



SØER 2015

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 207

2016



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

SØER 2015

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 207

2016

Liselotte Sander Johansson
Martin Søndergaard
Erik Jeppesen
Frank Landkildehus
Ane Kjeldgaard
Lisbet Sortkjær
Jørgen Windolf
Jens Bøgestrand

Aarhus Universitet, Institut for Bioscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 207
Titel:	Søer 2015
Undertitel:	NOVANA
Forfattere:	Liselotte Sander Johansson, Martin Søndergaard, Erik Jeppesen, Frank Landkildehus, Ane Kjeldgaard, Lisbet Sortkjær, Jørgen Windolf & Jens Bøgestrand
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Januar 2017
Redaktion afsluttet:	November 2016
Faglig kommentering:	Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning
Sproglig kvalitetssikring:	Anne Mette Poulsen
Kvalitetssikring, DCE:	Poul Nordemann Jensen
Finansiel støtte:	Miljø- og Fødevareministeriet
Bedes citeret:	Johansson, L.S., Søndergaard, M., Jeppesen, E., Landkildehus, F., Kjeldgaard, A., Sortkjær, L., Windolf, J. & Bøgestrand, J. 2016. Søer 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 90 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 207. http://dce2.au.dk/pub/SR207.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i perioden 2010-2015, og beskriver udviklingen i udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer siden overvågningens begyndelse i 1989. Atten søer indgår i kontrolovervågning af søers udvikling, og resultaterne fra vegetations- og fiskeundersøgelser indikerer forbedring i mange af søerne. Reduktion i den gennemsnitlige fiskestørrelse kan dog være tegn på, at den generelle temperaturstigning i nogen grad modvirker de positive effekter af reduktionen i næringsstofftilførslen. Undersøgelser af totalfosfor, jern, tørstof og glødetab i søsedimentet viser kun ændring i et fåtal af søerne. Rapporten giver også en status over tilstanden i 180 søer indeholdt i kontrolovervågning af søers tilstand. Resultaterne af vandkemiske analyser og af biologiske undersøgelser udviser stor variation, men flere af parametrene indikerer forbedring af tilstanden i de mest almindelige søtyper siden perioden 2004-2009. Også her er der stor variation i sedimentindholdet af totalfosfor, jern, tørstof og glødetab. Miljøfremmede stoffer og metaller er undersøgt i sedimentet og kviksløv i fisk er undersøgt i 82 af søerne i kontrolovervågningen. Der er fastsat miljøkvalitetskrav for sediment for enkelte af de undersøgte stoffer, hvoraf der er fundet overskridelse i nogle af søerne. Indholdet af kviksløv i fisk er varierende og overstiger i enkelte tilfælde fødevarekravet, hvorimod Vandrammedirektivets miljøkvalitetskrav er oversteget i størstedelen af de analyserede fisk. Rapporten giver yderligere en overordnet status for tilstanden i de 362 søer, der indgår i den operationelle overvågning, som er i risiko for ikke at opfylde målsætningen. Generelt er spændet for tilstanden af søerne i den operationelle overvågning stort.
Emneord:	Søer, miljøtilstand, overvågning, Vandmiljøplan, NOVANA
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Martin Søndergaard
ISBN:	978-87-7156-237-8
ISSN (elektronisk):	2244-9981
ISSN:	2445-6683
Sideantal:	90
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf): http://dce2.au.dk/pub/SR207.pdf
Supplerende oplysninger:	NOVANA er et program for en samlet og systematisk overvågning af både vandig og terrestrisk natur og miljø. NOVANA erstattede 1. januar 2004 det tidligere overvågningsprogram NOVA-2003, som alene omfattede vandmiljøet.

Indhold

Forord	5
0 Sammenfatning	6
0.1 Overvågningsprogrammet	6
0.2 Kontrolovervågning af udvikling	7
0.3 Kontrolovervågning af tilstand	8
0.4 Operationel overvågning af søernes tilstand	10
0.5 Klima og afstrømning	10
1 Summary	11
1.1 The monitoring programme	11
1.2 Control monitoring of development	12
1.3 Control monitoring of environmental state	13
1.4 Operational monitoring of the lakes' environmental state	15
1.5 Climate and runoff	15
2 Undersøgelsesprogrammet	16
2.1 Kontrolovervågning	17
2.2 Operationel overvågning	22
2.3 Kortlægning af sønaturtyper i småsøer og vandhuller <5 ha	23
3 Kontrolovervågning af søernes udvikling	24
3.1 Generel karakteristik	24
3.2 Sedimentkemi	25
3.3 Vegetation	30
3.4 Fisk	33
4 Kontrolovervågning af søernes tilstand	39
4.1 Generel tilstand	39
4.2 Vandkemi	40
4.3 Sedimentkemi	44
4.4 Vegetation	51
4.5 Fisk	53
5 Miljøfremmede stoffer og metaller i sedimentet	58
5.1 Metaller	59
5.2 Pesticider	60
5.3 Aromatiske kulbrinter	62
5.4 Phenoler	63
5.5 Polyaromatiske kulbrinter (PAH)	64
5.6 Blødgørere	66
5.7 Organotinforbindelser	67
5.8 Sammenfatning	68
6 Kviksølv i fisk	70

7	Operationel overvågning af søernes tilstand	75
7.1	Generel tilstand	76
8	Klima og afstrømning	82
8.1	Temperatur og global indstråling	82
8.2	Nedbør	84
8.3	Afstrømning	85
8.4	Vindforhold	85
9	Referencer	86
	Bilag 1 Datagrundlag og metoder	88

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 2015.

