størstedelen af søerne og fluktuerer en del gennem undersøgelsesperioden (Figur 3.13, 3.15) og kan især variere en del i søer med høj opholdstid, som f.eks. Furesøen. Ydermere varierer tilbageholdelsen også over sæsonen (Søndergaard et al., 2012). Reduktioner i totalfosfor i søen samt øget sigtdybde er mekanismer, der har positiv indvirkning på tilbageholdelsen i sommermånederne som følge af øget bentisk produktion.

Fosfortilbageholdelsen var generelt relativt lav i begyndelsen af 1990'erne (Figur 3.12, 3.15), hvilket er et udtryk for påvirkning fra en fosforpulje ophobet i sedimentet. Medianen for fosfortilbageholdelsen var således lavest i perioden 1990-1994, mens den fluktuerer mellem niveauet 0,5-1 mg P/m²/dag i de efterfølgende perioder (tabel 3.19). I 2012 var fosfortilbageholdelsen lidt højere end medianerne for de foregående perioder (tabel 3.19) samt de seneste 16 år (Figur 3.12C). Signifikant øget fosfortilbageholdelse sås i fire søer, mens én sø viste et signifikant fald i absolut tilbageholdelse (Tabel 3.20).

Figur 3.15. Udvikling i tilbageholdelsen af totalfosfor (%) af tilførslen af totalfosfor i hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer.



Tabel 3.19. 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 kontrolovervågning af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer fra 1990 til 2012 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2011 samt 2012. Årsværdier.

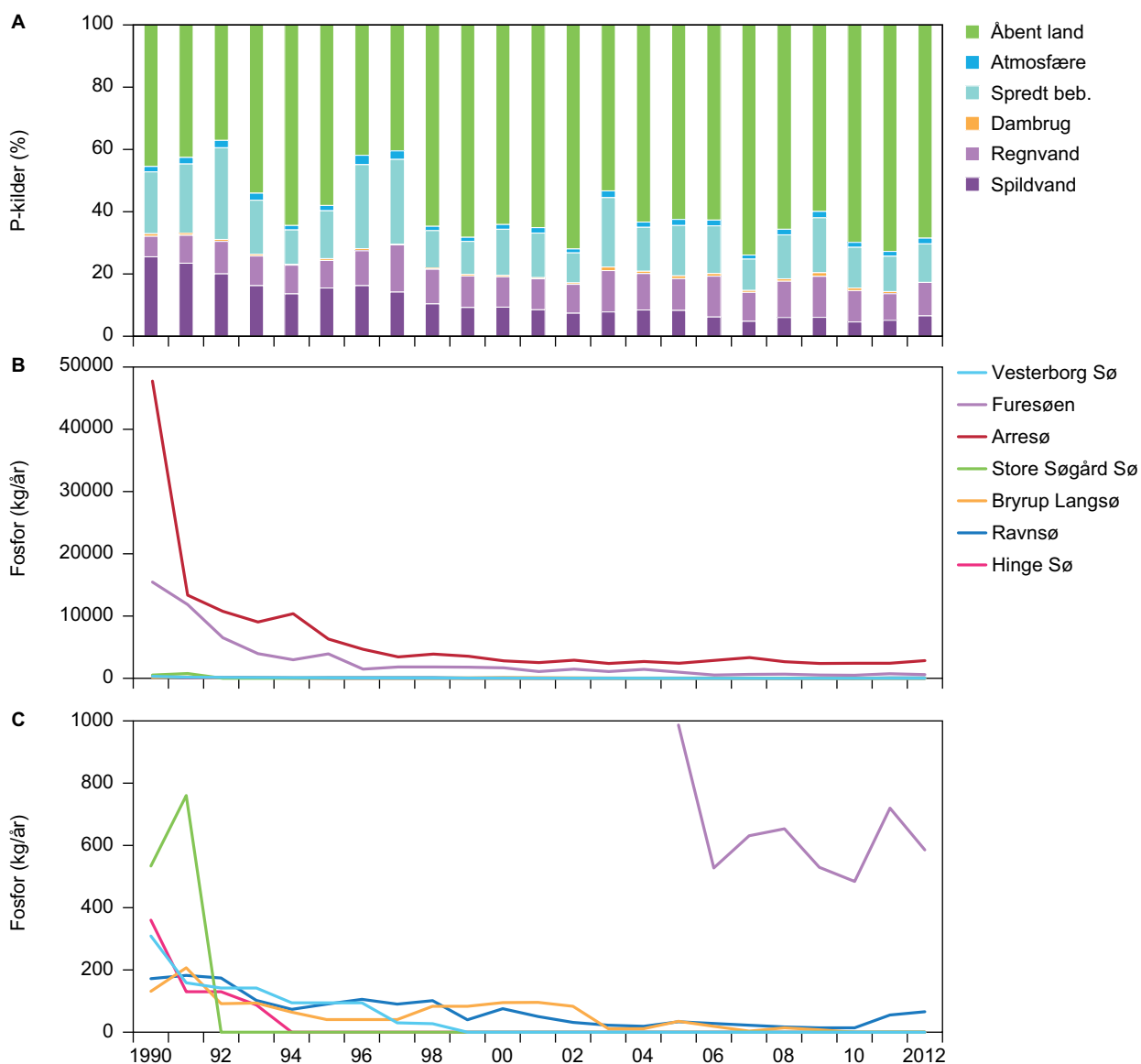
		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Total-P ret, (mg P/m ² /dag)	1990-94	0,215	-3,614	-0,270	0,215	1,756	2,697
	1995-00	1,037	-0,542	0,205	0,909	1,792	3,039
	2001-06	0,938	-0,092	0,017	0,496	1,823	2,705
	2007-11	0,832	-0,768	0,131	0,936	1,550	2,035
	2012	1,426	0,306	0,684	1,334	1,600	4,166
Total-P ret, (% af tilførsel)	1990-94	4	-35	-4	5	17	41
	1995-00	21	-6	9	20	43	45
	2001-06	18	-2	1	16	31	47
	2007-11	19	-8	6	21	27	45
	2012	32	14	25	32	38	49

Tabel 3.20. Udviklingen i overvågningssøernes stofbalancer for totalfosfor fra 1990 til 2012. -/+, -/+++, ---/++++, ----/+++++ svarer til reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Pi er koncentrationen 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(%)
Hinge Sø	--	----	0	++	+++
Ravn Sø	----	--	0	0	0
Bryrup Langsø	----	--	--	--	0
Engelsholm Sø	0	----	0	+++	++++
St. Søgård Sø	----	----	-	++	++
Arreskov Sø	--	0	0	0	0
Søholm Sø	0	--	0	++	++
Arresø	---	----	--	0	0
Furesøen	----	----	----	0	0
Vesterborg Sø	0	--	0	0	0
i alt +/++/+++ /++++	0	0	0	4	4
i alt -/-/---/----	7	9	4	1	0

3.8.3 Fosforkilder

Ud af de 18 intensivt undersøgte overvågningssøer er der sammenlignelige data for kildeopsplitning siden 1990 i 10 søer. Igen gennem overvågningsperioden er der sket betydelige ændringer i den relative fordeling af fosforkilderne til søerne (Figur 3.16). 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 3.16). Det reducerede spildevandsbidrag indebærer, at betydningen af bidraget fra det åbne land (baggrund + landbrugsbetinget) relativt bliver større og generelt er steget fra 49 % til 68 % i perioden 1990-1994 til 2007-2011, mens bidraget fra det åbne land i 2012 var på 69 % af den samlede fosforbelastning (Tabel 3.21).



Figur 3.16. A. Den procentuelle kildefordeling for fosfortilførslen til 10 af overvågningssøerne med stoftilførselsmålinger i perioden 1990-2012. B Det aktuelle spildevandsbidrag af fosfor fra rensningsanlæg i overvågningssøerne (der er intet bidrag til Engesholm Sø, Søholm Sø og Arreskov Sø). C Som graf B med forstørret akseenhed.

Udover 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 10 til 30 % over hele perioden og har de sidste 10 år ligget på omkring 12-15 %. Den gennemsnitlige relative fosfortilførsel fra dambrug til søer var gennem hele perioden mellem 0,5 og 1 % af den totale tilførsel. Imidlertid er det 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 (2-12 % i overvågningsperioden). For 2012 er der ingen registreret dambrugstilførsel til Bryrup Langsø.

Tabel 3.21. Den procentuelle kildefordeling for fosfortilførslen i de 10 intensivt overvågede søer med stofbalancer fra 1990 til 2012, opdelt i fire perioder samt for året 2012. 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.

	Spilde- vand	Regn- vand	Spredt bebyg.	Dam- brug	Atmos- fære	Åbent land
1990-94	19,8	8,9	20,0	0,6	2,0	48,7
1995-00	12,5	11,0	17,8	0,5	1,9	56,2
2001-06	7,8	11,3	15,3	0,7	1,8	63,2
2007-11	5,3	10,5	13,2	0,8	1,7	68,4
2012	6,6	10,7	12,4	0,0	1,8	68,5

3.8.4 Kvælstofbalancer

Tilførslen af kvælstof til søerne afspejler i endnu højere grad end fosfor forskelle i vandafstrømningen fra år til år. De tørre år i 1996 og 1997 samt 2003 er således meget markante i udviklingen i tilførslen af kvælstof siden 1990, som generelt har vist en faldende tendens (Figur 3.17, 3.18).

Den vandføringsvægtede kvælstofkoncentration i det vand, der strømmer til søerne har været faldende i perioden 1990 til 2012 i størstedelen af søerne (Figur 3.17B, 3.19), signifikant i alle 10 søer (Tabel 3.24), hvor medianen for kvælstofkoncentrationen er reduceret med ca. 37 % fra første halvdel af 1990'erne til perioden 2007-2011. Medianen for kvælstofkoncentration i det vand, der strømmer til søerne i 2012 (3,8 mg N/l) var på niveau med niveauet for 2007-2011. Generelt set er reduktionen sket jævnt hen over de fire perioder i årene 1990-2012, med et fald på 13-14 % i mellem perioderne (tabel 3.22). Dette er modsat tendensen i fosforkoncentrationen, der hovedsageligt falder i den første del af overvågningsperioden. Den stadigt faldende tendens i størstedelen af søerne, giver anledning til overvejelse af, om nogle af søerne har potentiale til kvælstofbegrænsning – eller kunne bringes derhen ved en indsats for reduceret kvælstofbelastning. Potentiel kvælstofbegrænsning i søer behandles i særskilt kapitel i denne rapport. Faldet i den absolutte kvælstoftilførsel (Figur 3.17A, 3.18) afspejler, trods betydelig større variation, faldet i koncentrationen i tilført vand med en reduktion på 45 % (median-værdier) fra perioden 1990-1994 til 2007-2011 (Tabel 3.22). I 2012 blev medianen for den absolutte kvælstoftilførsel en af de laveste værdier i overvågningsperioden. Otte ud af 10 søer viser et signifikant fald i den absolutte kvælstoftilførsel (Tabel 3.24).

Tabel 3.22. Totalkvælstofkoncentration (Total-N konc. (mg P/l)) samt kvælstoftilførslen (Total-N mængde (mg N/ m²/dag)) i det vand, der strømmer til (tilløb) og fra (udløb) de 10 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer 1990 til 2012 med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2011 samt 2012. Årsværdier.

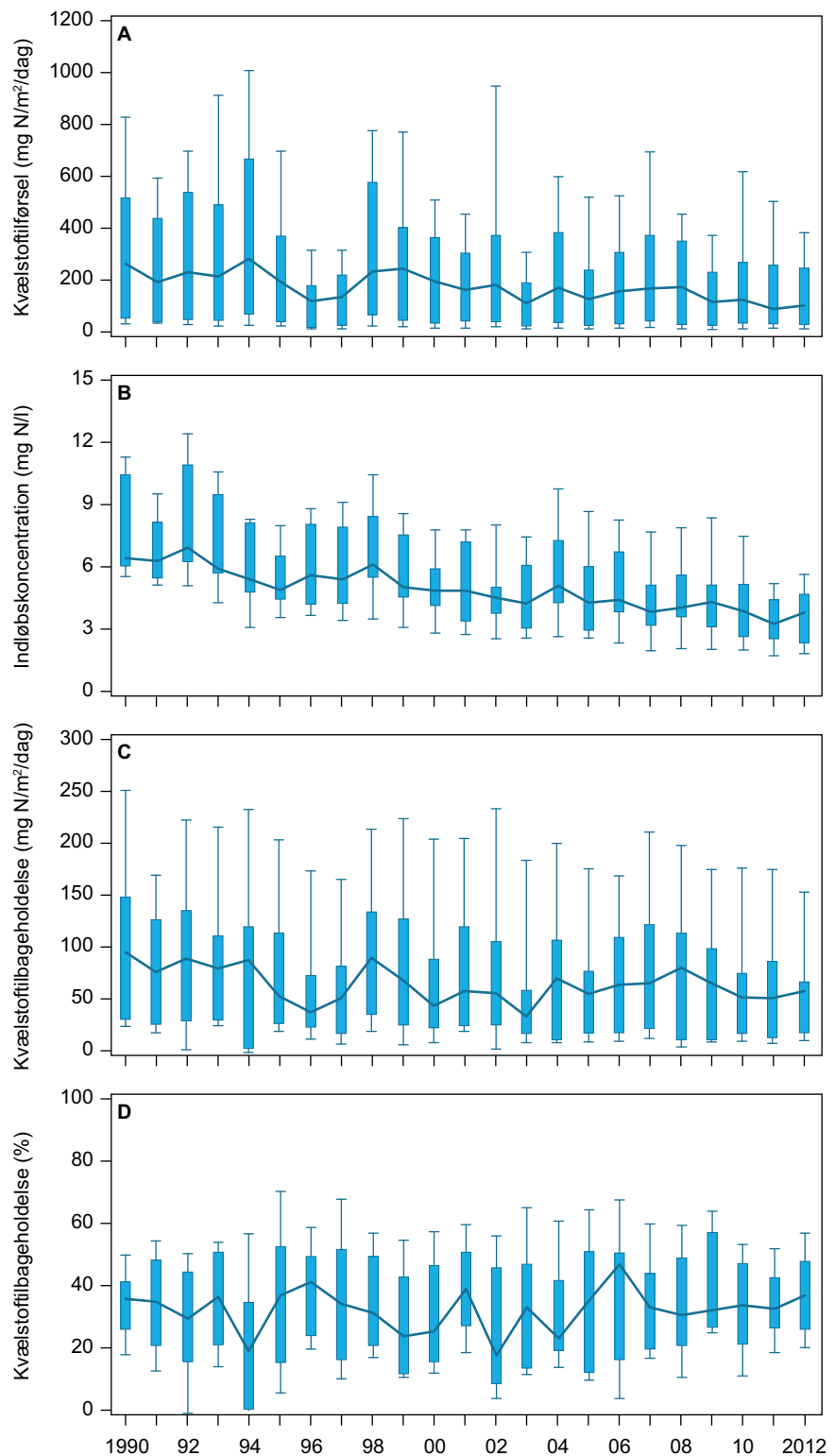
		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Tilførsel	1990-94	7,21	4,68	5,36	6,12	9,49	10,37
Total-N konc.	1995-00	5,80	3,24	4,56	5,32	7,42	8,70
(mg N/l)	2001-06	5,02	2,29	3,60	4,52	6,51	9,01
	2007-11	4,24	1,60	3,17	3,85	5,08	8,21
	2012	3,70	1,66	2,32	3,80	4,68	6,14
Tilførsel	1990-94	325	27	46	229	538	1003
Total-N mængde	1995-00	230	19	37	181	343	580
(mg N/m ² /dag)	2001-06	211	13	34	147	278	626
	2007-11	199	10	31	124	290	636
	2012	154	10	30	103	247	397
Udløb	1990-94	4,05	0,75	2,47	3,58	5,21	8,45
Total-N konc.	1995-00	3,17	0,69	1,71	2,80	4,16	6,90
(mg N/l)	2001-06	2,85	0,62	1,52	2,49	3,16	7,45
	2007-11	2,33	0,51	1,55	2,00	2,35	6,39
	2012	2,02	0,62	1,22	1,73	2,28	4,29

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 3.17, 3.18), hvilket bl.a. er nedbørsafhængig.

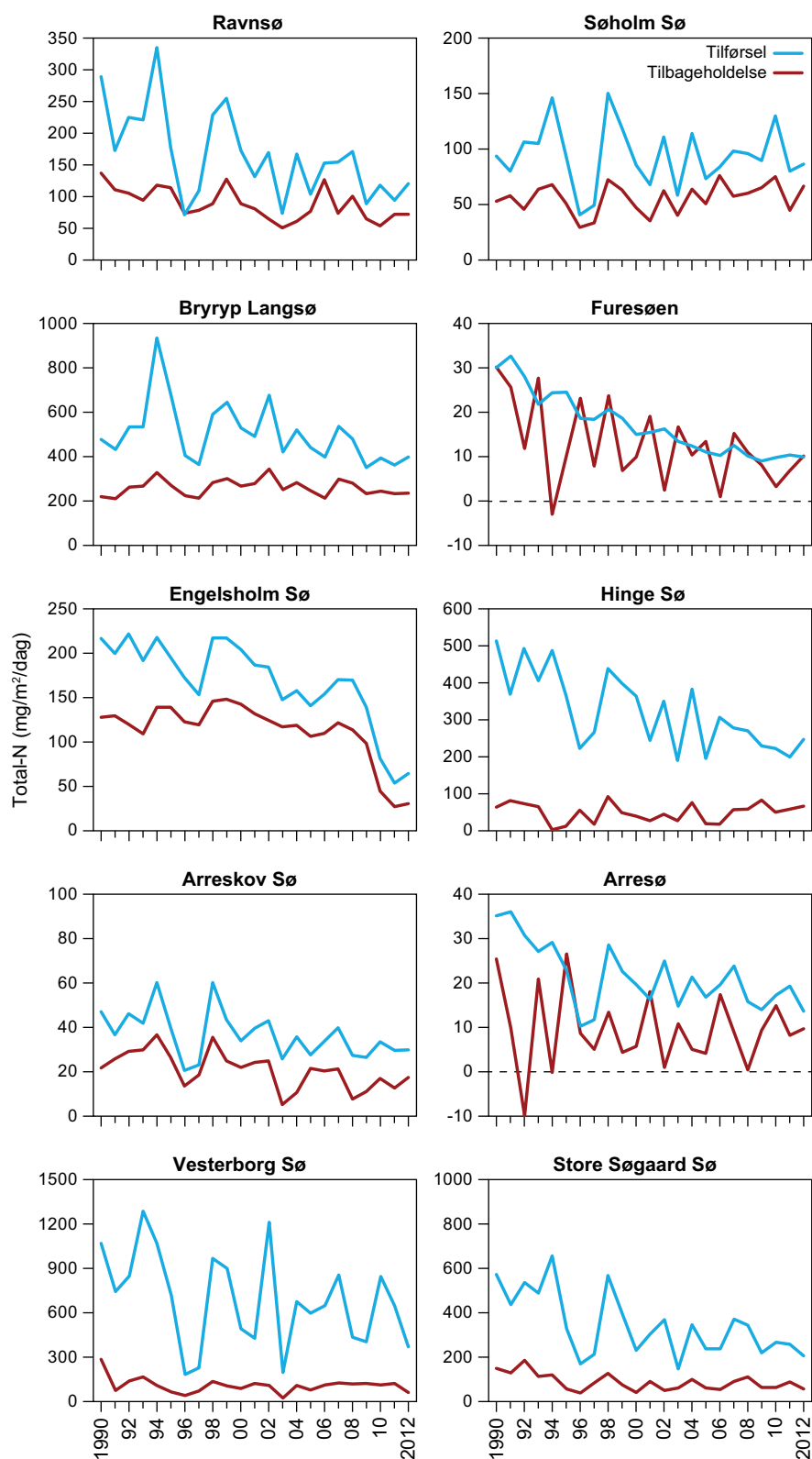
Den absolutte kvælstoftilbageholdelse er gennemsnitligt set ca. 20 % lavere i de senere år (2007-2011) sammenlignet med niveauet i den første del af overvågningsperioden (1990-1994) (Tabel 3.23), hvilket sandsynligvis hænger sammen med en betydelig reduktion af tilførslen. Tilbageholdelsen i 2012 ligger, modsat fosfor, lidt lavere end for den foregående periode. I alt fem af de 10 søer viser et signifikant fald i absolut kvælstoftilbageholdelse (Tabel 3.24). Derimod ses generelt ikke de store ændringer i den relative kvælstoftilbageholdelse i undersøgelsesperioden (Figur 3.17D, tabel 3.23), heller ikke i 2012 afviger den gennemsnitlige relative kvælstoftilbageholdelse fra niveauet for overvågningsperioden generelt. Nogle søer udviser dog tendenser (signifikant i fire søer, tabel 3.24) til en forøget kvælstoftilbageholdelse i forhold til tilførslerne (Figur 3.20), hvilket sandsynligvis skyldes ændrede produktionsforhold internt i søerne.

Figur 3.17. Kvælstofudviklingen i de intensivt overvågede søer med massebalancer i perioden 1990 til 2012, (n=10).

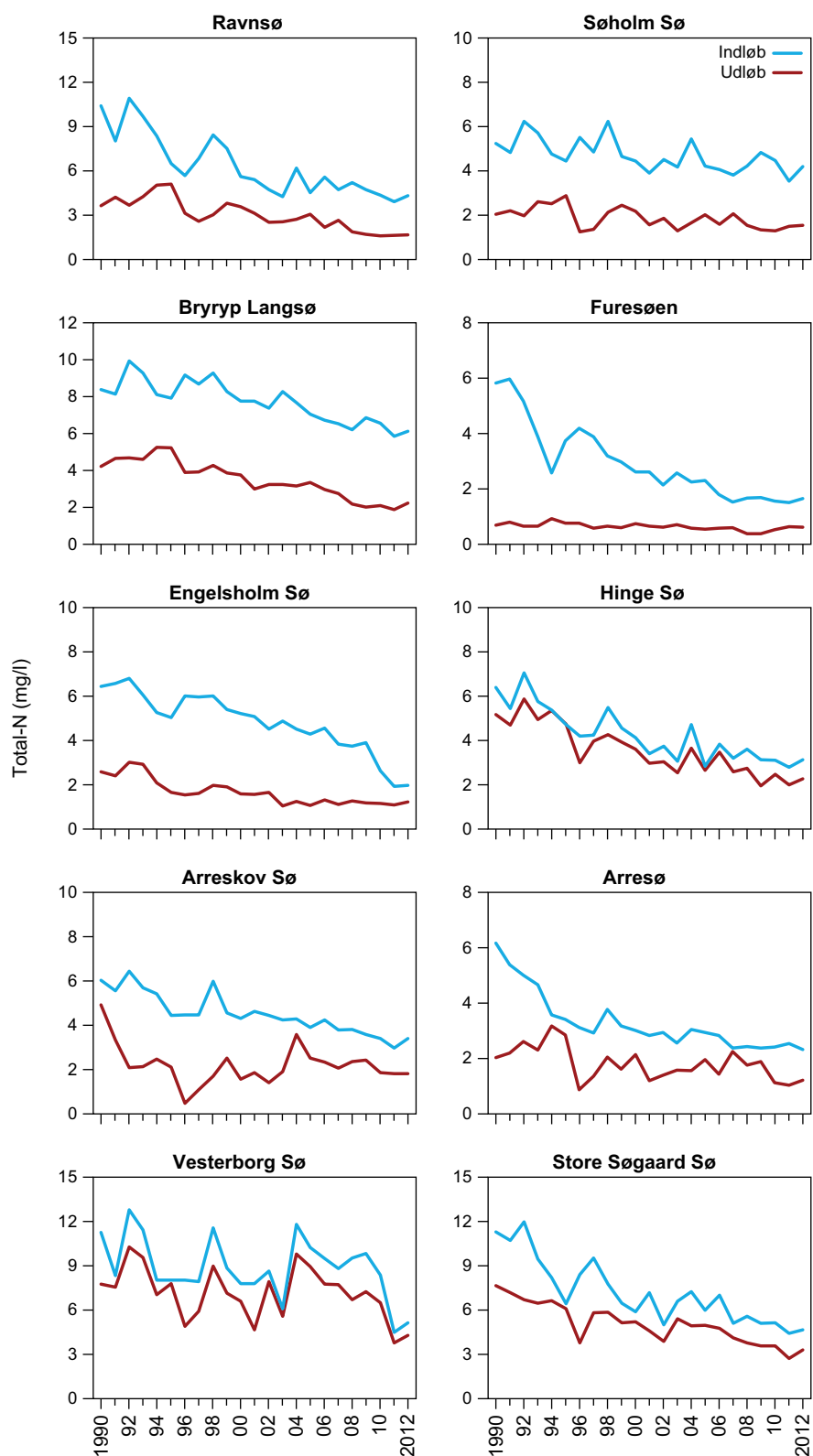
A: Total kvælstoftilførsel ($\text{mg N/m}^2/\text{dag}^{-1}$), B: Vandføringsvægtet koncentration af totalkvælstof (mg N/l) i tilført vand, C: Kvælstoftilbageholdelsen ($\text{mg N/m}^2/\text{dag}$), D: Kvælstoftilbageholdelse i % af tilførslen. Bjælkerne viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne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



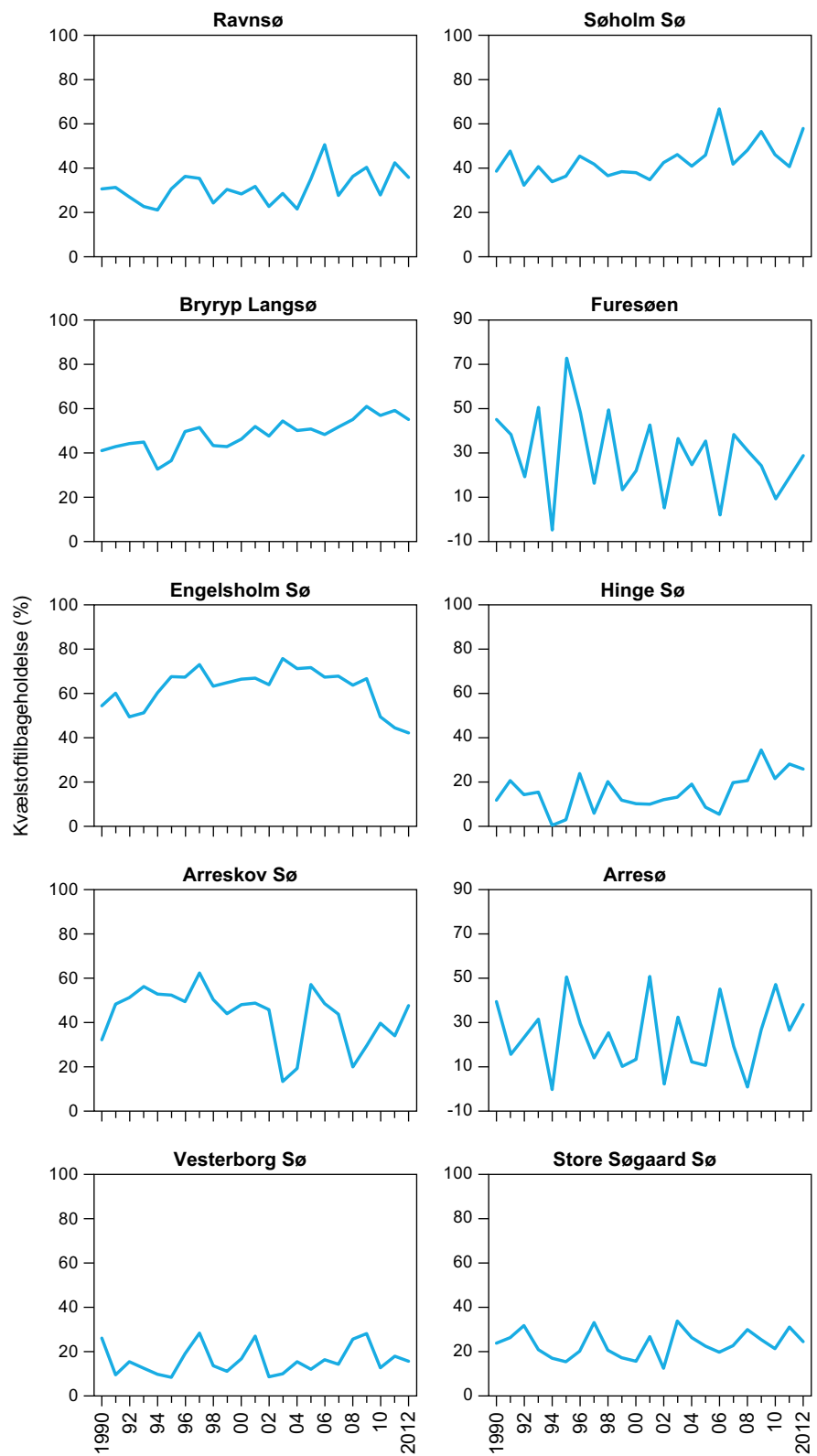
Figur 3.18. Udvikling i tilførsel og tilbageholdelse af totalkvælstof (Total-N) i hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer.



Figur 3.19. Udvikling i den vandførvingsvægtede koncentrationen af totalkvælstof (Total-N) i tilført vand samt i afløb til hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer.



Figur 3.20. Udvikling i tilbageholdelsen af totalkvælstof (%) i hver af de 10 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer.



Tabel 3.23. Absolut (Total-N ret. (mg N/m²/dag)) og relativ (Total-N ret. (% af tilførsel)) retention af totalkvælstof i de 10 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes udvikling, hvor der er beregnet stofbalancer med angivelse af gennemsnit, median, minima, maksima samt 25 %- og 75 %-fraktiler for perioderne 1990-1994, 1995-2000, 2001-2006 og 2007-2011 samt 2012. Årsværdier.

		Gns.	Min.	25 %	Median	75 %	Max.
Total-N ret.	1990-94	95	9	29	85	138	256
(mg N/m ² /dag)	1995-00	78	11	23	59	95	258
	2001-06	75	9	18	61	89	268
	2007-11	76	8	14	67	82	256
	2012	62	10	17	58	66	235
Total-N ret.	1990-94	31	13	15	28	41	55
(% af tilførsel)	1995-00	34	13	20	34	45	67
	2001-06	34	11	24	29	47	70
	2007-11	35	20	24	30	47	58
	2012	37	16	26	37	48	59

Tabel 3.24. Udviklingen i overvågningssøernes stofbalancer for totalkvælstof fra 1990 til 2012. -/+, -/++, -/+ +, -/+ + + 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 (%).

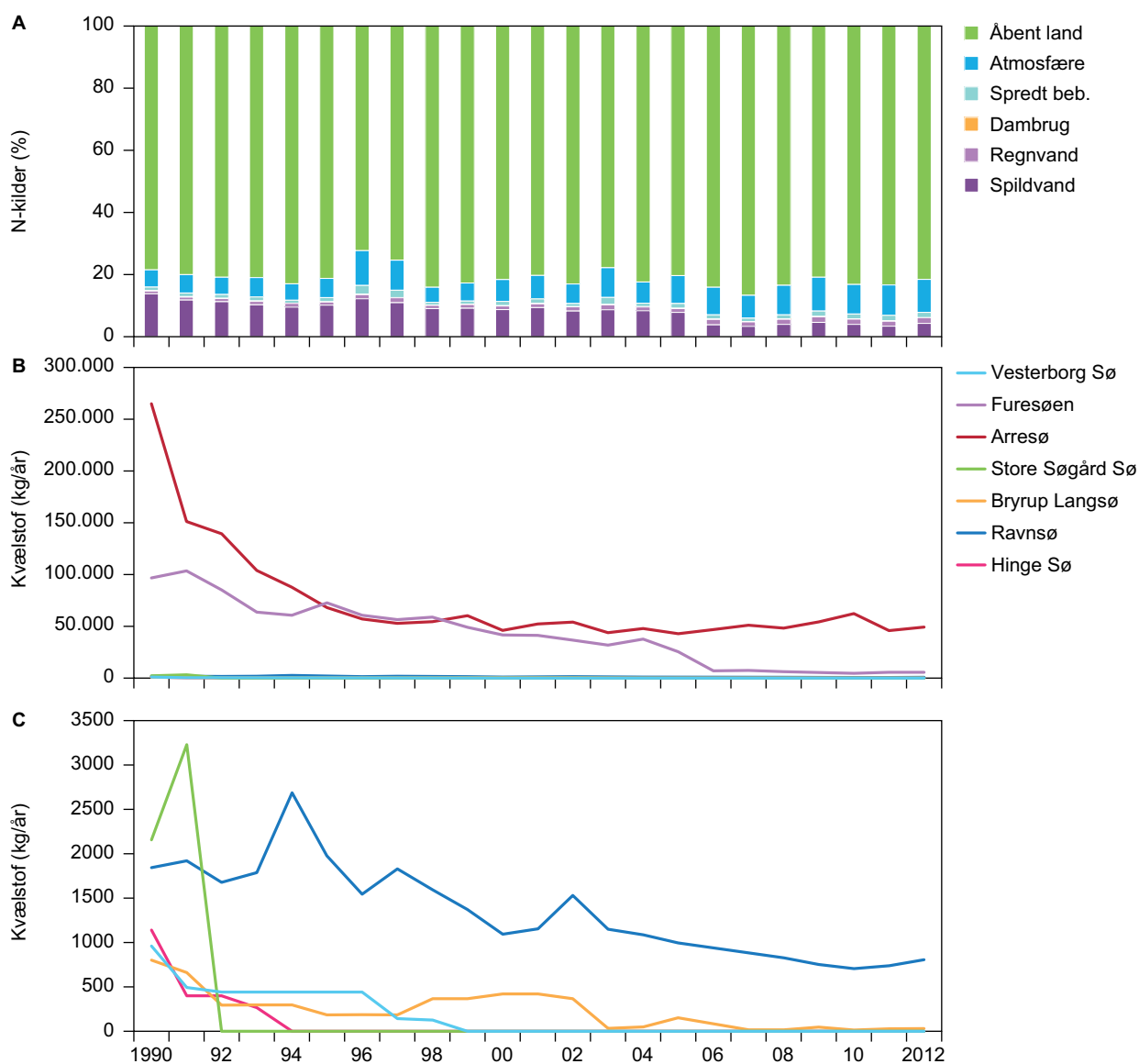
	Ni	Nu	Ntilm2	Nretm2	Nret(%)
Hinge Sø	----	----	----	0	++
Ravn Sø	----	----	---	---	++
Bryrup Langsø	----	----	--	0	++++
Engelsholm Sø	----	----	----	----	0
St. Søgård Sø	----	----	---	--	0
Arreskov Sø	----	0	--	---	-
Søholm Sø	---	---	0	0	+++
Arresø	----	--	---	0	0
Furesøen	----	---	----	--	0
Vesterborg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

3.8.5 Kvælstofkilder

Kvælstofbelastningen fra det åbne land (primært landbrugsbidrag, men også baggrund) udgjorde i 2012 ca. 80 % af den totale tilførsel (Tabel 3.25) 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 3.21A). Det atmosfæriske bidrag er den næststørste kilde med en gennemsnitlig andel på 6-11 % i perioden 1990-2012. 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 (figur 3.21B). Dermed er den gennemsnitlige spildevandsbelastning for de 10 søer halveret fra ca. 11 til ca. 4 % i overvågningsperioden siden 1990 i de 10 søer (tabel 3.25).

Tabel 3.25. Den procentuelle kildefordeling for kvælstoftilførslen i de 10 intensivt overvågede søer med stofbalancer fra 1990 til 2012, opdelt i tre perioder samt for året 2012. Fordelingen er beregnet som gennemsnit af årsværdier for de enkelte søers procentfordeling.