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

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

I overvågningsprogrammet er der en arbejds- og ansvarsdeling mellem fagdatacentre og Styrelsen for Vand- og Naturforvaltning (SVANA) (tidligere Naturstyrelsen). Fagdatacentret for grundvand er placeret hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), fagcentret for punktkilder hos SVANA, mens fagdatacentre for ferskvand, marine områder, landovervågning samt arter og naturtyper er placeret hos Institut for Bioscience, Aarhus Universitet og fagdatacentret for atmosfæren hos Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet.

Denne rapport er udarbejdet af Fagdatacenter for ferskvand, og den har været i høring hos SVANA. Rapporten er baseret på data indsamlet af det daværende Naturstyrelsens naturforvaltningsenheder.

Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenterrapporter i Vandmiljø og natur 2015, som udgives af DCE, GEUS og SVANA.

0 Sammenfatning

0.1 Overvågningsprogrammet

Det nuværende overvågningsprogram for søer (NOVANA) omfatter overvågning i forhold til EU's Vandrammedirektiv og EU's Habitatdirektiv. Jfr. Vandrammedirektivet foregår der to overordnede typer af overvågning - kontrolovervågningen og den operationelle overvågning. Jfr. Habitatdirektivet foregår der kontrolovervågning og kortlægning af sø-naturtyper. For kontrolovervågningen af sø-naturtyper og kortlægningen af disse i småsøer og vandhuller <5 ha findes der et særskilt program.

Kontrolovervågningen af søer inddeles i to typer; overvågningen af den generelle tilstand i søer (repræsenteret ved de såkaldte KT-søer, der i perioden 2010-2015 har omfattet 180 søer >5 ha) og overvågningen af udviklingen i søer (de såkaldte KU-søer, der omfatter 18 søer >5 ha). I den operationelle overvågning, der er rettet mod søer, som er i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet for deres tilstand, er der i perioden 2011-2015 undersøgt i alt 362 søer >5 ha (heri er ikke medregnet de søer i kontrolovervågningen, som også overvåges operationelt). Kontrolovervågningen af sø-naturtyperne omfatter i alt 350 småsøer og vandhuller, mens kortlægningen har omfattet ca. 1800 i perioden 2011-2015.

Styrelsen for vand- og naturforvaltning (SVANA) forestår den standardiserede prøveindsamling. Alle indsamlede data indberettes til Fagdatacenter for ferskvand, som udarbejder årlige statusrapporter om den generelle tilstand og udvikling.

En overordnet oversigt over tilstanden i de undersøgte overvågningssøer for fire nøgleindikatorer er givet i tabel 0.1. Generelt er tilstanden bedre i de søer, som indgår i kontrolovervågningen end i de operationelt overvågede søer. Dette kan delvist forklares ved, at søerne i kontrolovervågningen er repræsentativt udvalgt, mens de operationelt overvågede søer for de flestes vedkommende er valgt, fordi de ikke forventes at opfylde målsætningen.

Tabel 0.1. Nøgleindikatorer for miljøtilstanden i kontrolovervågningen og i den operationelle overvågning (angivet som medianværdier for sommerperioden). For søer, der indgår i kontrolovervågning af udvikling, stammer resultaterne fra 2014, da der først i 2016 findes et fuldt opdateret datasæt for disse søer.

Undersøgelsesår	Kontrolovervågning af udvikling	Kontrolovervågning af tilstand	Operationel overvågning
	2014	2010-2015	2010-2015
Antal søer	18	180	362
Totalfosfor (mg/l)	0,053	0,075	0,107
Totalkvælstof (mg/l)	0,99	1,06	1,18
Sigtdybde (m)	1,5	1,1	0,8
Klorofyl a (µg/l)	28	32	42

I forhold til implementeringen af EU's Vandrammedirektiv og udarbejdelsen af vandområdeplaner arbejdes der i Danmark med 11 forskellige søtyper, der afgrænses i forhold til vanddybde (dyb, lavvandet), kalkholdighed (kalkrig, kalkfattig), brunfarvning (brunvandet, ikke brunvandet) og saltholdighed (fersk, brak). Præsentationen af data i denne rapport følger i de fleste tilfælde denne inddeling.

0.2 Kontrolovervågning af udvikling

Generelt

De 18 KU-søer der indgår i kontrolovervågningen af udvikling dækker et bredt spektrum både morfometrisk (størrelse og dybde) og næringsstofmæssigt. Det sommergennemsnitlige indhold af totalfosfor varierer eksempelvis mellem 0,014 og 0,272 mg/l og indholdet af totalkvælstof mellem 0,3 og 3,7 mg/l. Klorofylindholdet varierer mellem 4 og 176 µg/l og sigtdybden mellem 0,4 og 3,9 m. Alle værdier er fra 2014.