	Spilde- vand	Regn- vand	Spredt bebyg.	Dam- brug	Atmos- fære	Åbent land
1990-94	11,3	1,0	1,2	0,1	5,7	80,7
1995-00	10,0	1,2	1,6	0,1	7,5	79,6
2001-06	7,7	1,4	1,5	0,1	8,0	81,3
2007-11	3,8	1,6	1,5	0,1	9,4	83,5
2012	4,3	1,8	1,7	0,0	10,6	81,6



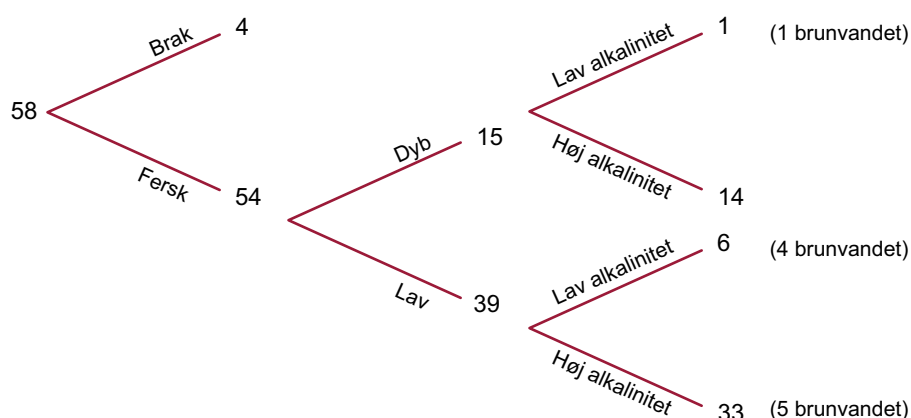
Figur 3.21. A. Den procentuelle kildefordeling for kvælstoftilførslen til 10 af overvågningssøerne med stoftilførselsmålinger i perioden 1990-2012. B Det aktuelle bidrag spildevandsbidrag af kvælstof fra rensningsanlæg i overvågningssøerne (der er intet bidrag til Engelsholm Sø, Søholm Sø og Arreskov Sø). C Som graf B med forstørret akseenhed.

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 58 søer, der er undersøgt i 2011 og 2012 (den nuværende NOVANA-periodes første år) samt et overordnet overblik over udviklingstendensen i disse søer sammenlignet med den forrige NOVANA-periode (2004-2009). Dette er muligt, da de 150 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes tilstand, 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 2). De undersøgte søer i 2011 og 2012 repræsenterer flere forskellige søtyper, herunder brakvandssøer (Figur 4.1). Der er nu undersøgt godt en tredjedel af de 150 søer, der indgår i kontrolovervågning af søernes tilstand, hvilket gør det muligt at give et forsigtigt bud på tilstand og udviklingstendens for enkelte af søtyperne. Dog må det pointeres at de 58 søer ikke nødvendigvis 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 indgår i kontrolovervågningen for tilstand i 2011 og 2012, i søtyper baseret på salinitet ($>0.5\text{‰}$), middeldybde ($>3\text{ m}$), alkalinitet ($>0.2\text{ meq/l}$) og farvetal ($>60\text{ mg Pt/l}$).



4.1 Generel tilstand

De 58 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, lavvand, alkalisk og ingen humusstoffer af nævneværdig grad (udtrykt ved farvetal). Tabel 4.1 giver den samlede oversigt over de morfometriske parametre, sigtdybde samt fire vandkemiske nøgleparametre for de 58 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 58 søer som er undersøgt i 2011 og 2012. *Flyndersø er repræsenteret med to bassiner separat for kemiske parametre.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Oplandsareal (km ²)	40,6	5,0	0,0	945,0	46
Søareal (ha)	69,5	19	4,8	763	56
Middeldybde (m)	2,6	1,9	0,4	13,1	56
Maksimumsdybde (m)	5,4	3,2	0,6	31,0	52
Totalfosfor (mg P/l)	0,100	0,064	0,016	0,471	59*
Totalkvælstof (mg N/l)	0,99	0,89	0,41	3,08	59*
Sigtdybde (m)	1,4	1,1	0,3	4,8	58
Klorofyl a (µg/l)	47	37	3	276	59*
Farvetal (mg Pt/l)	36	26	6	127	59*

Søernes areal spænder fra en nedre arealgrænse på 5 ha op til 763 ha. Størstedelen er lavvandede søer (median for middeldybde er 1,9 meter og gennemsnittet 2,6 meter), men også dybe søer med en maksimaldybde på op til 31 meter forekommer. Søerne ligger generelt i den mere næringsrige kategori med en median på 0,06 mg P/l og et gennemsnit på 0,10 mg P/l. Dog forekommer der også enkelte rene søer med fosforsommergennemnit under 0,02 mg P/l.

Tabel 4.2. Oversigt over kemiske og biologiske data fra de 58 søer (sommerværdier) fordelt på fire søtyper og som er undersøgt i 2011 og 2012. Hvis der er data for både 2011 og 2012 indgår søen med et gennemsnit for de 2 år. Flyndersø er repræsenteret med to bassiner separat. ¹⁾gedde+aborre+sandart>10 cm, ²⁾skalle+rudskalle+brasen+hybrider

Lavvandet, høj alkalinitet	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,4	1,3	0,4	2,5	31
Maksimumsdybde (m)	2,8	2,0	0,6	10,1	30
Totalfosfor (mg P/l)	0,121	0,086	0,018	0,471	33
Totalkvælstof (mg N/l)	1,06	0,99	0,48	2,22	33
Sigtdybde (m)	1,04	0,99	0,34	2,37	32
Klorofyl a (µg/l)	54,4	39,6	3,5	276,4	33
Alkalinitet (meq/l)	2,29	2,34	0,23	5,30	33
pH	8	8	7	10	31
Farvetal (mg Pt/l)	37	31	11	106	33
Suspenderet stof (mg/l)	18	13	2	88	33
Konduktivitet (mS/m)	90	48	11	752	31
Total planteplankton biomasse (mm ³ /l)	13,0	7,4	0,4	152,6	33
Blågrønalger (mm ³ /l)	7,6	1,0	0,0	114,9	33
Grønalger (mm ³ /l)	2,3	0,4	0,0	33,5	33
Kiselalger (mm ³ /l)	1,0	0,2	0,0	8,3	33
Rekylalger (mm ³ /l)	0,5	0,2	0,0	3,2	33
Furealger (mm ³ /l)	0,7	0,0	0,0	13,3	33
Gulalger (mm ³ /l)	0,1	0,0	0,0	0,9	33
Relativt plantedækket areal (%)	20,8	8,1	0,0	80,1	31
Relativt plantedækket volumen (%)	9,9	4,1	0,0	62,3	31
Antal arter af undervandsplanter	10	9	1	29	30
Plantedybdegrænse (m)	1,8	1,7	0,3	5,3	30

Fisk CPUE (antal/net)	141	122	0,3	399	30
Fisk CPUE biomasse (kg/net)	4,6	4,8	0,4	10,6	30
Andel af rovfisk ¹⁾ antal (%)	15	12	0	57	30
Andel af rovfisk ¹⁾ biomasse (%)	32	29	0	82	30
Andel af karpefisk ²⁾ antal (%)	49	53	0	98	30
Andel af karpefisk ²⁾ biomasse (%)	45	50	0	79	30
Dyb, høj alkalinitet	Gns,	Median	Min,	Maks,	Antal søer
Middeldybde (m)	5,7	4,5	3,6	13,1	14
Maksimumsdybde (m)	12,7	11,1	5,0	31,0	13
Totalfosfor (mg P/l)	0,081	0,060	0,016	0,208	15
Totalkvælstof (mg N/l)	0,80	0,75	0,41	1,38	15
Sigtdybde (m)	2,29	1,78	0,60	4,80	15
Klorofyl a (µg/l)	39,7	38,9	5,3	128,3	15
Alkalinitet (meq/l)	2,32	2,47	0,29	4,65	15
pH	8	8	7	9	13
Farvetal (mg Pt/l)	20	17	6	51	15
Suspenderet stof (mg/l)	8	7	2	19	15
Konduktivitet (mS/m)	42	43	12	67	13
Total planteplankton biomasse (mm ³ /l)	19,2	8,6	1,4	85,6	14
Blågrønalger (mm ³ /l)	7,7	3,0	0,0	27,1	14
Grønalger (mm ³ /l)	0,3	0,1	0,0	2,0	14
Kiselalger (mm ³ /l)	0,7	0,5	0,1	3,2	14
Rekylalger (mm ³ /l)	0,4	0,2	0,0	0,9	14
Furealger (mm ³ /l)	9,0	0,3	0,0	81,5	14
Gulalger (mm ³ /l)	0,1	0,0	0,0	0,4	14
Relativt plantedækket areal (%)	7,6	1,0	0,0	41,8	15
Relativt plantedækket volumen (%)	1,5	0,1	0,0	16,1	15
Antal arter af undervandsplanter	7	6	1	19	14
Plantedybdegrænse (m)	4,2	3,5	1,7	8,0	14
Fisk CPUE (antal/net)	106	64	16	327	14
Fisk CPUE biomasse (kg/net)	3,4	2,9	0,0	9,2	14
Andel af rovfisk ¹⁾ antal (%)	19	14	4	47	14
Andel af rovfisk ¹⁾ biomasse (%)	37	33	14	68	13
Andel af karpefisk ²⁾ antal (%)	32	33	0	79	14
Andel af karpefisk ²⁾ biomasse (%)	53	59	20	78	13
Lavvandet + dyb, lav alkalinitet	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,7	1,2	0,9	4,8	6
Maksimumsdybde (m)	3,8	2,4	1,9	11,0	6
Totalfosfor (mg P/l)	0,050	0,031	0,022	0,150	7
Totalkvælstof (mg N/l)	0,65	0,65	0,46	0,85	7
Sigtdybde (m)	1,22	1,21	0,76	1,66	7
Klorofyl a (µg/l)	18,4	11,6	5,9	51,0	7
Alkalinitet (meq/l)	0,06	0,04	-0,05	0,19	7
pH	6	6	4	7	7
Farvetal (mg Pt/l)	76	76	25	127	7
Suspenderet stof (mg/l)	6	4	3	14	7
Konduktivitet (mS/m)	13	12	7	22	7
Total planteplankton biomasse (mm ³ /l)	1,8	1,3	0,4	4,1	6
Blågrønalger (mm ³ /l)	0,4	0,0	0,0	2,3	6
Grønalger (mm ³ /l)	0,3	0,3	0,0	1,0	6
Kiselalger (mm ³ /l)	0,0	0,0	0,0	0,2	6
Rekylalger (mm ³ /l)	0,2	0,0	0,0	1,3	6
Furealger (mm ³ /l)	0,0	0,0	0,0	0,1	6
Gulalger (mm ³ /l)	0,1	0,0	0,0	0,7	6

Relativt plantedækket areal (%)	19,7	16,1	1,6	54,9	5
Relativt plantedækket volumen (%)	3,3	1,1	0,0	12,0	5
Antal arter af undervandsplanter	7	7	1	14	5
Plantedybdegrænse (m)	2,3	1,8	1,3	4,5	5
Fisk CPUE (antal/net)	32	27	11	74	5
Fisk CPUE biomasse (kg/net)	2,4	2,8	1,1	3,8	5
Andel af rovfisk ¹⁾ antal (%)	60	74	4	98	5
Andel af rovfisk ¹⁾ biomasse (%)	63	88	12	100	5
Andel af karpefisk ²⁾ antal (%)	23	1	0	71	5
Andel af karpefisk ²⁾ biomasse (%)	34	2	0	86	5
Brakvandssøer	Gns,	Median	Min,	Maks,	Antal søer
Middeldybde (m)	2,1	2,0	0,6	3,7	4
Maksimumsdybde (m)	3,0	4,0	0,8	4,1	3
Totalfosfor (mg P/l)	0,085	0,062	0,049	0,165	4
Totalkvælstof (mg N/l)	1,69	1,37	0,93	3,08	4
Sigtdybde (m)	0,95	0,95	0,54	1,34	4
Klorofyl <i>a</i> (µg/l)	70,1	54,2	28,3	143,7	4
Alkalinitet (meq/l)	3,05	2,93	2,39	3,96	4
pH	9	9	8	9	4
Farvetal (mg Pt/l)	22	23	16	25	4
Suspenderet stof (mg/l)	21	22	9	31	4
Konduktivitet (mS/m)	783	750	371	1259	4
Salinitet (‰)	4,6	4,2	1,9	8,3	4
Total planteplankton biomasse (mm ³ /l)	10,8	10,9	8,6	12,8	4
Blågrønalger (mm ³ /l)	5,1	5,1	0,0	10,3	4
Grønalger (mm ³ /l)	0,8	0,2	0,1	2,5	4
Kiselalger (mm ³ /l)	0,4	0,3	0,0	0,7	4
Rekylalger (mm ³ /l)	0,1	0,1	0,0	0,3	4
Furealger (mm ³ /l)	3,1	0,3	0,0	11,7	4
Gulalger (mm ³ /l)	0,0	0,0	0,0	0,0	4
Relativt plantedækket areal (%)	3,0	0,8	0,0	10,2	4
Relativt plantedækket volumen (%)	0,4	0,1	0,0	1,2	4
Antal arter af undervandsplanter	6	6	6	6	2
Plantedybdegrænse (m)	2,3	2,3	2,0	2,5	2
Fisk CPUE (antal/net)	80	66	14	160	3
Fisk CPUE biomasse (kg/net)	3,3	4,9	0,0	5,1	3
Andel af rovfisk ¹⁾ antal (%)	5	4	0	11	3
Andel af rovfisk ¹⁾ biomasse (%)	14	10	0	30	3
Andel af karpefisk ²⁾ antal (%)	35	26	0	80	3
Andel af karpefisk ²⁾ biomasse (%)	48	57	0	87	3

De lavvandede høj-alkaline søer er generelt næringsrige (totalfosfor på ca. 0,1 mg/l (sommermedian)), med højt klorofyl *a* indhold og lav sigtdybde. Planteplanktonet er biomasse-mæssigt domineret af blågrønalger og grøn-alger og dækningsgraden af undervandsplanter er lav (median på 8 %). Der er en betydelig fiskebestand, som er domineret af karpefisk (ca. 50 % både biomasse- og antalsmæssigt) (tabel 4.2). De dybere høj-alkaline søer er generelt mindre næringsrige end de lavvandede (hhv. 30 % og 24 % lavere for total fosfor og kvælstof (sommermedianer)), mens sigtdybden er tilsvarende højere (80 % for sommermedianen). Derimod er det generelle klorofyl *a* niveau ikke nævneværdigt forskelligt, om end højere maksimumværdier ses i de lavvandede søer. Til gengæld er det generelle farvetal og den generelle mængde suspenderet stof omtrent dobbelt så stor i de lavvandede søer (hhv. 82 og 85 % højere for sommermedianen), hvilket afspejles i sigtdybden.

De dybe høj-alkaliske søer er biomassemæssigt domineret af blågrønalger og kiselalger (tabel 4.2), mens de største relative andele af planteplanktonbiomassen generelt udgøres af blågrønalger og de fakultativt eutrofe furealger, der til tider kan opnå meget høje biomasser. Undervandsvegetationen er meget begrænset (median på 1 % plantedækket areal) og lavere end for de lavvandede søer trods den højere sigtdybde, hvis positive effekt dog afspejles i dybdegrænse for undervandsplanterne, som har en median på 3,5 m. Antallet af undervandsplantearter (median på seks arter) er generelt lavt i de dybe søer og lidt højere i de lavvandede. Forskellen i antallet af søer, der er repræsenteret i de to grupper (hhv. 33 lavvandede og 15 dybe søer) kan dog spille ind her, hvilket også gælder for de øvrige parametre. Fiskebestanden i de dybere høj-alkaliske søer er generelt lavere end i de lavvandede søer (hhv. 48 og 40 % for antal og biomasse). Andelen af større rovfisk ligger på omtrent samme niveau for både biomasse og antal (tabel 4.2), dog lidt højere i de dybe søer. Antalsmæssigt er andelen af karpefisk højere i de lavvandede søer, mens andelen biomassemæssigt er lavere end i de dybe søer. Dette indikerer, at der generelt er færre, men større karpefisk i de dybere søer og dermed en bedre kontrol af karpefiskene. Igen må forskellen i antallet af søer mellem de to grupper dog tages in mente.

Figur 4.2. Geografisk placering af søer, der indgår i kontrol- og overvågningen for tilstand i 2011 og 2012.



På nuværende tidspunkt kan der ikke gives en generel status for tilstanden i de lav-alkaline og brakke søer, da der indtil nu kun er undersøgt hhv. syv og fire søer, der repræsenterer disse typer. Det er dog valgt at præsentere samt give en kort foreløbig status for resultaterne af tilstandsundersøgelserne i disse søer. De syv lav-alkaline søer inkluderer både lavvandede og dybe søer. De har lav pH og er overvejende næringsfattige, men har ofte en relativ

lav sigtddybde forårsaget af deres høje humus-indhold (middelfarvetal på 76 mg Pt/l) (tabel 4.2). Den biologiske produktion er generelt lav, dog med undtagelse af undervandsplanterne, der for tre ud af fem søer har en dækningsgrad på mere end 15 %. Fiskebestanden er lav og for tre ud af fem søer udelukkende domineret af rovfisk (> 75 % både antal- og biomasse-mæssigt). Tre ud af fire brakvandssøer er middel-næringsrige (tre søer < 65 mg P/l), med sigtddybde på omkring 1 m. Planktonbiomassen er relativt høj og den dominerede fytoplanktongruppe varierer mellem søerne. Fiskebestanden er relativt høj og domineret af hundestejle eller karpefisk. Undervandsvegetationens plantedække er fraværende eller under 2 % i tre af de fire søer.

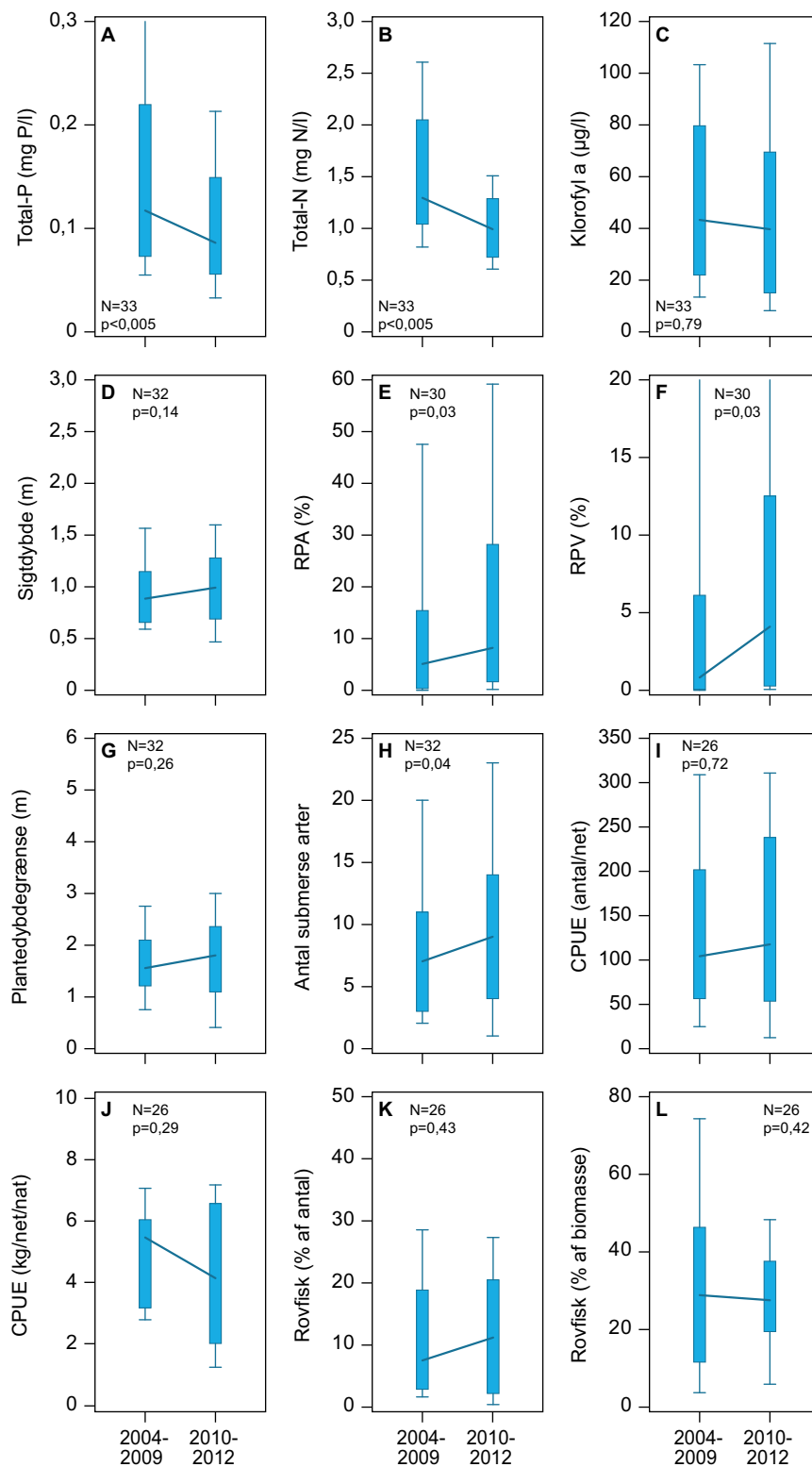
4.2 Udviklingstendenser

Søer, der siden 2009 er blevet undersøgt med henblik på tilstandsvurdering er derudover typisk undersøgt to gange i perioden 2004-2009 for de kemiske parametre samt undervandsplanter, mens fiskebestanden er undersøgt én gang i perioden 2004-2009. Planteplankton er undersøgt for et fåtal af søer i den tidligere NOVANA-periode. På nuværende tidspunkt i overvågningsperioden er der i alt 33 søer af den hyppigste søtype: lavvandede, lav-alkaline søer, der også er undersøgt i perioden 2004-2009. I dette afsnit sammenlignes resultaterne fra den seneste undersøgelse i 2004-2009 med dem fra den seneste periode (2010-2012) for disse søer. Der ses generelt en tendens til faldende næringsstofniveau (Figur 4.3, A og B), idet medianen for totalfosfor er faldet signifikant fra 0,12 til 0,09 mg P/l (svarende til et fald på 26 %) og medianen for total kvælstof er faldet fra 1,3 til 1,0 mg N/l (svarende til et fald på 24 %). Tendensen er et generelt fald i alle søer, idet også 10, 25, 75 og 90 procent fraktilerne er faldet. Tilsvarende ses der et begrænset fald i klorofyl *a* koncentrationen og en lille stigning i sigtddybden fra perioden 2004-2009 til den seneste periode. Tilsvarende ses en lille, men signifikant stigning i undervandsvegetationen for alle parametre (dog ikke signifikant for dybdegrænsen), specielt i de mest vegetationsrige søer (75 % fraktilen), men generelt er forekomsten ikke høj. Generelt er fiskeforekomsten steget en smule antalsmæssigt, men faldet biomasse-mæssigt, hvilket indikerer flere men mindre individer, dette er dog ikke signifikant. Samme mønster gør sig gældende for procentandelen af rovfisk over 10 cm. Her er tendensen for det relative antal af rovfisk et fald i søer med høje andele (75 % fraktilen), men en stigning i søer med lave andele (25 % fraktilen) (figur 4.3).

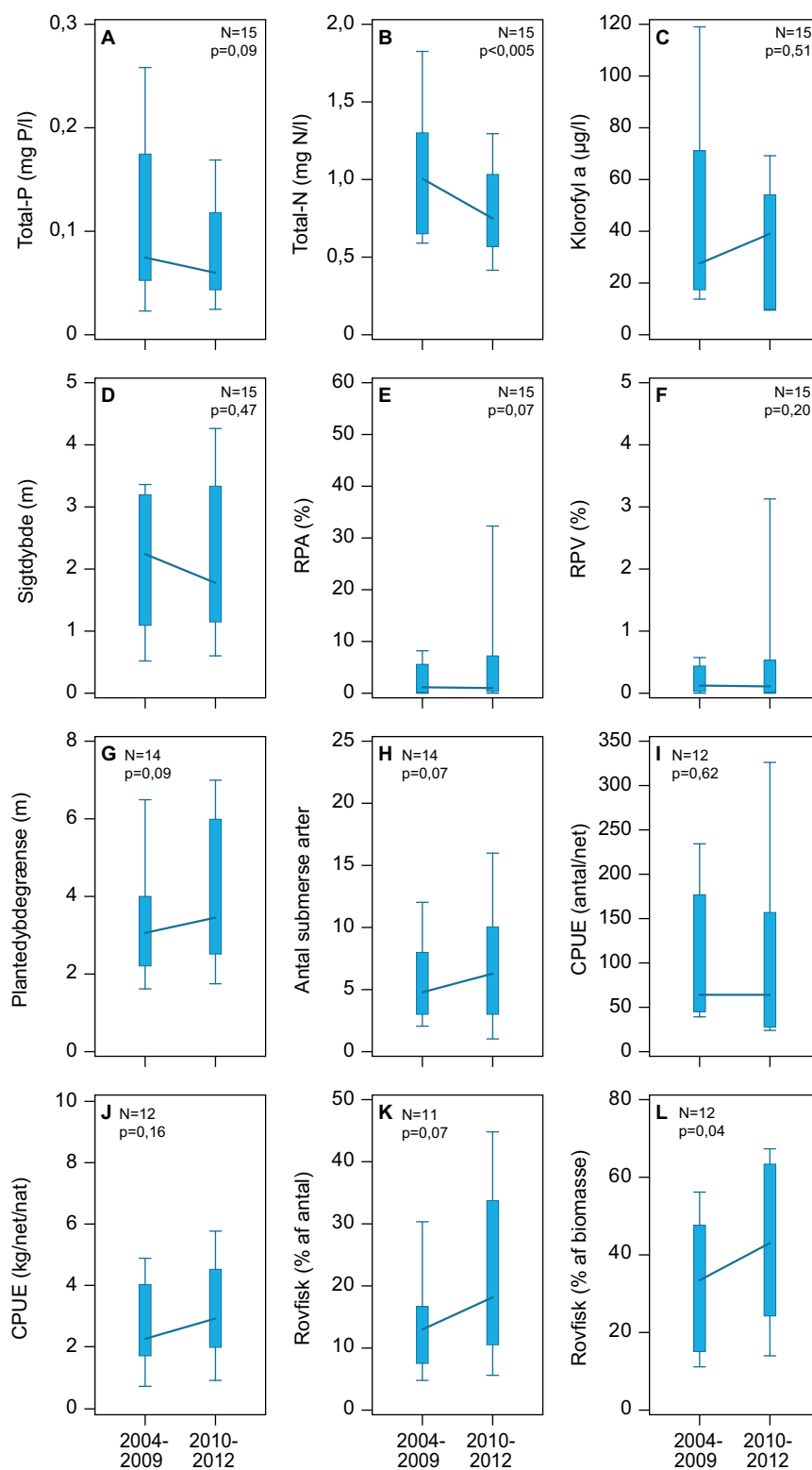
Tendensen for de dybe høj-alkaline søer, hvor det er muligt at sammenligne mellem perioden 2004-2009 og perioden 2010-2012 (15 søer), viser som for de lavvandede søer en signifikant reduktion i total kvælstof og marginalt signifikant for total fosfor (hhv. en reduktion fra 1,0 til 0,8 mg N/l og 0,07 til 0,06 mg P/l). Dette afspejles dog ikke i medianen for klorofyl *a* koncentrationen, der er steget og tilsvarende viser sigtddybden en faldende tendens. Til gengæld ses et markant fald i de høje fraktiler for klorofyl *a*, ligesom der også er observeret højere sigtddybder i den seneste periode. Ingen af disse ændringer er dog signifikante (Figur 4.4). Undervandsvegetationen er begrænset (median på 1 % relativt plantedække i 2010-2012) og stort set uændret mellem de 2 perioder, dog med en stigende tendens i dybdegrænsen og antallet af arter. Den totale fiskeforekomst viser ingen signifikante ændringer, men den totale biomasse viser en stigende tendens. Derimod er der en signifikant tendens til flere rovfisk, relativt, både i antal og vægt (sidstnævnte marginalt signifikant). De signifikante tendenser er kun vejledende, idet kun 15 søer indgår i analysen.

Figur 4.3. Udviklingstendenser fra perioden 2004-2009 til 2010-2012 i kemiske (sommern gennemsnit) og biologiske parametre i de 33 lavvandede høj-alkaline søer, der indgår i kontrolovervågning af tilstand i 2010-2012.

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 (m), H: Antal undervandsplantearter, I: Antal af fisk (CPUE antal/net/nat), J: Biomasse af fisk (CPUE kg/net/nat), K: Andel af rovfisk (gedde + aborre større end 10 cm) (% af antal), L: Andel af rovfisk (gedde + aborre større end 10 cm) (% af 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 4.4. Udviklingstendenser fra perioden 2004-2009 til 2010-2012 i kemiske (sommergennemsnit) og biologiske parametre i de 15 dybe høj-alkaline søer, der indgår i kontrolovervågning af tilstand i 2010-2012 (Flyndersø indgår med 2 bassiner separat). 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 (m), H: Antal undervandsplantearter, I: Antal af fisk (CPUE antal/net/nat), J: Biomasse af fisk (CPUE kg/net/nat), K: Andel af rovfisk (gedde + aborre større end 10 cm) (%), antal), L: Andel af rovfisk (gedde + aborre større end 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.



5 Betydningen af kvælstof for søers tilstand

5.1 Introduktion

Tilførsel og indhold af næringsstoffer kan have afgørende betydning for vandkvaliteten i søer. Traditionelt har fosfor været betragtet som det vigtigste næringsstof, fordi det oftest er begrænsende for planteplanktonets produktion og dermed afgørende for vandets klarhed og en række biologiske variable. Der er da også mange eksempler på, at vigtige biologiske variable kan relateres ret tæt til fosforkoncentrationen (se f.eks. Schindler, 1977; Jeppesen et al., 1997; Jensen et al., 1997), herunder klorofyl *a*. Empiriske sammenhænge mellem klorofyl *a* og totalfosfor har blandt andet været benyttet i det første hold vandplaner til at definere indsatsbehovet for at kunne opfylde Vandrammedirektivets krav om mindst en god økologisk tilstand (se f.eks. Søndergaard et al., 2012).

Kvælstof kan dog også have en betydelig effekt på søers tilstand og også være begrænsende for primærproduktionen. I litteraturen angives der lidt forskellige kvælstof-fosfor ratioer (N:P) for hvornår henholdsvis kvælstof eller fosfor er potentielt begrænsende. Guildford et al. (2000) angiver kvælstofbegrænsning ved $N:P < 20$ for totalfosfor og totalkvælstof (molbasis, svarende til 9 på vægtbasis) og fosforbegrænsning ved $TN:TP > 50$ (molbasis, svarende til 23 på vægtbasis), mens Abell et al. (2010) anser søer med en ratio på under 7 (vægtbasis), som potentiel kvælstofbegrænset og over 15 (vægtbasis), som potential fosforbegrænset. Det har været fremført at kvælstoffikserende blågrønalger kan blive mere dominerende ved lavt N:P-forhold (Smith, 1987), men der er ikke noget, der tyder på at dette er tilfældet i de lavvandede danske søer (Jensen et al., 1994). Derudover kan kvælstof også påvirke undervandsplanternes vækstmuligheder og dermed indirekte vandkvaliteten (James et al., 2005; Gonzales Sagrario et al., 2005; Jeppesen et al., 2007; Barker et al., 2008).

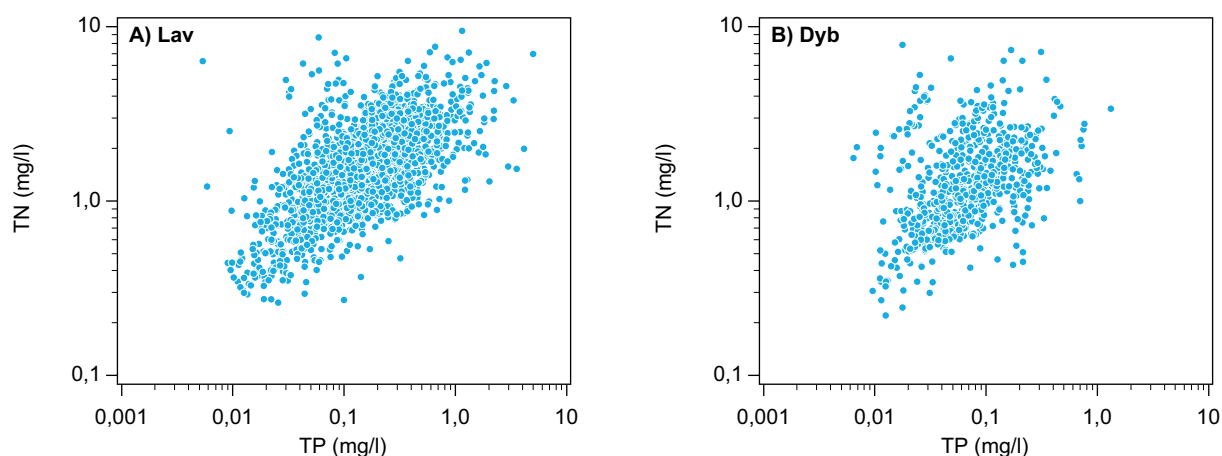
Det er ofte vanskeligt at vurdere hvilket næringsstof, der er vigtigst for den økologiske tilstand i en given sø, fordi kvælstof- og fosfortilførsel ofte følges ad og deres specifikke effekter derfor er svære at adskille. Der kan desuden være tale om skiftende begrænsning fra de to næringsstoffer (Elser et al., 2007). Empiriske analyser er i den sammenhæng mindre brugbare, fordi disse analyser ikke giver klare kausale sammenhænge. Dertil kommer, at samspillet mellem næringsstoftilgængelighed og biologiske forhold kan gå begge veje. Dvs. ændret biologisk struktur, som det eksempelvis er set ved restaureringer af søer ved opfiskning af fredfisk, påvirker næringsstofmængde og -tilbageholdelse i søerne (Jeppesen et al., 1998). Det gør det yderligere vanskeligt at adskille årsag og virkning ud fra empiriske analyser.

I dette kapitel vil vi først anvende de mange overvågningsdata indsamlet siden 1989 til at vurdere, hvornår fosfor og kvælstof kunne tænkes at være begrænsende. Dernæst vil vi støtte analyserne med internationale undersøgelser og eksperimentelle resultater. En mere præcis beskrivelse af hvornår kvælstof og/eller fosfor påvirker søers tilstand vil have stor betydning for søernes forvaltning og i vurderingen af hvilket næringsstof, der med fordel kan søges reguleret for at forbedre vandkvalitet.

5.2 Fosfor og kvælstof i danske søer (TN:TP-forholdet)

TN:TP-forholdet, alle søer

Indholdet af totalkvælstof (TN) og totalfosfor (TP) er som nævnt tæt koblet, og det er gældende for både de dybe og lavvandede danske søer (Figur 5.1). Som median er TN:TP-forholdet (vægtbasis) på 11,4 om sommeren i de lavvandede søer og 17,6 i de dybe søer. Forholdet er dog noget varierende og for de lavvandede søer ligger den midterste halvdel af søerne (25-75 % fraktil) mellem 7,0 og 17,0 og i de dybe søer mellem 11,9 og 28,0. Blandt måledata (søår) for hele overvågningsperioden har 24,5 % af de lavvandede søer og 9,6 % af de dybe søer et TN:TP-forhold under 7 og er dermed potentielt kvælstofbegrænsede. Hvis man kun ser på de sidste fem års data (2008-2012) er de tilsvarende værdier på 31,0 % og 8,4 % for henholdsvis de lavvandede og dybe søer. En forholdsvis stor andel af de lavvandede og væsentligt flere end af de dybe søer er altså potentielt kvælstofbegrænsede.