Sediment

Sedimentet i de fleste KU-søer er undersøgt fem gange siden overvågningsperiodens start i 1989 og er typisk undersøgt i seks dybder ned til 50 cm's dybde. Også sedimentet i KU-søerne er meget varierende, hvor eksempelvis tørstofindholdet i overfladesedimentet varierer mellem 3 og 38 %, jernindholdet mellem 3 og 137 mg Fe/g tv og fosforindholdet mellem 0,4 og 4 mg P/g tv.

Sedimentet har generelt kun ændret sig lidt gennem overvågningsperioden, og eventuelle ændringer drukner i den variation, der også findes mellem de tre prøvetagningsstationer i de enkelte søer. Dette gælder både, hvis man sammenligner overfladesedimentet og dybdeprofiler for henholdsvis lavvandede og dybe søer.

Vegetation

Undervandsplanterne er undersøgt siden 1993/94 i 10 af KU-søerne. Generelt har der været en svag positiv udvikling, hvor dækningsgraden, det plantefyldte vandvolumen og planternes dybdegrænse er øget. Blandt de enkelte KU-søer har der været en statistisk signifikant fremgang i dækningsgraden i otte ud af 15 søer, som har været fulgt gennem 6-18 år, mens der har været en reduktion i dækningsgraden i to søer. Også det plantefyldte vandvolumen og planternes dybdegrænse er øget i flere søer end de er reduceret i.

Fisk

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

Modsat forventningen fra de generelle relationer for danske søer, og det fiskeindeks, der bruges til at fastsætte til økologiske kvalitet på baggrund af fisk, er gennemsnitsvægten af fisk mindsket markant i mange af søerne, hvilket dog stemmer godt med resultater fra den intensivt studerede Søbygaard Sø. Formindskelsen tilskrives et varmere klima (bedre rekruttering i foråret og bedre vinteroverlevelse). Da små fisk er mere planktivore, vil det have negative effekter på dyreplankton og dermed på græsningstrykket på planteplankton. Det vil derfor i nogen grad modvirke tiltagene overfor næringsstofflørslen.

0.3 Kontrolovervågning af tilstand

Generelt

De 180 KT-søer, der er undersøgt i perioden 2010-2015 er oprindeligt udvalgt tilfældigt under hensyntagen til geografisk stratificering og udgør som sådan et repræsentativt udsnit af de danske søer >5 ha. Størstedelen af søerne er relativt små (medianværdien for søareal er 22 ha) og lavvandede (medianværdien for middeldybden er 1,7 m). Søerne er gennemgående næringsrige med en medianværdi for totalfosfor (sommermiddel) på 0,075 mg/l og totalkvælstof på 1,1 mg/l. Tilsvarende er søerne gennemgående uklare med en medianværdi for sigtdybde (sommergennemsnit) på 1,1 m og et klorofylindhold med median på 32 µg/l (sommergennemsnit).

Vandkemi i ni søtyper

Der findes vandkemiske data fra ni af de 11 søtyper i henhold til Vandrammedirektivet (se tabel 2.1). Nogle af disse typer er kun repræsenteret ved ganske få søer. De fire almindeligste søtyper (søtype 9, 10, 11 og 13), udgør tilsammen 91 % af alle KT-søerne. Blandt disse er søtype 11 (kalkrig, ikke brunvand, lavvand og saltholdig) den mest næringsrige (median af sommer-totalfosfor er på 0,140 mg/l) og også den med højest indhold af klorofyl *a* (median af sommergennemsnit er 56 µg/l) og laveste sigtdybde (median af sommergennemsnit er 0,8 m).

De fleste KT-søer er undersøgt gennem to perioder (2004-2009 og 2010-2015) og sammenligninger viser, at der generelt kun er sket få ændringer mellem disse to perioder. Dog er der tendens til at de mest næringsrige søer generelt er blevet lidt mindre næringsrige. Dette slår også igennem, hvis man ser på de enkelte søtyper; for nogle af de almindelige søtyper, er næringsstofindholdet statistisk signifikant reduceret fra 2004-2009 til 2010-2015.

Sediment

Fra KT-søerne er der sedimentdata fra 140 søer undersøgt i perioden 2010-2015. Blandt alle søtyper er der stor variation i de fire målte variable (tørstofindhold, glødetab, totalfosfor, totaljern) og ofte ses en faktor 10 eller mere mellem højeste og laveste målte værdier. Især indholdet af jern er meget varierende indenfor alle søtyper. Det generelle billede for alle de almindelige søtyper er, at tørstofindholdet øges med dybden, mens glødetabet (et udtryk for organisk indhold) og indholdet af fosfor mindskes med dybden.

Kun et fåtal af KT-søerne er også undersøgt i perioden 2004-2009, men umiddelbart kan der ikke ses væsentlige ændringer til perioden 2010-2015. For de almindeligste søtyper kan der etableres empiriske sammenhænge med en relativ høj forklaringsværdi mellem indholdet af totalfosfor og indholdet af jern og/eller glødetab.