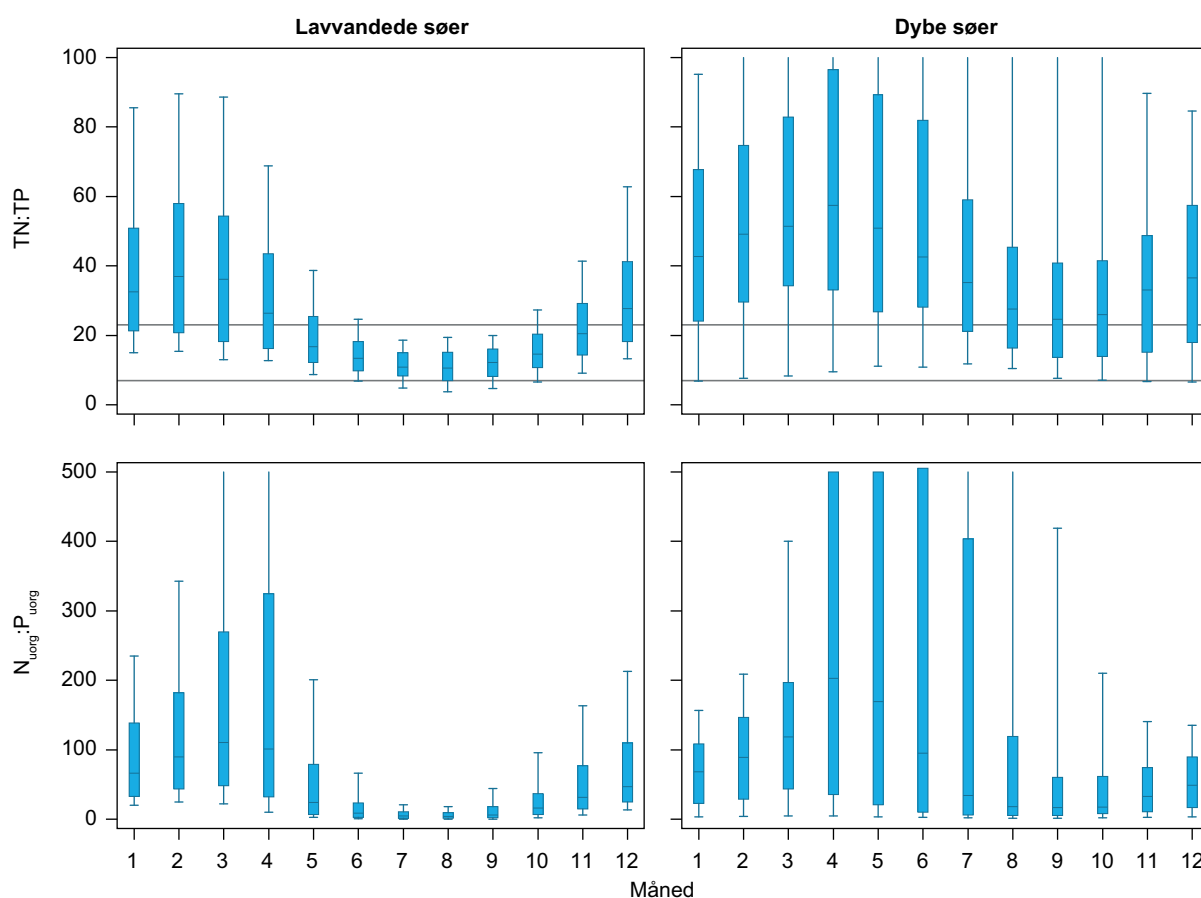


Figur 5.1. TN:TP forholdet (på vægtbasis) i danske søer (sommerrmiddel) i henholdsvis lavvandede (A: antal søer 679, antal søår= 2198) og dybe søer (B: antal søer = 120, antal søår= 743).

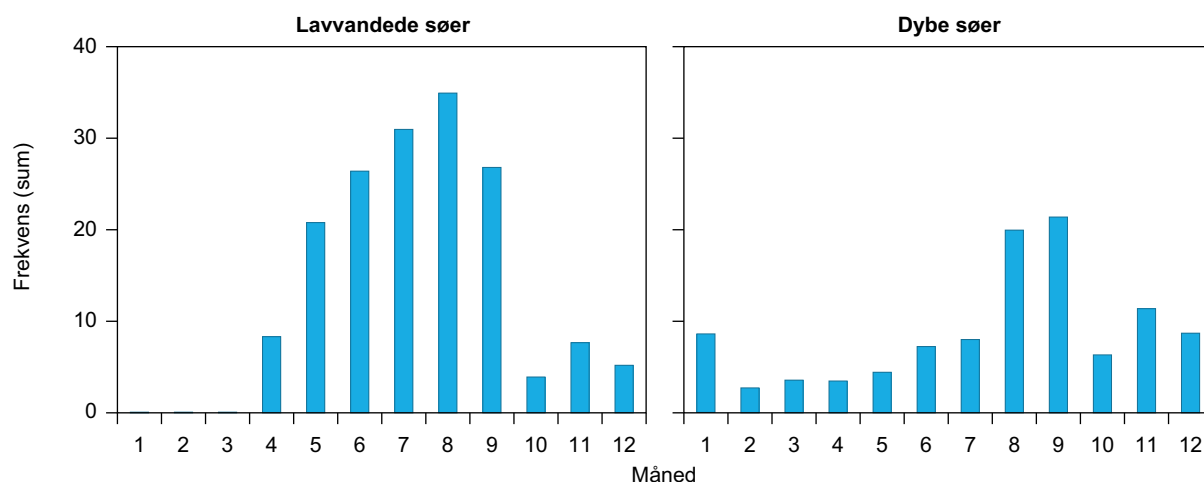
Sæsonmæssig variation i TN:TP-forholdet: søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling

Sæsonmæssigt er der store forskelle i TN:TP-forholdet, og der ses typisk et forløb med højt TN:TP forhold i vinterperioden og lavt i sommerperioden (Figur 5.2). Dette skyldes flere forhold: den eksterne kvælstoftilførsel er størst om vinteren, kvælstoffjernelsen (især denitrifikationen) er størst om sommeren og den interne fosforfrigivelse er størst om sommeren. Sæsonvariationen er mest udpræget i de lavvandede søer. Dette hænger sammen med, at der i dybe søer især sker en ophobning af fosfor i bundvandet om sommeren, som ikke påvirker TN:TP-forholdet i overfaldevandet, hvilket ikke er tilfældet i de fuldt opblandede lavvandede søer. Desuden er denitrifikationen i de dybe søer begrænset af ringere kontakt med sedimentet og bundvandet, hvor processen typisk foregår. For de uorganiske kvælstof- (N_{uorg}) og fosfor- (P_{uorg}) fraktioner er årsvariationen endnu mere udpræget. Årsagen er, at totalkvælstof om sommeren for størstedelens vedkommende består af organisk kvælstof bundet i for eksempel fytoplankton, hvorimod de uorganiske kvælstoffraktioner om sommeren ofte bliver meget lave, fordi de forbruges, ikke mindst i de lavvandede søer. I de lavvandede søer reduceres $N_{uorg}:P_{uorg}$ til lave værdier allerede i maj-juni, hvorimod lave værdier først optræder i august i de dybe søer (Figur 5.2).

På figur 5.2 er indtegnet linjerne for det TN:TP-forhold, hvor der normalt sker et skift mellem kvælstof- og fosforbegrænsning. Som det fremgår, bliver der især i de lavvandede søer et større og større potentiale for kvælstofbegrænsning hen over sommeren. Gennemsnitligt når TN:TP-forholdet i de lavvandede søer et minimum i august og i de dybe søer i september. I august har 35 % (søår) af de lavvandede søer i den sidste fem års periode (2008-2012) haft et TN:TP-forhold under 7 (Figur 5.3). I de to andre sommermåneder, juni og juli ligger andelen på 26-31 %, dvs. en betydelig del af de lavvandede danske søer kan potentielt være kvælstofbegrænsede i en stor del af sommerperioden. I de dybe søer er den højeste værdi 21 % i september og 20 % i august, mens TN:TP-forholdet resten af sommeren kun er under 7 i højst 7 % af tiden.



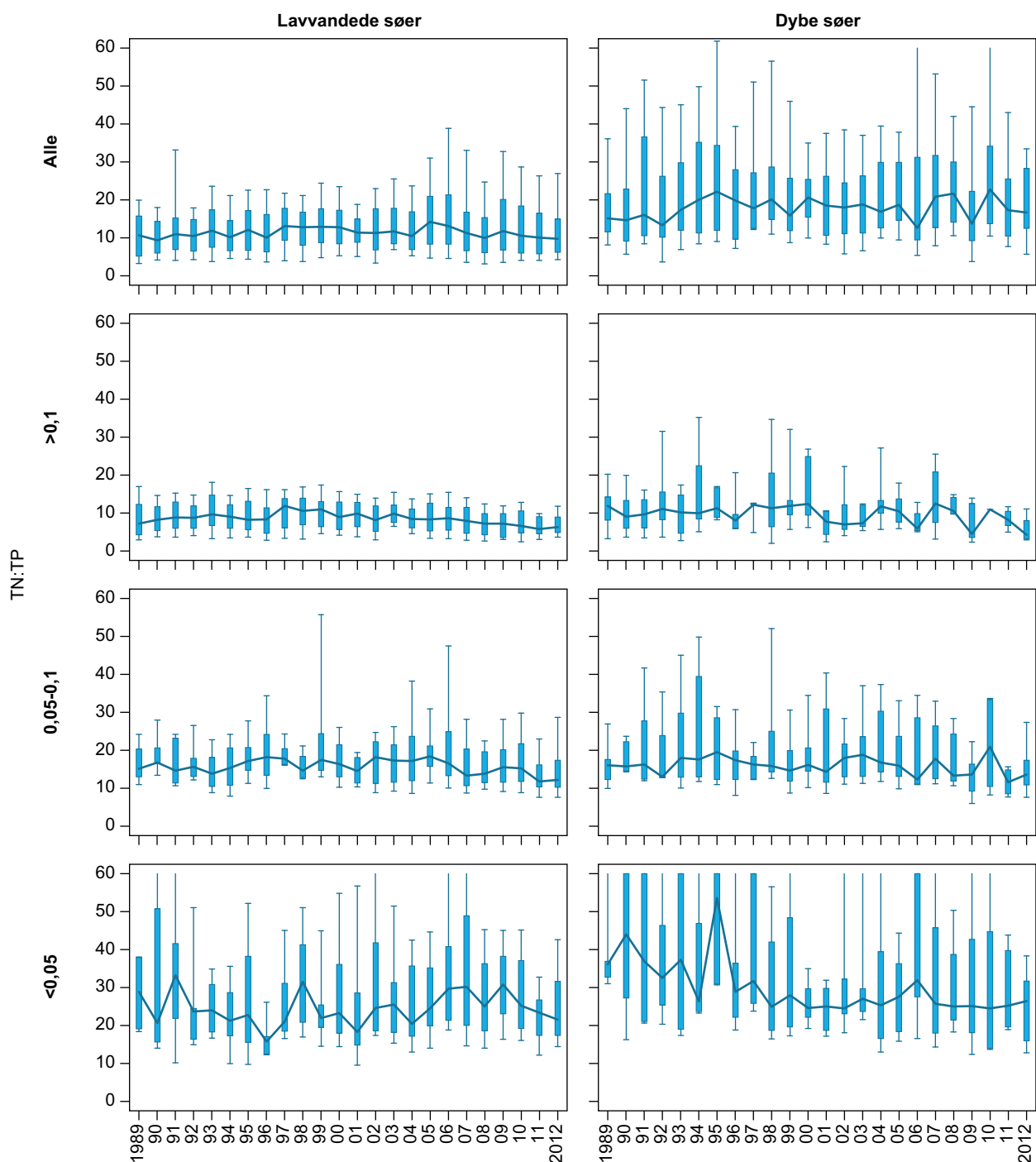
Figur 5.2. Øverst: TN:TP-forholdet (på vægtbasis) i overfladevandet over året i henholdsvis 12 lavvandede (antal sømåneder = 2590) og 6 dybe søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling (antal sømåneder = 1723). På trods af en middeldybde på 3,1m er Arresø taget med under de lavvandede søer. De to linjer ved TN:TP = 7 og 23 angiver det område, hvor søer som oftest antages at skifte mellem at være kvælstof- eller fosforbegrænset. Nederst: som øverst, men med de uorganiske fraktioner af kvælstof ($N_{org}=NO_2+NO_3+NH_4$) og fosfor ($P_{org}=PO_4$). Bjælkerne i boksplottene viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler.



Figur 5.3. Det sæsonmæssige forløb i andelen (% af sømåneder) af søer som i den sidste 5-års periode (2008-2012) har haft et TN:TP-indhold < 7 fordelt på lavvandede (venstre) og dybe søer (højre).

Udviklingen i TN:TP-forholdet: alle søer

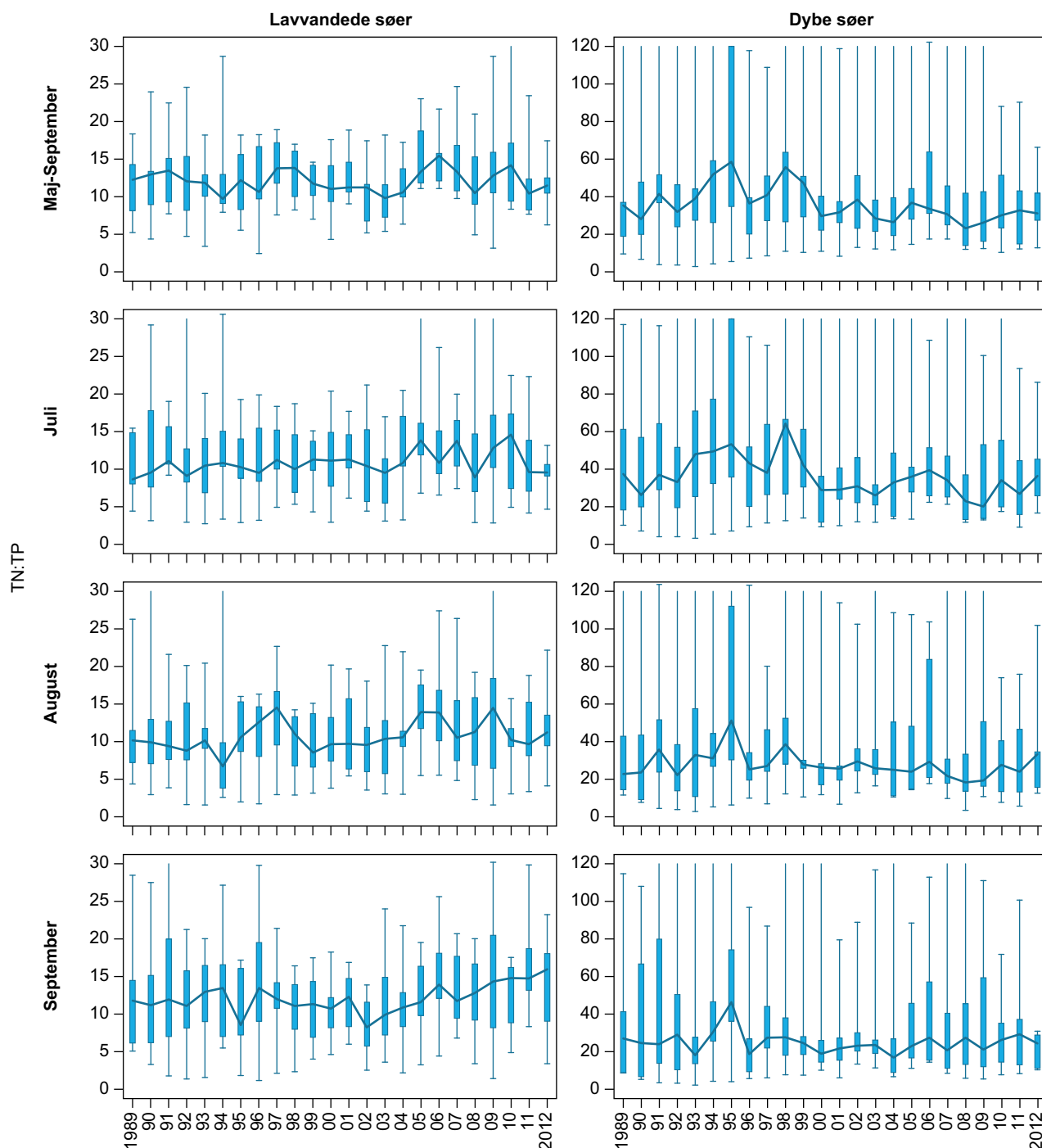
Samlet set dækker både de dybe og lavvandede søer over store forskelle i TN:TP-forholdet, men der er ikke nogen overordnet signifikant udvikling i måleperioden fra 1989 til 2012, hvis måledata fra alle danske søer betragtes (Figur 5.4). 25-75 %-fraktilen svinger i de lavvandede søer mellem et TN:TP forhold på 7 og 20 og i de dybe søer mellem 10 og 30, men uden at vise markante ændringer i perioden. Eftersom de forskellige års data ikke repræsenterer de samme søer, er dataene dog ikke noget godt udtryk for om kvælstofs begrænsende rolle for søernes primærproduktion har ændret sig i overvågningsperioden. Det generelt lavere TN:TP-forhold i de lavvandede søer indikerer at kvælstofbegrænsning oftere finder sted og lettere vil kunne opnås her. Samme billede ses hvis søerne underinddeles i fosforkategorier. Her ses også, at TN:TP-forholdet er højere ved lavere TP-koncentrationer både i de dybe og lavvandede søer, hvilket kunne tyde på, at kvælstof vanskeligere kan gøres begrænsende for primærproduktionen i de mest næringsfattige danske søer.



Figur 5.4. TN:TP-forholdet (vægtbasis, sommerrmiddel, overfladevand) i perioden 1989 til 2012 i henholdsvis lavvandede (antal søer 679, antal søår= 2198) og dybe søer (antal søer = 120, antal søår= 743). De forskellige år repræsenteres af et varierende antal søer og er ikke de samme søer fra år til år. Fra oven: alle søer, søer med $TP > 0,1$ mg/l, søer med $0,05 < TP < 0,1$ mg/l og søer med $TP < 0,05$ mg/l. Bjælkerne i boksplottene viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier.

Udviklingen i TN:TP-forholdet: søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling

Ser man på de 15 intensivt overvågede søer, som er fulgt gennem hele overvågningsperioden og derfor sammenlignelige fra år til år, er der ikke sket væsentlige ændringer i TN:TP-forhold siden 1989 (Figur 5.5). Der må dog tages forbehold pga. det beskedne antal søer, som indgår; de giver ikke nødvendigvis et landsdækkende billede.



Figur 5.5. TN:TP-forholdet i de 15 søer, som har været undersøgt intensivt og årligt siden 1989 (Nors Sø*, Hornum Sø, Hinge Sø, Ravnsø*, Bryrup Langsø*, Søby Sø, Arreskov Sø, Arresø, Furesøen Storesø*, Kvie Sø, Engelsholm Sø, St. Søgård Sø, Søholm Sø*, Magle Sø*, Vesterborg Sø). Øverst: sommermiddelværdier og 3 nederste: juli-, august- og september-værdier. Søer med * er søer rubriceret som dybe søer (middeldybde > 3 m, dog eksklusiv Arresø, som har en middeldybde på 3,1m). Bemærk forskellige y-akse på dybe og lavvandede søer. Den høje 90 % fraktil på dybe søer skyldes Ravn Sø, der de fleste år har et TN:TP-forhold over 100. Bjælkerne i boksplottene viser 10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Linjerne forbinder medianværdier.

I de dybe søer ser medianværdien for TN:TP som sommergennemsnit ud til at være faldet lidt de sidste 15 år, mens den nedre 10 % fraktil er øget, men det lille antal søer muliggør ikke mere detaljerede tolkninger af de enkelte fraktiler. For de tre sensommermåneder (juli, august, september, hvor de laveste TN:TP-værdier normalt forekommer) ses en tilsvarende faldende tendens i medianværdien i de dybe søer. I de lavvandede søer er der kun små ændringer i de tre sommermåneders TN:TP-forhold, dog er der i den sidste 10-års periode en tendens til øget TN:TP-forhold i august-september, men det usikkert med så få målinger. Dataene fra de intensivt overvågede søer giver altså heller ikke indtryk af, at TN:TP forholdet generelt er ændret væsentligt i overvågningsperioden.

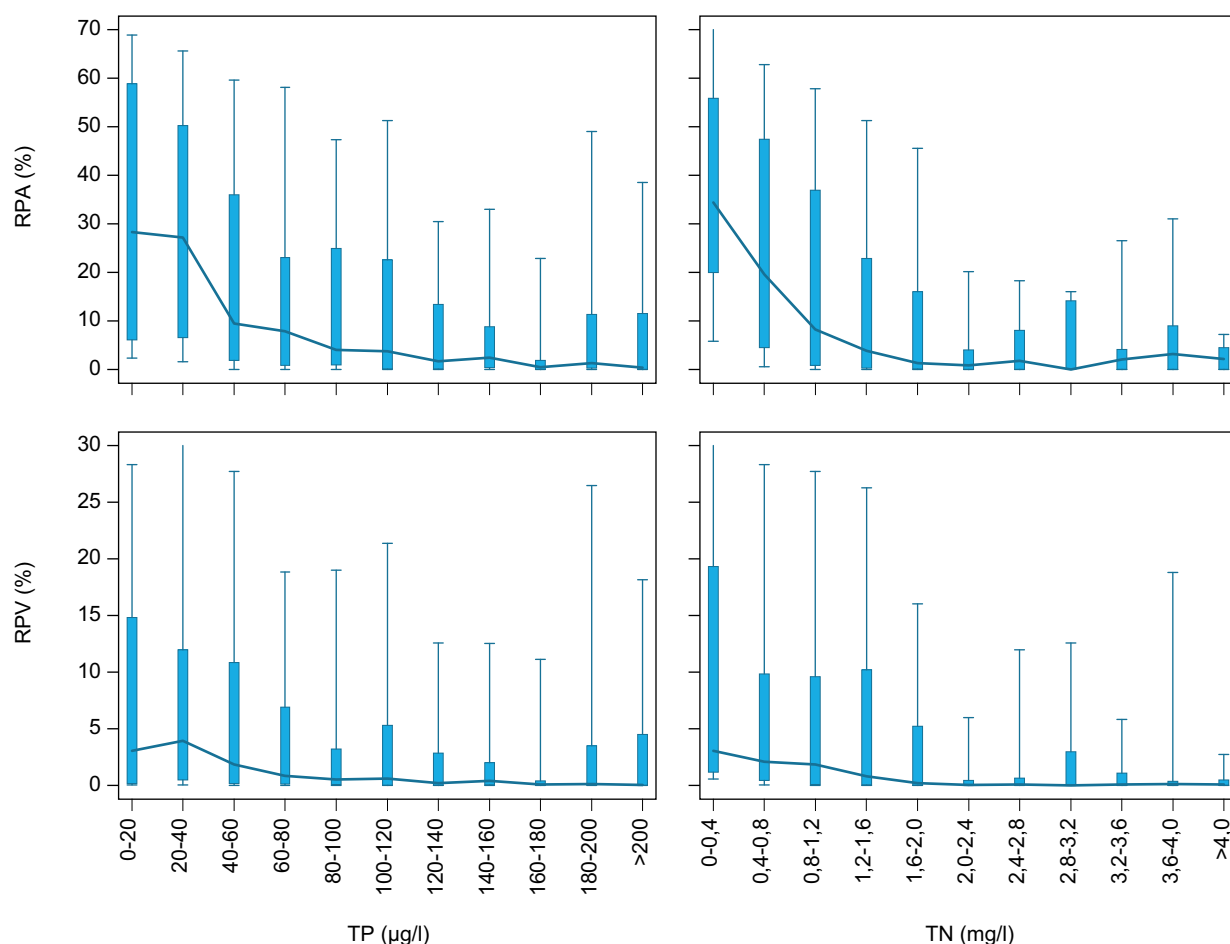
5.3 Fosfor, kvælstof og udbredelsen af undervandsplanter

Som omtalt i indledningen, er undervandsplanterne et af de biologiske kvalitetselementer, som kan påvirkes af ændringer i kvælstofindholdet. I dette afsnit ser vi først på de empiriske sammenhænge mellem det plantedækkede areal (RPA) og det plantefyldte vandvolumen (RPV) i forhold til indhold af totalkvælstof og totalfosfor i alle lavvandede søer og dernæst eksplicit i de lavvandede søer, hvor der ikke har været væsentlige ændringer i totalfosforindholdet, men derimod i totalkvælstofindholdet.

Alle søer

Sammenhængen mellem RPA eller RPV og indhold af totalfosfor og totalkvælstof i alle søer med planteundersøgelser følger mønsteret set tidligere (Figur 5.6). Ved faldende næringsstofindhold øges mængden af planternes udbredelse gradvis, men der er meget store variationer. Ved TP-koncentrationer under 0,06 mg/l varierer 25-75 %-fraktilen af RPA således fra mindre end 5 % til over 50 % dækning. RPA øges først ved totalkvælstofkoncentrationer under 2 mg/l, mens der er tale om lidt mere glidende overgange i forhold til TP.

Hvis der foretages en multiple lineær regression (Proc Reg) med RPA til både log-TP (ved $TP < 0,2$ mg/l) og log-TN (ved $TN < 4$ mg/l) opnås der kun en ringe forklaringsværdi, ikke mindst til RPV (tabel 5.1). Dvs. andre forhold end næringsstoffer spiller i høj grad også ind i forhold til undervandsplanternes udbredelse. Antagelsen om lineære sammenhænge holder dog formentlig ikke, idet små ændringer i næringsstofftilgængeligheden og lysforholdene kan have store effekter på planternes udbredelse i de lavvandede søer. Den største forklaringsværdi opnås ved totalfosfor, mens totalkvælstof ikke eller kun i meget ringe omfang øger den samlede R^2 -værdi.



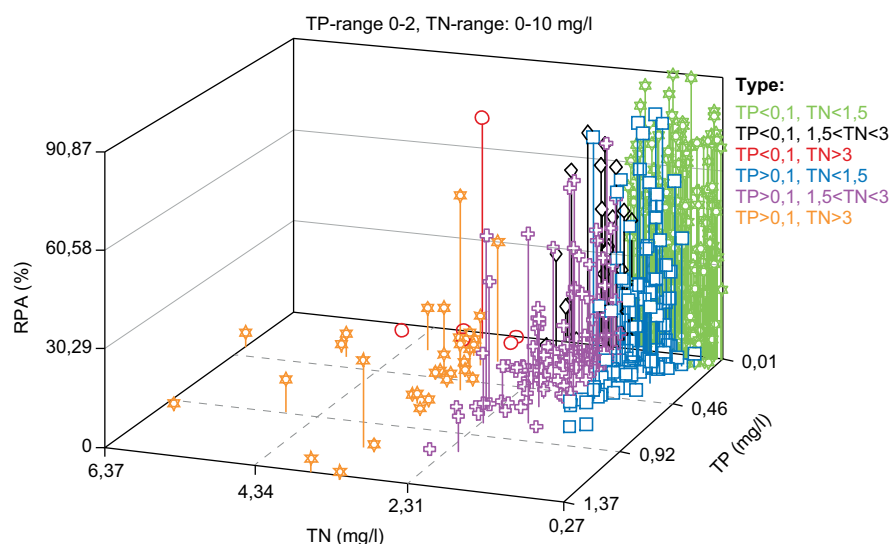
Figur 5.6. Relativt plantedækket areal (RPA) og plantefyldt vandvolumen (RPV) i lavvandede søer (antal søer = 267, antal søår=515) i forhold til indhold af totalfosfor og totalkvælstof (sommermiddel).

Tabel 5.1. Regressionsanalyser mellem relativt plantedækket areal (RPA) og plantedækket vandvolumen (RPV) og indhold af totalfosfor (TP) og totalkvælstof (TN) (sommermiddel i mg/l). På log10 transformerede TN- og TP-værdier. N= 433. Hvis $\log TP * \log TN$ (Proc GLM) inddrages i regressionen opnås der ikke nogen signifikant værdi for relationen til RPA, men en signifikant ($p=0,01$) til RPV, hvor R^2 -værdien øges fra 0,06 til 0,07.

	Indikator			
	Lineær sammenhæng	Partiel R^2 (TP)	Partiel R^2 (TN)	Samlet R^2
RPA =	$-15,3 - 36,0 * \log TP - 4,5 * \log TN$	0,20	0,00	0,20
RPV =	$-7,0 - 15,3 * \log TP + 6,8 * \log TN$	0,05	0,01	0,06

Den kombinerede effekt af totalkvælstof og totalfosfor på undervandsplanternes udbredelse i de lavvandede søer er også søgt illustreret ved 3-d grafik (Figur 5.7). Planternes dækningsgrad er kun høj ved både relativt lave totalfosfor- og totalkvælstofkoncentrationer. De fleste datapunkter klumper sig sammen ved lave totalfosfor- og totalkvælstofværdier og kan være svære at adskille, men dækningsgraden er ofte lav i søer med højt totalkvælstofindhold selvom totalfosforindholdet er lavt. Således ses sjældent høje RPA-værdier ved totalkvælstofkoncentrationer over 2 mg/l.

Figur 5.7. 3-d plot af relativt plantedækket areal (RPA) i lavvandede søer i forhold til indhold af totalkvælstof (TN) og totalfosfor (TP) (sommermiddel). De forskellige farver refererer til forskelligt TP og TN indhold. N=345.



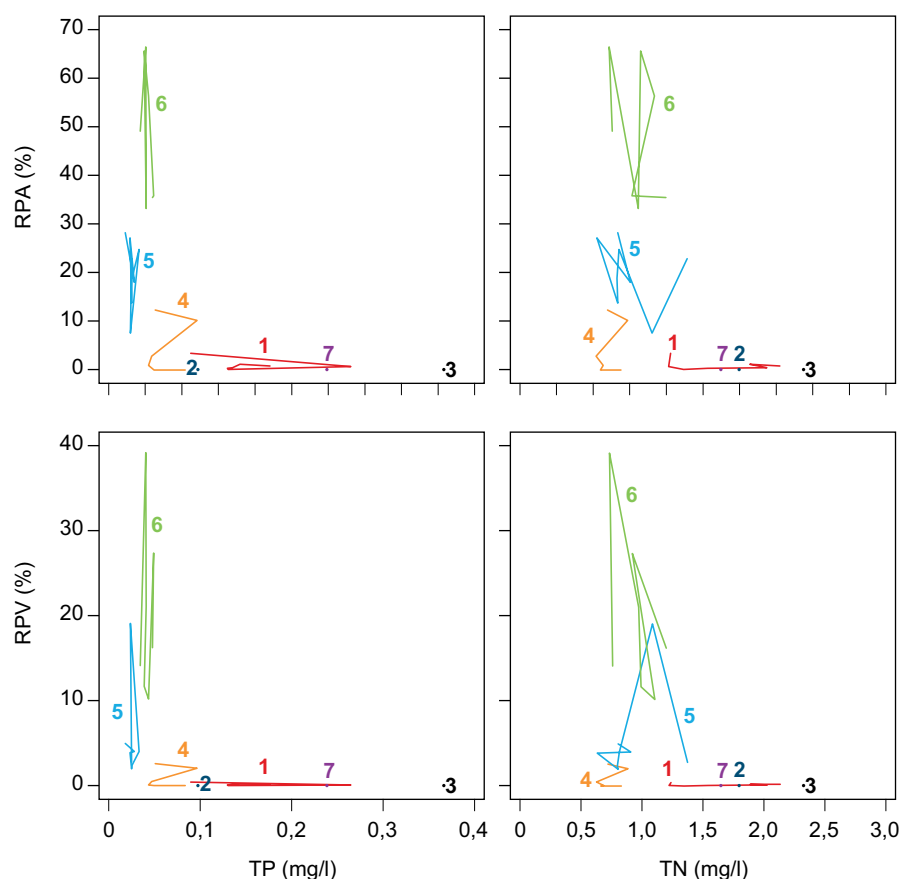
Søer med uændret TP, men ændret totalkvælstof

I dette afsnit har vi analyseret søer, hvor der i overvågningsperioden især er sket en nedgang i totalkvælstof. For 107 søer er der mindst fire års målinger indenfor en tidsperiode på 10 år. Ud af disse søer er der kun syv lavvandede søer (middeldybde < 3m) og én dyb sø, hvor TP med rimelighed kan siges at have været uændret, mens totalkvælstofindholdet er reduceret, og hvor der også samtidigt er målinger af undervandsplanter.

I de syv lavvandede søer med totalkvælstofændringer øges RPA og RPV generelt først ved totalkvælstofkoncentrationer under 1,2-1,4 mg/l (Figur 5.8), svarende til de generelle sammenhænge vist i Figur 5.4. Dette falder også i tråd med nogle af de tidligere konklusioner (Gonzales Sagrario et al, 2005; Jeppesen et al, 2007). Bortset fra enkelte værdier bliver RPA først høj ved totalfosforkoncentrationer under 0,05 mg/l.

Ændringerne i RPA i de syv søer, kan kun i ringe grad relateres til ændringerne i totalkvælstof, og der ses væsentlige ændringer i RPA uden større ændringer i totalkvælstof og omvendt, både i Damhussøen, Maglesø og Engelsholm Sø (Figur 5.8). Ændringer i RPV synes i lidt højere grad at være knyttet til ændringer i totalkvælstof (eksempelvis Damhussøen), hvilket kunne indikere en effekt af reduceret totalkvælstof på mængden af undervandsplanter. De få søer, som kan bruges til denne analyse, gør det dog vanskeligt at drage generelle konklusioner.

Figur 5.8. Plantedækket areal (RPA) og plantefyldt vandvolumen (RPV) i forhold til totalkvælstof (TN) og totalfosfor (TP) i de 7 lavvandede søer, hvor totalfosfor har været nogenlunde uændret mens totalkvælstof er blevet reduceret i overvågningsperioden. De syv søer og perioder er 1: Kettingnor (1999-2009), 2: Bryrup Langsø (1996-2002), 3: St. Søgård Sø (1998-2012), 4: Engelsholm Sø (1994-2010), 5: Maglesø (1998-2005), 6: Damhussøen (1999-2009), 7: Borup Sø (1995-2002).



5.4 Eksperimentelle undersøgelser og udenlandske erfaringer

Mens det er vanskeligt at drage endelige konklusioner om kvælstofs rolle ud fra de empiriske data, kan der hentes støtte i eksperimentelle studier. Der er verden over gennemført sådanne forsøg i mange skalaer, hvor fosfor og kvælstof er blevet doseret i forskellige mængder. I Danmark er der blandt andet gennemført indelukkeforsøg i Stigsholm sø (Midtjylland), hvor kvælstof og fosfor blev doseret i forskellige mængder. Disse forsøg viste, at der var stor risiko for at miste undervandsplanterne når totalkvælstof var $>1,2$ – 2 mg/l og totalfosfor $>0,1$ – $0,2$ mg/l (Gonzalez Sagrario et al., 2005; Jeppesen et al., 2007). En mulig årsag til at undervandsplanternes vækst svækkes er, at perifyterne på undervandsplanternes overflade øges med øget kvælstof i vandfasen. Dette underbygges af senere forsøg i en tyrkisk sø, som viste markant øget vækst af perifyter på planternes overflade i takt med øget kvælstoftilførsel, uden at det dog i dette tilfælde førte til effekter på værtsplanterne. Dette kan formentlig tilskrives et markant fald i vandstanden hen over sæsonen (forsøgsperioden) på grund af stor fordampning i det tørre klima, hvor forsøgene blev gennemført. Dette forbedrede lysforholdene for planterne og kompenserede dermed for lyssvækkelsen fra perifyterne (Özkan et al., 2010).