Vegetation

Undervandsvegetationen er undersøgt i 180 KT-søer omfattende i alt ni søtyper. De fire parametre (planternes dækningsgrad, det plantefyldte vandvolumen, planternes dybdegrænse og antallet af arter) varierer meget indenfor de enkelte søtyper. Både dækningsgrad og det plantefyldte volumen varierer fra

0 (laveste dækning i søer med planter er 0,14 %) til over 50 % og dybdegrænsen i den mest almindelige dybe søtype (søtype 10) varierer mellem 0,3 og >20 m i søer med planter. Også artsantallet er meget varierende, fra én til 46 arter.

Sammenlignet med perioden 2004-2009 er der ikke sket store ændringer til perioden 2010-2015. I den almindelige lavvandede søtype (søtype 9) er der dog en statistisk signifikant fremgang i både dækningsgrad, dybdegrænse og antal arter.

Fisk

Også i KT-søerne er fiskebestanden under ændring som følge af den generelt aftagende næringsstoftilførsel. Andelen af karpefisk (her defineret som skalle+brasen+hybrider) af den totale biomasse af fisk er aftaget fra perioden 2004-2009 til 2010-2015 i både de lavvandede og dybe søer (hhv. 6 % og 7 %), og samtidigt er andelen af rovfisk (her defineret som aborre, sandart og gedde, alle >10 cm) øget. Stigningen var i gennemsnit på 2,3 % for de lavvandede søer og 6 % i de dybe søer. Det er især skalle, som er gået tilbage i søer, som har en høj biomasse af denne og omvendt aborrers biomasse, som er øget i søer med lav biomasse. Der er altså tale om en positiv udvikling i mange af søerne.

Miljøfremmede stoffer og metaller i sedimentet

I perioden 2011-2015 er der indsamlet sedimentprøver fra 82 søer til analyse af op til 53 miljøfremmede stoffer og metaller (omfatter syv grupper: metaller, pesticider, aromatiske kulbrinter, phenoler, polyaromatiske hydrocarboner (PAH'er), blødgørere og organotinforbindelser).

Næsten alle de undersøgte stoffer indenfor metaller, aromatiske kulbrinter, PAH'er og organotinforbindelser er fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen i de fleste søer, men i meget varierende koncentrationer. Phenoler er påvist i 1-53 % og blødgørere i 6-62 % af søerne. Pesticider er kun fundet i få søer (0-8 %).

For et fåtal af de undersøgte stoffer er der fastsat miljøkvalitetskrav (MKK) i sedimentet. Bly, cadmium og naphthalen blev i enkelte søer fundet i koncentrationer, der oversteg MKK, mens koncentrationen af methylnaphthalener oversteg MKK i 79% af søerne.

Kviksølv i fisk

Kviksølvindholdet i fisk er undersøgt ved at måle indholdet i muskelvæv fortrinsvist hos aborre med en længde på 20-25 cm. De undersøgte søer er stort set de samme, som er undersøgt for miljøfremmede stoffer og metaller i sedimentet.

Indholdet af kviksølv i fiskene er varierende, og der ser ikke ud til at være nogen entydig sammenhæng mellem kviksølvindhold og søtype. Samtidig er det fiskene fra nogle af de mest næringsfattige og /eller kalkfattige søer, som har de højeste kviksølvkonzentrationer. Indholdet af kviksølv (pr. tørvægtenhed) øges med øget fiskelængde.

For størstedelen af fiskene oversteg kviksølvkoncentrationen Vandrammedirektivets miljøkvalitetskrav, mens det generelle fødevarekrav blev overskredet i få tilfælde.

0.4 Operationel overvågning af søernes tilstand

I perioden 2011-2015 er der i den operationelle overvågning undersøgt 362 søer (ekskl. de kontrolovervågede søer, som også indgår i den operationelle overvågning). Disse søer er udvalgt med henblik på at generere indsatsplaner for målpopfyldelse, og er ikke repræsentative for tilstanden i de danske søer. Undersøgelsen har omfattet ni søtyper, hvoraf søtype 9, 10, 11 og 13 er de mest almindeligt undersøgte.

Den mest næringsrige søtype både hvad angår indhold af totalfosfor og totalkvælstof er søtype 15 (kalkrig, brunvandet, saltholdig, lavvandet), og det er også her, der ses de højeste klorofylkoncentrationer og den laveste sigtddybde. De to øvrige brunvandede søtyper (søtype 5 og 13) er ligeledes forholdsvis næringsrige. De mest næringsfattige søtyper er søtype 1 og 2 (kalkfattig, ikke brunvandet, fersk).

I hovedparten af de operationelt overvågede søer er undervandsplanterne også undersøgt. Disse viser også en stor variation i de undersøgte variable indenfor de enkelte søtyper.

0.5 Klima og afstrømning

Klimatisk set udmærkede 2015 sig ved at være lidt varmere - årsmiddeltemperaturen for hele Danmark var $\frac{1}{2}$ grad højere end gennemsnittet for 1990-2014, og også nedbørsmængden var stor og tangerede rekorden på 902 mm fra 1999. I hele syv måneder var nedbøren højere end normalen. Tilsvarende var afstrømningen på 421 mm, hvilket er en af de højeste værdier i hele perioden 1990-2015. Vindforholdene lå på normalen.

1 Summary

1.1 The monitoring programme

The current monitoring programme for lakes (NOVANA) includes monitoring relative to the EU Water Framework Directive and the Habitats Directive. According to the Water Framework Directive (WFD), there are two main types of monitoring – control monitoring and operational monitoring. According to the Habitats Directive, control monitoring and mapping of lake habitats are required. As to control monitoring of lake habitats and mapping of small lakes and ponds <5 ha, a separate programme exists.

Control monitoring of lakes is classified into two types – monitoring of the general environmental state of lakes (represented by the so-called KT-lakes, which in the period 2010-2015 included 180 lakes >5 ha) and monitoring the development in the lakes (the so-called KU-lakes, which included 18 lakes > 5 ha). In operational monitoring geared towards lakes at risk of not complying with the goals for nature and the environment as far as their environmental state is concerned, during the period 2011-2015 a total of 362 lakes >5 ha were examined (not including the KT-lakes and KU-lakes already being monitored operationally). Control monitoring of lake habitats included a total of 350 small lakes and ponds, while in the period 2011-2015 mapping included approximately 1800 lakes.

The Agency for Water and Nature Management (SVANA) is in charge of the standardized collection of samples. All collected data are reported to the National Topic Centre for Freshwater, which prepares annual progress reports on the general environmental state and development in Danish lakes.

A comprehensive overview of the environmental state in the investigated monitoring lakes for four key parameters is given in table 0.1. The environmental state in the lakes included in control monitoring is generally better than in the lakes that are operationally monitored. This can be due to the fact that the control monitored lakes are selected representatively, while the operationally monitored lakes, for the most part, have been selected because they not are expected to meet the target.

Table 0.1. Key indicators of the environmental state in the control and operational monitoring (indicated as median values for the summer period). For lakes included in control monitoring of development, the results are from 2014, as a completely updated set of data for these lakes did not exist till 2016.

	Control monitoring of development	Control monitoring of environmental state	Operational monitoring
Investigation year	2014	2010-2015	2010-2015
Number of lakes	18	180	362
Total phosphorus (mg/l)	0.053	0.075	0.107
Total nitrogen (mg/l)	0.99	1.06	1.18
Secchi depth (m)	1.5	1.1	0.8
Chlorophyll a (µg/l)	28	32	42

In connection with implementing the WFD and preparing water plans, Denmark is working with 11 different lake types that are defined by water depth (deep, shallow), calcium content (calcareous, lime poor), browning (brown water, non-

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

1.2 Control monitoring of development

In general

The 18 KU-lakes included in the control monitoring of development cover a broad spectrum, both morphometrically (size and depth) and nutrient wise. For instance, the average total phosphorus concentration in the summer varies between 0.014 and 0.272 mg/l, and the total nitrogen concentration varies between 0.3 and 3.7 mg/l. The chlorophyll *a* concentration varies between 4 and 176 µg/l and the Secchi depth between 0.4 and 3.9 m. All values are from 2014.

Sediment

The sediment in most of the KU-lakes has been examined five times since the beginning of the monitoring period in 1989 and has, typically, been examined at six depths, as deep as 50 cm. The sediment in the KU-lakes also varies a great deal, e.g. the dry matter content in surface sediment varies between 3 and 38%, the iron content between 3 and 137 mg Fe/g dw and the phosphorus content between 0.4 and 4 mg P/g dw.

In general, the sediment has changed little during the monitoring period, and any changes are lost in the variation that also exists between the three sampling stations in each lake. This applies whether you are comparing surface sediment or depth profiles for shallow and deep lakes, respectively.

Vegetation

Submerged macrophytes have been studied since 1993/94 in 10 of the KU-lakes. In general, there has been a slightly positive development, where coverage, the plant filled water volume and the plant depth limit have increased. Among the individual KU-lakes, a statistically significant increase in coverage has been found in eight of 15 lakes that have been monitored for 6-18 years, while a reduction in coverage has been found in two lakes. The plant-filled water volume and the plant depth limit have also increased in the majority of the lakes.

Fish

Studies of fish in the KU-lakes have been conducted since 1989. Analyses indicate that the fish population is changing as a result of the generally decreasing nutrient supply. Thus, there is a tendency that cyprinids are decreasing and predatory fish increasing in some of the lakes, with the biggest changes occurring in bio-manipulated lakes and the lakes that were most nutrient-rich at the beginning of the monitoring period.

Contrary to the expectations from the general relationships in Danish lakes and the fish index used to determine the ecological quality based on fish, the average weight of fish has decreased significantly in many of the lakes, which, however, corresponds to results from the intensively studied Lake Søbygaard. The decrease is attributed to a warmer climate (better recruitment in spring

and better survival during winter). As small fish more often are more planktivorous, this will have negative impacts on zooplankton and, consequently, on the grazing pressure on phytoplankton. This, therefore, counteracts the measures taken to reduce the nutrient input.

1.3 Control monitoring of environmental state

In general

The 180 KT-lakes studied in the period 2010-2015 were originally randomly selected taking geographic stratification into account, and, as such, they constitute a representative sample of Danish lakes >5 ha. The majority of the lakes are relatively small (median lake area is 22 ha) and shallow (median average depth is 1.7 m). Overall, the lakes are nutrient-rich with a median total phosphorus concentration of 0.075 mg/l and a mean total nitrogen concentration of 1.1 mg/l. Similarly, the lakes are generally turbid with a median Secchi depth (summer average) of 1.1 m and a chlorophyll *a* concentration of 32 µg/l (summer average).