I et andet forsøg gennemførte Trochine et al. (under udarbejdelse) en række bioassays med perifyter i forsøgsskar, som simulerer lavvandede søer (klimaforsøg ved Lemming, se Liboriussen et al., 2005), hvoraf nogle er opvarmede for at vurdere effekter af klimaændringer (IPCC A2-scenarie og A2+50 %, svarende til henholdsvis en middeltemperaturstigning på ca. 3 og 5 °C). I indelukker, som fik tilført grundvand (opholdstid 2 mdr.), var perifyterne

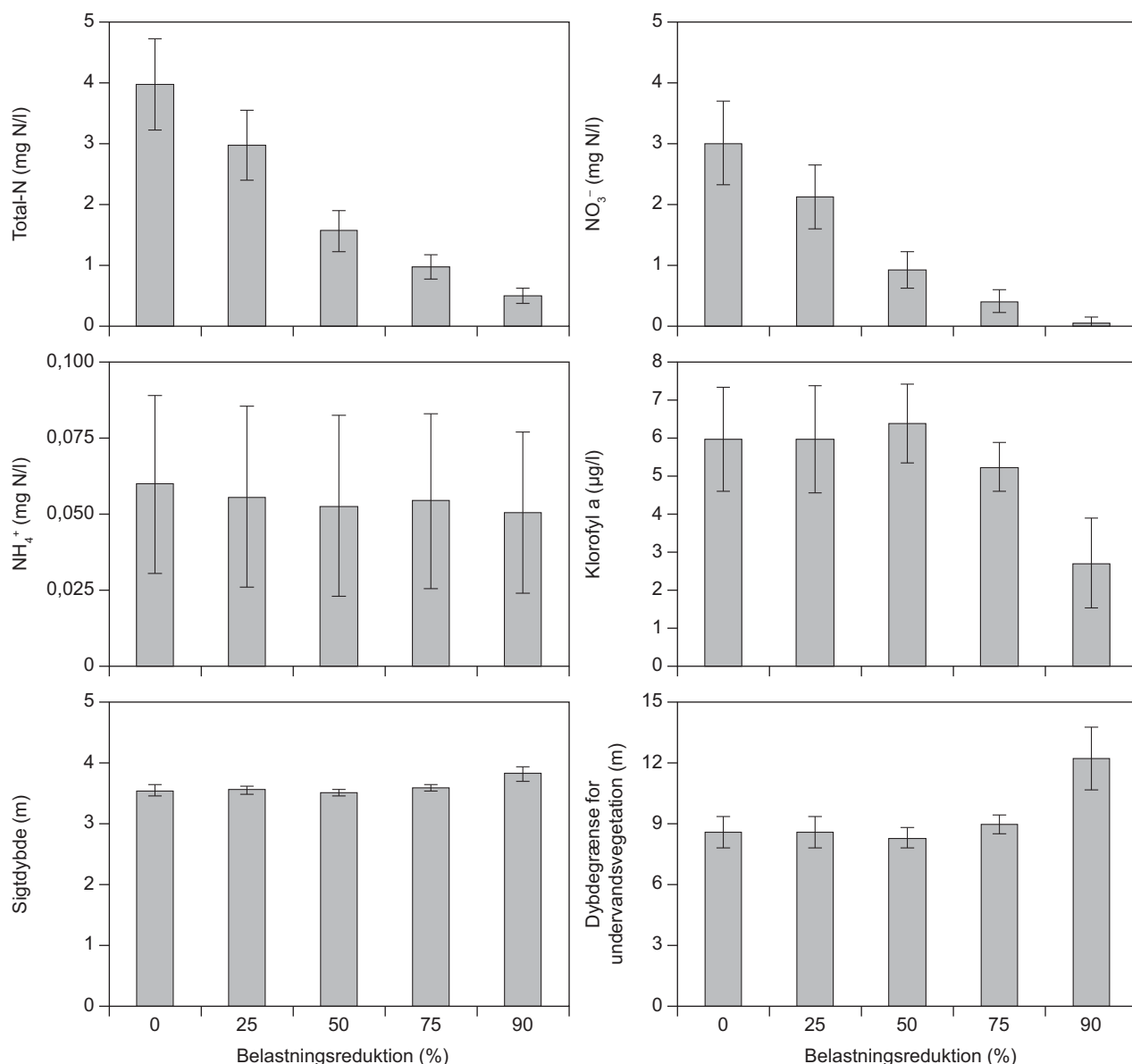
kvælstofbegrænsede om sommeren ved den aktuelle temperatur og i A2-scenariet (og tillige i A2+50 % senarie pga. tidlig reduktion af nitrat i vandfasen). Derimod var perifyterne- i alle klimascenarier hverken begrænset af kvælstof eller fosfor om efteråret, mens de var fosforbegrænsede i foråret. De fandt videre at perifyternes vækst i A2+50 %-scenariet i store dele af året øgedes mest markant, når både kvælstof og fosfor blev tilsat (cobegrænsning). Dette støtter yderligere vurderingen af, at perifyternes vækst stimuleres af kvælstoftilførsel om sommeren, selv i søer med lav TP (ca. 10-20 µg/l i forsøgsskærrene), og at responsen varierer med temperaturen og dermed er påvirket af klimaændringer.

Planterne kan også påvirkes fysiologisk ved høje uorganiske kvælstofkoncentrationer med aftagende vækst til følge. Flere studier har vist negativ effekt af høje ammonium/ammoniak (NH) koncentrationer på undervandsplanternes vækst (Best, 1980; Smolders et al., 1996a,b; Cao et al., 2004). Også nitrat kan have negativ effekt på f.eks. isoetider, som *Littorella uniflora* (Robe & Griffiths, 1994; Boedeltje et al., 2005). Flere studier har vist oxidativ stress af NH hos undervandsplanter (Nimptsch & Pflugmacher, 2007), og det har været foreslået, at kvælstofs toksicitet kunne være en medvirkende årsag til tilbagegang af undervandsplanter i næringsrige søer (Cao et al., 2004; Zhu et al., 2006). Yuan et al. (i trykken) undersøgte, hvordan kulstof og kvælstof metabolismen var påvirket af akut høje NH koncentrationer. De fandt aftagende indhold af kulhydrater og øget mængde NH og frie aminosyrer i planterne ved høje NH koncentrationer. Graden af ændringer var artsspecifik (12 arter undersøgt), og der var en klar sammenhæng mellem dybdegrænsen for de 12 arter i en kinesisk sø og deres respons på tilførslen af NH. Planter, som kun viste små ændringer i indholdet af kulhydrater, når de blev udsat for høj NH dosering, optrådte på større dybder, end arter der mistede en betydelig mængde kulhydrat, formentlig fordi tab af kulhydrater på anden vis (her for at modvirke effekten af høj NH) er kritisk, når kulhydratproduktionen i forvejen er lav som følge af lysbegrænsning.

Endelig stimuleres trådalger af høj kvælstoftilførsel (Trochine et al., 2011), hvilket også kan medvirke til tilbagegang af undervandsplanter og forringet økologisk kvalitet. Forsøg i forsøgsskærrene i Lemming har endvidere vist, at risikoen for dominans af trådalger øges med temperaturen (Trochine et al., 2011). Lave kvælstofkoncentrationer kan derfor modvirke effekten af en temperaturstigning på trådalger i et fremtidigt varmere klima.

5.5 Modelmæssig tilgang: Ravn Sø eksempel

En alternativ eller supplerende måde at vurdere kvælstofs betydning er at anvende komplekse dynamiske modeller opstillet for specifikke søer. Et eksempel er den dybe sø, Ravn Sø (maksimum dybde 33 m, middeldybde 15 m, overfladeareal 1,8 km²), hvor der blev opstillet en-dimensionel dynamisk model (DYRESM-CAEDYM), som blev kalibreret i perioden 1989-1995 og valideret i perioden 1998-2002 (Trolle et al., 2008a). Scenarieanalyser viste at en 75 % reduktion i kvælstofbelastningen var nødvendig for at mindske planteplanktonbiomassen og en reduktion på 90 % for at øge dybdegrænsen af undervandsplanter væsentligt. Man skal således under 0,5 mg TN/l for at se effekter (Figur 5.9). Større effekter kunne opnås ved reduktion i fosfortilførslen (Trolle et al., 2008b).



Figur 5.9. Modelberegnet effekt på en række vandkemiske og biologiske variable (sommergennemsnit) i Ravn Sø ved at reducere kvælstoftilførsel. Fra Trolle et al. 2008a.

5.6 Konklusioner og anbefalinger

Som analyserne og eksemplerne i dette afsnit illustrerer, så er det vanskeligt på baggrund af empiriske analyser, at fastlægge hvornår fosfor eller kvælstof har størst betydning for den økologiske tilstand i søer. Årsagen er at kvælstof- og fosfortilførsel og koncentrationer meget ofte er tæt koblete, og at disse former for analyser ikke giver kausale sammenhænge. De empiriske analyser antyder dog på flere måder, at for høje kvælstofkoncentrationer har en negativ effekt på vandkvaliteten, herunder undervandsplanterne. Denne konklusion støttes af eksperimentelle danske og udenlandske forsøg, som viser, at høje kvælstofkoncentrationer fører til epifytvækst på undervandsplanternes overflade, hvilket kan påvirke undervandsplanternes vækstbetingelser negativt.

Under de nuværende næringsstofforhold i de danske søer er kvælstofs betydning tydeligvis større i de lavvandede søer end i de dybe søer. I de lavvandede søer opnås der væsentligt oftere tilstrækkeligt lave N:P-forhold til,

at kvælstof potentielt kan være begrænsende for primærproduktionen end i de dybe søer. Samtidigt er det også især i de lavvandede søer, at undervandsplanterne kan have en stor rolle for den overordnede økologiske kvalitet, og det er derfor vigtigt, at deres vækstmuligheder ikke begrænses af direkte eller indirekte (via perifytvækst) årsager, hvis en klarvandet tilstand skal opnås eller fastholdes.

De meget markante sæsonmæssige variationer i koncentrationer og tilgængelighed af henholdsvis fosfor og kvælstof, ikke mindst i de lavvandede søer, giver et fingerpeg om, at både fosfor og kvælstof spiller en rolle for søers økologiske tilstand, og at det i mange søer ikke er enten/eller. Et typisk mønster vil være, at fosfor er begrænsende i foråret og forsommeren, mens kvælstof bliver begrænsende senere på sommeren. Det giver derfor i mange søer god mening at fokusere på begge næringsstoffer, når det gælder om at fastholde eller forbedre en god vandkvalitet.

Det er ikke muligt at fastsætte præcise grænser for, hvornår der i den enkelte sø opnås den bedste og mest omkostningseffektive indsats for at forbedre vandkvaliteten. Analyserne i dette afsnit tyder dog på, at kvælstoftilførslen ikke bør overstige et niveau svarende til en middelsommerkoncentration i søvandet på 1,2-2 mg/l og fosfortilførslen ikke et niveau svarende til en middelsommerkoncentration i søvandet på 0,05 mg/l i de lavvandede søer, hvis der ønskes en klarvandet tilstand. Disse retningslinier kan anvendes som generelle anbefalinger, men i forvaltningen og planlægningen omkring de miljømæssige forhold i den individuelle sø, er det stadigvæk vigtigt at forholde sig til de lokale og søspecifikke forhold.

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.

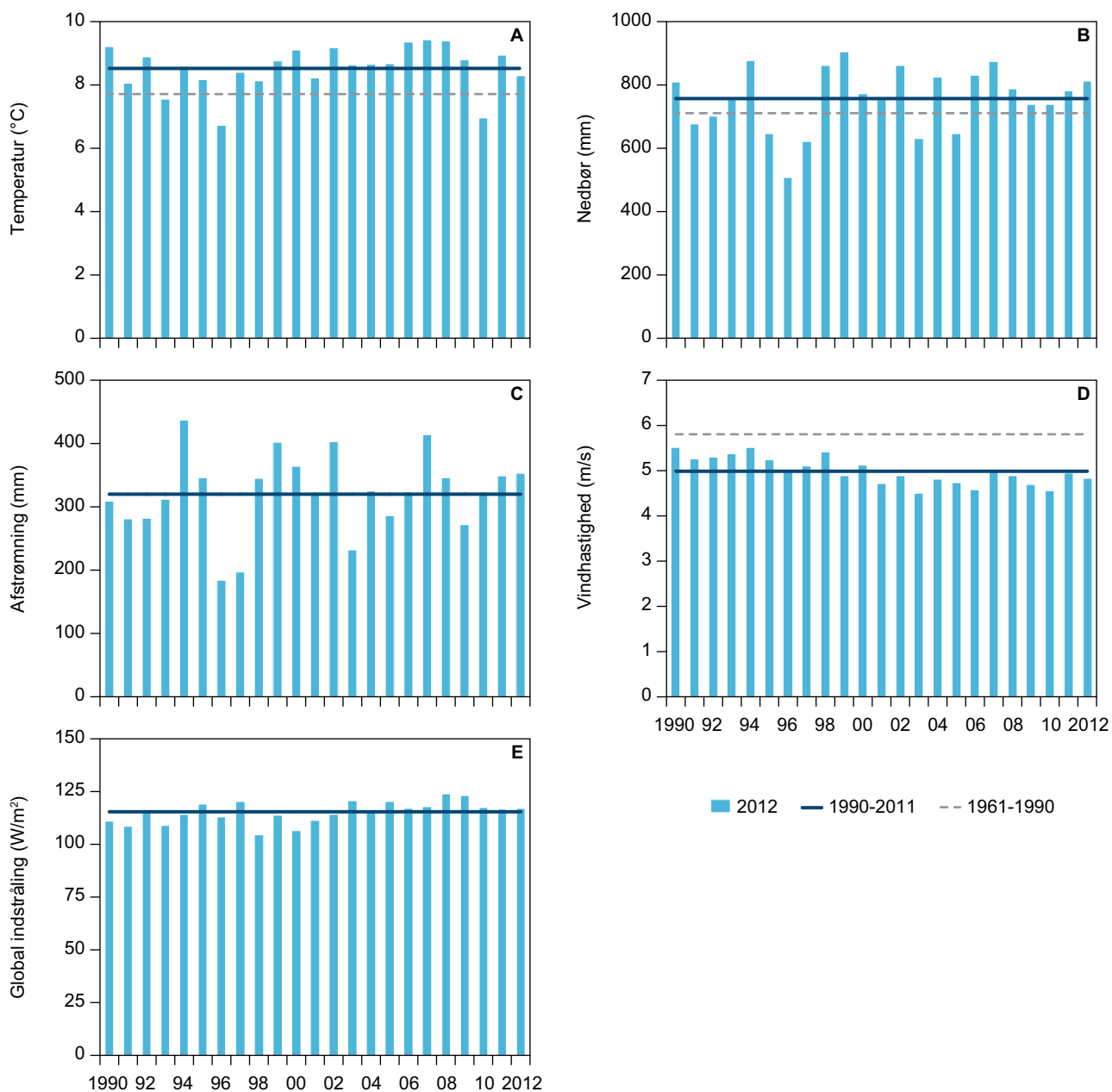
Temperaturen påvirker direkte en række processer i søerne, og forskelle i temperaturniveauet og sæsonforløbet kan derfor være en medvirkende årsag til forskelle i den generelle miljøtilstand mellem de enkelte år. Også de øvrige klimatiske faktorer påvirker i højere eller mindre grad søernes tilstand og udvikling. Kendskab til variationer i de klimatiske forhold er således nødvendige, når resultaterne fra søovervågningen skal tolkes.

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, som har indflydelse på de faktiske værdier. Disse faktorer er højde over terrænet, vind og wetting (vanddråber, der afsættes på regnmålerens sider, hvorfra de fordamper uden at blive registreret). Månedssdata for nedbør og potentiel fordampning anvendes i beregningen af næringsstofbalancer for 10 af de søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling (kapitel 3.8). For datagrundlag og beregningsmetoder af ferskvandsafstrømningen henvises til Wiberg-Larsen et al. (2013).

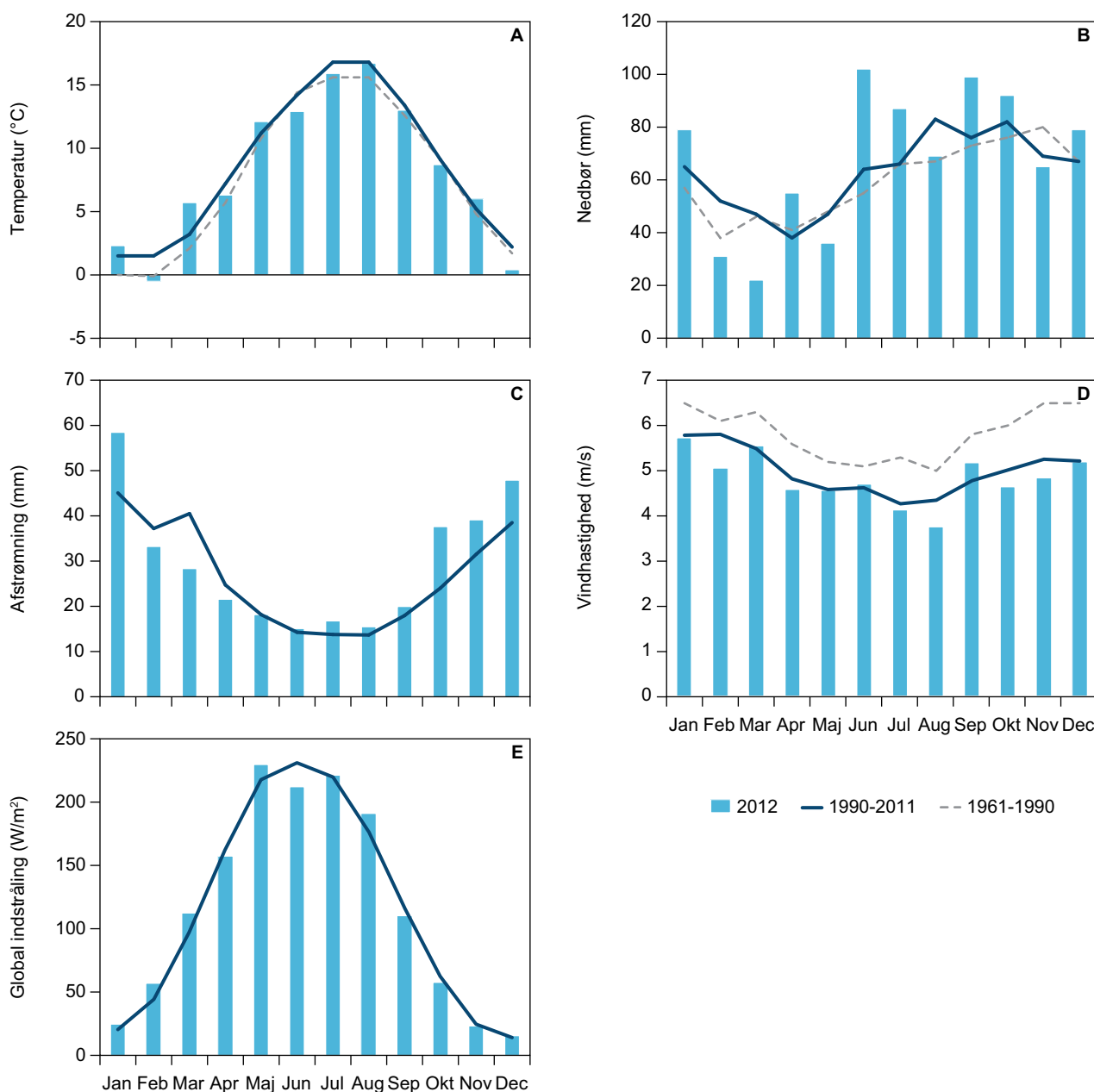
I nærværende kapitel gives der en kort oversigt over de klimatiske forhold i 2012 sammenlignet med perioden 1990-2011 samt "normalperioden", der er defineret som årene 1961-1990.