Water chemistry in nine types of lakes

Water chemistry data exists from nine of the 11 types of lakes under the WFD (see Table 2.1). Some of the types are only represented by very few lakes. The four most common types of lakes (lake types 9, 10, 11 and 13) together constitute 91% of all the KT-lakes. Of these, lake type 11 (calcareous, non-brown water, shallow and saline) is the most nutrient-rich (summer total phosphorus median is 0.140 mg/l), and also has the highest chlorophyll *a* concentration (summer average median is 56 µg/l) and lowest Secchi depth (median summer average is 0.8 m).

Most KT-lakes have been studied in two periods (2004-2009 and 2010-2015) and comparisons show that, in general, only few changes have taken place between these two periods. However, overall, the most nutrient-rich lakes tend to have become less nutrient-rich. This is also evident if you look at the various lake types; for some of the common lake types, the nutrient content has declined statistically significantly from 2004-2009 to 2010-2015.

Sediment

For the KT-lakes, sediment data from 140 lakes were examined in the period 2010-2015. For all lake types, the four measured variables vary greatly (dry matter content, loss on ignition, total phosphorus, total iron), and often a factor of 10 or more can be seen between the highest and lowest measured values. Particularly, the iron content varies greatly in all lake types. The general picture for all common lake types is that the dry matter content increases with depth, while the loss on ignition (an expression of organic content) and the phosphorus content decrease with depth.

Only a few of the KT-lakes were also examined in the period 2004-2009, but there are no obvious changes compared with the period 2010-2015. For the most common lake types, empirical relationships can be established, which can be explained by the content of total phosphorus and iron content and /or LOI.

Vegetation

Submerged macrophytes have been studied in 180 KT-lakes covering a total of nine types of lakes. The four parameters (plant coverage, plant-filled water volume, plant depth limit and the number of species) vary greatly within each lake type. Both the coverage and the plant-filled volume vary from 0 to more than 50% (minimum coverage in lakes with plants is 0.14%), and the depth limit in the most common lake type (lake type 10) varies between 0,3 and >20 m in lakes with plants). The number of species also varies greatly in lakes, from one to 46 species.

Compared with the period 2004-2009, no major changes have taken place up to the period 2010-2015. However, in the common shallow lake type (lake type 9) there is a statistically significant increase in coverage, depth limit and the number of species.

Fish

The fact that the fish stocks are changing as a result of the generally decreasing nutrient input can also be seen in the KT-lakes. The proportion of cyprinids (here defined as roach+breem+hybrids) of total fish biomass has declined from 2004-2009 to 2010-2015 in both shallow and deep lakes (6 % and 7 %, respectively), and, at the same time, the proportion of predatory fish (here defined as walleye and pike, all >10 cm) has increased. The average increase was 2.3% in shallow lakes and 6% in deep lakes. Particularly roach has decreased in lakes with a high roach biomass and, vice versa, perch biomass has increased in lakes with a low biomass. In other words, there is a positive development in many of the lakes.

Hazardous substances and metals in the sediment

From 2011-2015, sediment samples were collected from 82 lakes for analysis of up to 53 environmentally hazardous substances and metals (including seven groups: metals, pesticides, aromatic hydrocarbons, phenols, polyaromatic hydrocarbons (PAHs), plasticizers and organotin compounds).

Nearly all the studied substances in metals, aromatic hydrocarbons, PAHs and organotin compounds were found in concentrations above the detection limits in most of the lakes, but in greatly varying concentrations. Phenols were detected in 1-53% and plasticizers in 6-62% of the lakes. Pesticides were only found in a limited number of lakes (0-8%).

For a few of the investigated substances environmental quality requirements are determined. In some lakes lead, cadmium and naphthalene were found in quantities exceeding the requirements, while the concentration of methyl-naphthalenes exceeded the requirements in 79 % of the lakes.

Mercury in fish

Mercury contents were studied in fish by measuring the contents in the muscle tissue, mainly in perch measuring 20-25 cm. The studied lakes overall included the same lakes that were studied for hazardous substances and metals in the sediment.

The mercury content in fish varies and there appears to be no clear correlation between mercury content and lake type. At the same time, fish from some of the most nutrient-poor and / or lime-poor lakes have the highest mercury concentrations. The mercury content (per dry weight unit) increases with increasing length of the fish.

For the major part of the fish, the mercury concentrations exceeded the environmental quality requirements of the Water Framework Directive, whereas the general food requirements were only exceeded in a few cases.

1.4 Operational monitoring of the lakes' environmental state

In the period 2011-2015, 362 lakes were studied in the operational monitoring (excl. the control monitored lakes that are also included in the operational monitoring). These lakes were selected in order to generate action plans to meet the goals and are not representative of the environmental state in the Danish lakes. The study included nine types of lakes, of which lake types 9, 10, 11 and 13 are the ones most commonly studied.

The most nutrient-rich lake type, both in regards to total phosphorus and total nitrogen, is lake type 15 (calcareous, brown water, saline, shallow), and it is also here that the highest chlorophyll *a* concentrations and the lowest Secchi depths are seen. The two remaining brown water lake types (lake type 5 and 13) are also relatively nutrient-rich. The most nutrient-poor lake types are type 1 and 2 (lime poor, non-brown water, fresh).

In most of the operationally monitored lakes, submerged macrophytes were also studied. They also show great variation in the studied variables for each lake type.

1.5 Climate and runoff

Climatically speaking, 2015 stood out by being a bit warmer – the annual mean temperature for all of Denmark was ½ degree above the average for 1990-2014, and the amount of precipitation was also high and close to the record of 902 mm in 1999. In seven months, the precipitation was above the norm. Similarly, runoff was 421 mm, which is one of the highest values in the entire period from 1990 to 2015. Wind conditions were normal.

2 Undersøgellesprogrammet

Siden vedtagelsen af Vandmiljøplan 1 i 1988 er der sket løbende tilpasninger af overvågningsprogrammerne. I perioden 1989-1997 omfattede overvågningsprogrammet 37 søer >5 ha, hvori der hvert år blev foretaget intensive kemiske/fysiske og biologiske undersøgelser. Kemiske/fysiske undersøgelser og planktonundersøgelser blev i hver sø foretaget to gange pr. måned om sommeren og én gang pr. måned om vinteren – i alt 19 gange. Derudover blev der årligt foretaget planteundersøgelser, mens fiskeundersøgelser blev foretaget hvert femte år i hver sø. I perioden 1998-2003 var antallet af søer reduceret til 31. I 2004, hvor den første NOVANA-periode trådte i kraft, og i årene derefter blev antallet af intensivt undersøgte søer reduceret yderligere, således at der i 2010 var 15 søer tilbage. Samtidig skete der en reduktion i frekvensen af de biologiske undersøgelser, således at planteundersøgelser nu foretages hvert tredje år og fiske- og planktonundersøgelser hvert sjette år. Fra og med 2015 skete der en reduktion i undersøgelsesfrekvensen af de kemiske/fysiske undersøgelser af søvandet, således at hver af de intensivt undersøgte søer bliver undersøgt hvert andet år. I 2011 blev programmet udvidet med tre søer (hvoraf to søer tidligere har indgået i programmet), således at der nu foretages intensive undersøgelser (kontrolovervågning af søernes udvikling se nedenfor) i 18 søer.

Reduktionen i antallet af de intensivt undersøgte søer i 2004 var nødvendig gjort af et behov for inddragelse af væsentligt flere søer (både mindre og større end 5 ha) i programmet, hvor undersøgelserne i de enkelte søer samtidig blev foretaget med lavere frekvens, både årligt og i overvågningsperioden som helhed. Det ekstensive program dækkede indtil 2008 tre størrelseskategorier af søer: >5 ha (Ekstensiv-1 søer), 0,1-5 ha (Ekstensiv-2 søer) og 0,01-0,1 ha (Ekstensiv-3 søer) og omfattede i gennemsnit 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 er siden da alene undersøgt i forbindelse med naturtypeovervågningen (se nedenfor). Samtidig overgik overvågningen af naturtyper i søer til søprogrammet. Undersøgelsesfrekvensen i hver af de ekstensivt undersøgte søer >5 ha er fra 2015 reduceret fra syv årlige prøvetagninger til fem prøvetagninger, som foregår i perioden maj-september. Disse søer (180 i perioden 2010-2015) er fra 2010 indeholdt i kontrolovervågningen af søernes tilstand.

Fra og med 2011 trådte den nuværende NOVANA-periode i kraft. De væsentligste behov for overvågning af søer gennemføres nu med udgangspunkt i de to EU-direktiver "Vandrammedirektivet" (Den Europæiske Union 2000) og Habitatdirektivet (Den Europæiske Union 1992). Således omfatter overvågningen i perioden 2011-2015 dels en *kontrolovervågning* og dels en *operationel overvågning* af søer >5 ha i henhold til Vandrammedirektivet. Søer <5 ha er omfattet af naturtypeovervågningen, der er defineret i Habitatdirektivet (Den Europæiske Union 1992).

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

Den operationelle overvågning skal give ”datagrundlaget til at vurdere tilstand for de søer, som er i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet i 2015. Desuden skal overvågningen bidrage med datagrundlag til at vurdere den nødvendige indsats” (Naturstyrelsen 2011). En nærmere beskrivelse af den operationelle overvågning findes i afsnit 2.2.

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

Søtyper i henhold til Vandrammedirektivet

I forhold til Vandrammedirektivets implementering og udarbejdelsen af vandplaner arbejdes der i Danmark med 11 forskellige søtyper. Søtyperne defineres med udgangspunkt i forskelle i kalkholdighed, brunfarvning, saltholdighed og middelvanddybde (tabel 2.1).

Tabel 2.1. Oversigt over de 11 danske søtyper anvendt i forbindelse med Vandrammedirektivets implementering. Grænserne for kalkrig-kalkfattig (alkalin – lavalkalin) er ved 0,2 meq/l (alkalinitet), brunvandet – ikke brunvandet ved 60 mg Pt/l (farvetal), fersk – saltholdig (brak) ved 0,5 ‰ (saltholdighed) og lavvandet – dyb ved en middelvanddybde ved 3 m (i vandplaner indgår evt. også graden af lagdeling).