6.1 Temperatur og global indstråling

Årsmiddeltemperaturen for hele Danmark var i 2012 på 8,3 °C, svarende til 0,6 °C højere end normalgennemsnittet for perioden 1961-1990 og 0,2 °C koldere end gennemsnittet for perioden 1990-2011 (Figur 6.1A). Der blev i 2012 ikke registreret vejrrekorder for hverken temperatur eller nedbør, men marts måned var alligevel meget varm med en gennemsnitstemperatur på 5,7 °C (3,6 °C varmere end normalen for 1961-1990), men også januar var varm (2,3 °C varmere end normalen for 1961-1990). Generelt var otte måneder varmere end normalen for 1961-1990, og fire måneder var lidt koldere (Figur 6.2A, - Cappelen et al., 2013). Således er der i den 23-årige overvågningsperiode 1990-2012 kun tre år, der har været koldere end normalen for de foregående 30 år, mens ni år har haft en lavere årsgennemsnitstemperatur end normalen for perioden 1990-2011. Heraf ligger syv af de ni år i den første del af perioden, 1990-2001 (Figur 6.1A).



Figur 6.1. Årsværdier for temperatur, nedbør, ferskvandsafstrømning, vindhastighed og global indstråling for Danmark 1990-2012. Desuden er gennemsnit for perioderne 1961-1990 (dog ikke for ferskvandsafstrømning og global indstråling) og 1990-2011 indlagt. Data fra hele Danmark.



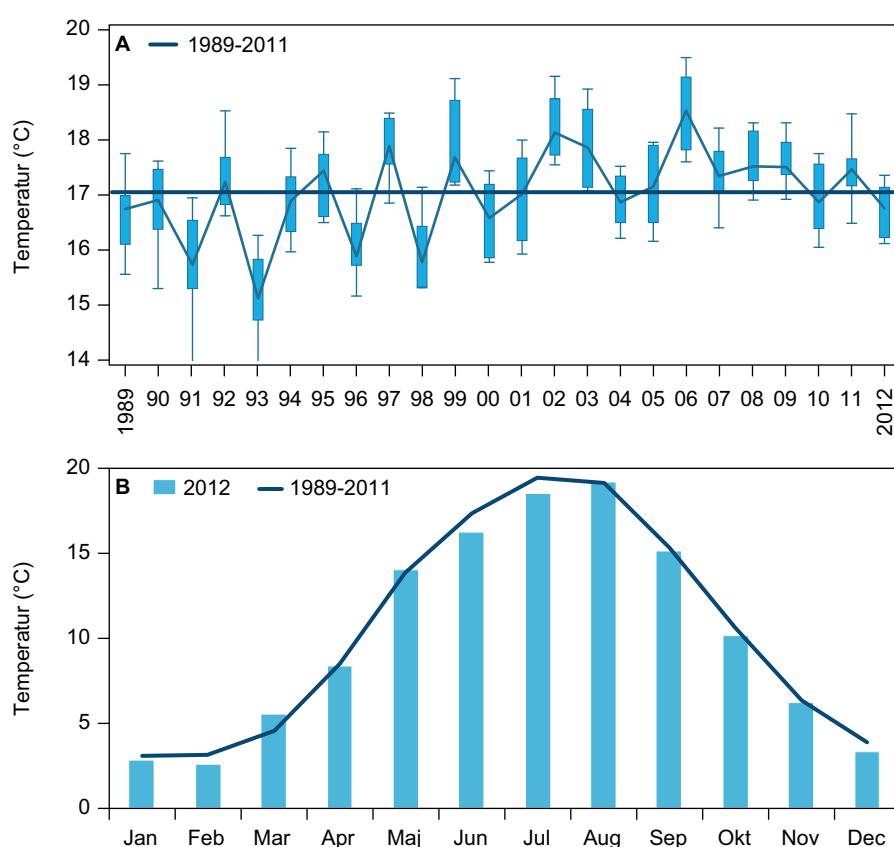
Figur 6.2. Månedsværdier for temperatur, nedbør, ferskvandsafstrømning, vindhastighed og global indstråling i 2012 samt gennemsnit for perioden 1961-1990 og 1990-2011 (førstnævnte dog ikke for global indstråling og ferskvandsafstrømningen). Data fra hele Danmark.

Årsmidlen for den globale indstråling var i 2012 svagt over normalen for de seneste 22 år (Figur 6.1E). Betragtes hele måleperioden ses generelt en højere global indstråling de seneste ti år, som alle har været over eller lig normalen for perioden 1990-2011, mens dette kun gør sig gældende for tre år i perioden 1990-2002. I 2012 var indstrålingen især højere end normalen i maj mens niveauet var lavt i juni (Figur 6.2E). Generelt ser der ud til at være en sammenhæng mellem indstråling og temperatur, om end den årlige variation i global indstråling er væsentlig mindre end f.eks. års-variationen i temperatur og nedbør.

Vandtemperaturerne i søerne responderer på den aktuelle lufttemperatur samt indstrålingsforholdet og lå i 2012 lidt under niveauet for den gennemsnitlige median for perioden 1989-2011 (Figur 6.3A). Vandtemperaturen var

som lufttemperaturen lidt koldere i februar måned og omvendt lidt varmere i marts måned, end for normalen i perioden 1989-2011. Mange søer var således isdækket i slutningen af januar og i februar måned, hvorefter isen igen slap i marts. Med undtagelse af juni, juli og december måned, hvor vandtemperaturen lå under normalen for perioden 1989-2011, lå vandtemperaturen på samme niveau som normalen (Figur 6.3B). Den lave temperatur i juni og juli hænger tydeligt sammen med den lavere lufttemperatur i samme periode samt mindre indstråling i specielt juni måned. År til år variationer i lufttemperaturen er udtalte i udviklingen i vandtemperaturen i søerne. De lave gennemsnitstemperaturer i overfladevandet observeret i 2004 og 2005, vurderes at være et resultat af relativt kolde sommermåneder i de pågældende år (Lauridsen et al., 2005). Tilsvarende kan den svagt lavere gennemsnitstemperatur i 2012, sammenlignet med f. eks. 2011 (Figur 6.3A), også tilskrives dels en kølig juni og dels en kølig februar/december (Figur 6.2A og 6.3B).

Figur 6.3. A: Årsværdier for median af gennemsnitlig vandtemperatur i overfladevandet i de 15 søer i kontrolovervågning af udvikling for sommerperioden i årene 1989 til 2012. Desuden er den gennemsnitlige median for vandtemperaturen i perioden 1989-2011 angivet. B: Månedsværdier for den gennemsnitlige vandtemperatur i de 15 søer i 2012, samt gennemsnittet for perioden 1989-2011.



6.2 Nedbør

Årsnedbøren i 2012 var 819 mm, svarende til 107 mm, eller 15 %, mere end normalen for 1961-1990 (Figur 6.1B). Juni, juli og september var generelt væsentlig vådere, med hhv. 85, 31 og 36 % mere nedbør end normalen for 1961-1990, mens marts var >50 % tørrere end normalen for 1961-1990. Der var i 2012 store regionale forskelle med mest nedbør i Midt- og Vestjylland (989 mm), og mindst i Vest- og Sydsjælland samt Lolland/Falster med 606 mm (Cappelen et al., 2013). Med den store årsnedbør i 2012 er den signifikant stigende nedbør for perioden 1917-2000 (Bøgestrand et al., 2003) fortsat i 2012.

6.3 Afstrømning

Den arealspecifikke ferskvandsafstrømning er på årsbasis tæt korreleret med nedbørsmængden og var i 2012 353 mm og dermed 10 % højere end den gennemsnitlige afstrømning for perioden 1990-2011 (320 mm) og på niveau med afstrømningen det foregående år (Figur 6.1C). I februar og marts var ferskvandsafstrømningen meget mindre end gennemsnittet for 1990-2011, mens det omvendte gjorde sig gældende for januar samt for oktober til december (Figur 6.2C).

Afstrømningsforholdene udviser normalt, ligesom nedbøren, en stor geografisk variation, hvilket også var tilfældet i 2012. Vest for israndslinjen i Jylland var årsafstrømningen typisk 450-550 mm, mens afstrømningen i det østlige Danmark var mindre, typisk mellem 200 og 300 mm, på grund af den generelt mindre nedbør i denne del af landet.

6.4 Vindforhold

Den gennemsnitlige årlige vindhastighed for hele Danmark var i 2012 på 4,8 m/s og dermed endnu engang noget mindre end normalen for perioden 1961-1990 (5,8 m/s) samt svagt mindre end gennemsnittet for 1990-2011 (5,0 m/s) (Figur 6.1D).

Den kolde februar og noget varmere marts, var præget af højtryksvejr og havde rolige vindforhold. Ligeledes var august, oktober og november også præget af meget rolige vindforhold (3,7-4,8 m/s) mod normalt 5-6,5 m/s (Figur 6.2D). Kun september var præget af mere blæsende vindforhold (5,1 m/s) end gennemsnittet for 1990-2011 (Figur 6.2D). For de øvrige måneder lå middelvindhastigheden på niveau med normalen for perioden 1990-2011, og 2012 fortsatte dermed tendensen, der har været i de senere år, imod gennemsnitligt mere rolige vindforhold.

7 Referencer

Abell, J.M., Ozkundakci, D., Hamilton, D.P. (2010): Nitrogen and Phosphorus Limitation of Phytoplankton Growth in New Zealand Lakes: Implications for Eutrophication Control. ECOSYSTEMS Volume: 13:966-977.

Best E.P.H. (1980): Effects of nitrogen on the growth and nitrogenous compounds of *Ceratophyllum demersum*. Aquatic Botany, 8, 197-206.

Bjerring, R., Johansson, L.S., Lauridsen, T.L., Søndergaard, M., Landkildehus, F., Sortkjær, L. & Windolf, J. (2010): Søer 2009. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 96 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 803. <http://www.dmu.dk/pub/FR803.pdf>.

Bjerring, R., Johansson, L.S., Lauridsen, T.L., Søndergaard, M., Kjeldgaard, A., Sortkjær, L., Windolf, J. & Bøgestrand, J. (2012): Søer 2011. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 100 s. – Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 33. <http://www.dmu.dk/pub/SR33.pdf>.

Boedeltje G., Smolders A.J.P. & Roelofs J.G.M. (2005): Combined effects of water column nitrate enrichment, sediment type and irradiance on growth and foliar nutrient concentrations of *Potamogeton alpinus*. Freshwater Biology, 50, 1537-1547

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

Cappelen, J. (Red.) (2013): Danmarks klima 2012. Teknisk rapport 13-01 fra DMI. <http://www.dmi.dk/dmi/tr13-01>

Cao T., Ni L.Y. & Xie P. (2004): Acute biochemical responses of a submersed macrophyte *Potamogeton crispus* L., to high ammonium in an aquarium experiment. Journal of Freshwater Ecology, 19, 279-284.

Elser, J. J., M. E. S. Bracken, E. A. Cleland, D. S. Gruner, W. S. Harpole, H. Hillebrand, J. T. Ngai, E. W. Seabloom, J. B. Shurin, J. E. Smith. (2007): Global analysis of nitrogen and phosphorous limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. Ecology letters. 10 (12): 1135-1142.

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.

Guildford S.J. & Hecky R.E. (2000): Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: is there a common relationship? Limnol Oceanogr 45:1213–23.

James, C. S, Fisher, J., Russell, V., Collings, S. & Moss, B. (2005): Nitrate availability and hydrophyte species richness in shallow lakes. Freshwater Biology 50: 1049-1063.

Jensen, J.P., Jeppesen, Olrik, K. & Kristensen, P. (1994): Impact of nutrients and physical factors on the shift from cyanobacterial to chlorophyte dominance in shallow Danish lakes. - Can. J. Fish. Aquat. Sci. 51: 1692-1699.

Jensen, J.P., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Lauridsen, T. & Sortkjær, L. (1997): Ferske vandområder - søer. Vandmiljøplanens Overvågningsprogram 1996. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 211. 106 s.

Jeppesen, E., M. Søndergaard, J.P. Jensen, T.L. Lauridsen, L. Jacobsen & Berg, S. (1997): Biologiske samfund og samspil i lavvandede søer. - Vand & Jord 6: 223-228.

Jeppesen, E., J. P. Jensen, J. Windolf, T. Lauridsen, M. Søndergaard, K. Sandby & P. Hald Møller (1998): Changes in nitrogen retention in shallow eutrophic lakes following a decline in density of cyprinids. - Archiv. Hydrobiol. 142: 129-152.

Jeppesen, E., M. Søndergaard, M. Meerhoff, T.L. Lauridsen & J.P. Jensen (2007): Shallow lake restoration by nutrient loading reduction – some recent findings and challenges ahead. – Hydrobiologia 584:239-252.

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.

Lauridsen, T.L., Jensen, J.P., Søndergård, M., Jeppesen, E., Strzelczak, A. & Sortkjær, L. (2005): Søer 2004. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. 66s. – Faglig rapport fra DMU nr. 553.

http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR553.PDF.

Liboriussen, L. & E. Jeppesen (2003): Temporal dynamics in epipelagic, pelagic and epiphytic algal production in a clear and a turbid shallow lake. - Freshwat. Biol. 48: 418-431.

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

Nimptsch J. & Pflugmacher S. (2007): Ammonia triggers the promotion of oxidative stress in the aquatic macrophyte *Myriophyllum matogrossense*. Chemosphere, 66, 708-714.

Özkan, K., E. Jeppesen, L. S. Johansson & M. Beklioglu (2010): The response of periphyton and submerged macrophytes to nitrogen and phosphorus loading in warm lakes: a mesocosm experiment. Freshwater Biology 54: 463-475.

Robe W.E. & Griffiths H. (1994): The impact of NO₃⁻ loading on the freshwater macrophyte *Littorella uniflora*: N utilization strategy in a slow-growing species from oligotrophic habitats. Oecologia, 100, 368-378.

Schindler, D. W. (1977): The evolution of phosphorus limitation in lakes. Science 195: 260-262.

Smith, Val H. (1987): Prediction of nuisance blue-green algal growth in North Carolina waters. Report - Water Resources Research Institute of The University of North Carolina (0078-1525), (233).

Smolders A.J.P., Roelofs J.G.M. & Den Hartog C. (1996a): Possible causes for the decline of the water soldier (*Stratiotes aloides* L.) in the Netherlands. *Archiv für Hydrobiologie*, 136, 327-342.

Smolders A.J.P., Hartog C.D., Gestel C.B.V. & Roelofs J.G.M. (1996b): The effects of ammonium on growth, accumulation of free amino acid and nutritional status of young phosphorus deficient *Stratiotes aloides* plants. *Aquatic Botany*, 53, 85-96.

Søndergaard M., Johansson L.S., Lauridsen T.L., & E. Jeppesen (2012): Planer for de danske søer. *Vand og Jord* 19: 90-93.

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.

Trochine C., M. Guerrieri, L. Liboriussen, M. Meerhoff, T.L. Lauridsen, M. Søndergaard & E. Jeppesen (2011): Filamentous green algae inhibit phytoplankton and create clear water conditions – particularly when enriched shallow lakes get warmer.- *Freshwat. Biol.* 56:541-553.

Trolle D., Jørgensen T.B. & Jeppesen, E. (2008a): Predicting the effects of reduced external nitrogen loading on the nitrogen dynamics and ecological state of deep Lake Ravn, Denmark, using the DYRESM-CAEDYM model. *Limnologia* 38: 220-232.

Trolle, D., Skovgaard, H. & Jeppesen, E. (2008b): The Water Framework Directive: Setting the phosphorus loading target for a deep lake in Denmark using the 1D lake ecosystem model DYRESM-CAEDYM – *Ecol. Model.* 219:138-152.

Wiberg-Larsen, P. et.al, (2012): Vandløb 2011. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. 70 s. – Videnskabelig rapport fra Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 32.

Wiberg-Larsen, P. et.al, (2013): Vandløb 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. 75.

Yuan G., T Cao, H. Fu, X. Zhang, W. Li, X. Song, L. Ni, P. Xie & E. Jeppesen, (2013): Linking carbon and nitrogen metabolism to depth distribution of submersed macrophytes in lakes based on NH₄⁺ fertilization tests and a field survey – *Freshwat. Biol.*- online.

Zhu Z.Y., Chen C., Jia H.X., Wei L. & Yin D.Q. (2006): Effects of different nitrogen forms on growth and physiological indexes of *Vallisneria spiralis*. *Journal of Plant Resources & Environment*, 15, 48-51.

[Tom side]

SØER 2012

NOVANA

Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i 2012 og beskriver udviklingen i udvalgte kemiske og fysiske miljøindikatorer siden overvågningens begyndelse i 1989 i 15 af de søer, der indgår i Kontrolovervågning af søernes udvikling. Derudover er der givet en beskrivelse af undervandsplanternes udvikling i søerne i perioden 1993-2012 samt en overordnet status for dyreplankton i perioden 1989-2009. Miljøtilstanden er generelt forbedret siden 1989. Forbedringerne ses tydeligst i de vandkemiske indikatorer, og fortrinsvis i det første årti af overvågningsperioden, men også resultaterne af vegetationsundersøgelserne viser tendenser til forbedringer. Rapporten giver yderligere en status over tilstanden i 58 søer undersøgt i perioden 2011-2012, der repræsenterer flere søtyper og næringsstofniveauer. De to hyppigste søtyper udgør 81 % af søerne og må gennemsnitligt set betegnes som næringsrige, trods tendens til et generelt fald i næringsstofniveau siden 2004-2009.

ISBN: 978-87-7156-034-3

ISSN: 2244-9981