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

2.1 Kontrolovervågning

Kontrolovervågningen omfatter tre hovedtyper: en overvågning af den generelle tilstand af søer >5 ha, en overvågning af udviklingen i søer >5 ha vurderet på baggrund af lange tidsserier samt en overvågning af den generelle tilstand i søer <5 ha til vurdering af Habitatdirektivets beskyttelse af sønaturtyper. En oversigt over kontrolovervågningens omfang er givet i tabel 2.2.

Samlet udgør de 198 søer >5 ha, som er omfattet af kontrolovervågningen, ca. 1/3 af alle danske søer i denne størrelsesgruppe (tabel 2.3).

Tabel 2.2. Kontrolovervågning – antal søer. ¹Ni søer pr. år fra og med 2015. ²Fra 2011.

Kontrolovervågning	Antal søer pr. år	Antal søer i perioden 2010 – 2015
Økologisk og kemisk tilstand		
Tilstand (søer >5 ha)	30	180
Udvikling (søer >5 ha)	18 ¹	18
Naturtyper		
Vandhuller (0,01-1 ha)	35	175 ²
Småsøer (1-5 ha)	35	175 ²

Tabel 2.3. Oversigt over måleprogrammer i kontrolovervågningen af søer >5 ha i perioden 2010-2015 med arealafgrænsning af programmerne, antal undersøgte søer samt måleprogrammets turnus. "% af alle" angiver, hvor stor en andel de udvalgte søer udgør af det samlede antal danske søer inden for hvert størrelsesinterval.

Programtype	Areal (hektar)	Antal søer	% af alle	Turnus (år)
Kontrolovervågning, udvikling (2010-2015)	7-4000	18	} 33	1*)
Kontrolovervågning, tilstand (2010-2015)	>5	180		6

*) Kemiske parametre. Biologiske parametre undersøges med lavere frekvens. Fra og med 2015 undersøges de kemiske parametre hvert andet år.

Kontrolovervågning af udvikling (søer >5 ha)

For at kunne give en detaljeret beskrivelse af tilstand og udvikling af udvalgte søtyper gennemføres der en mere intensiv overvågning af i alt 18 søer. Disse søer benævnes ofte KU-søer (Kontrolovervågning af Udvikling). Femten af disse søer var indtil 2010 en del af "Det intensive program" og har således gennemgået kemiske undersøgelser hvert år i perioden 1989-2014. Biologiske undersøgelser er foretaget med lavere frekvens. En af de tre "nye" søer, som blev en del af kontrolovervågningen af udvikling i 2011, har tidligere indgået i "Det intensive program" og to i andre dele af overvågningsprogrammet, men disse tre søer indgår, pga. afbrudt tidsserie eller uensartet prøvetagning, ikke i denne rapportes analyse af den generelle udvikling. En oversigt over de parametre, der indgår i kontrolovervågningen af søernes udvikling, samt deres undersøgelsesfrekvens fremgår af tabel 2.4.

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

Bufferkapacitet og forsureningsstatus kan beskrives ved måling af alkalinitet og pH, som sammen med bl.a. totaljern indgår i beskrivelsen af næringsstoffdynamikken i søerne. Herudover indgår også ilt- og temperaturprofiler, ledningsevne samt sigtddybde i en beskrivelse af de fysiske forhold i søvandet.

Afrapportering af fysiske og kemiske nøgleparametre i søvandet samt resultater for vand- og stofbalancer vil ske i 2017, da der her foreligger et samlet datasæt for disse parametre fra KU-søerne i perioden 2015-2016.

Tabel 2.4. Oversigt over måleprogram med årlige prøvetagningsfrekvenser i kontrolovervågningen af udvikling. Hver sø undersøges fra og med 2015 hvert andet år. 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.

	Epilimnion	Hypolimnion
<i>Vandkemiske og fysiske analyser:</i>		
- salinitetsprofil ^{*)}	19	5
- ledningsevne ¹	19	5
- ilt- og temperaturprofil ¹	19	5
- pH	19	5
- farvetalet	19	5
- alkalinitet	19	5
- nitrit+nitratkvælstof	19	
- ammoniumkvælstof	19	
- totalkvælstof	19	
- totalfosfor	19	
- opløst fosfat fosfor	19	
- klorofyl a	19	
- totaljern	19	
- silikat+silicium	19	
- suspenderet stof	19	
- glødetab af susp. stof	19	
- sigtdybde ¹	19	
- vandstand ¹	19	
<i>Vandføring¹</i>	12-26 eller kontinuert	
<i>Sedimentkemi</i>	hvert 6. år	
<i>Planteplankton</i>	12 hvert 6. år ** (1 gang pr. md.)	
<i>Miljøfremmede stoffer og metaller²</i>	1	
<i>Dyreplankton³</i>	12 hvert 6. år ** (1 gang pr. md.)	
<i>Vandplanter</i>	hvert 3. år	
<i>Fiskeundersøgelse</i>	hvert 6. år **	

¹⁾ Feltmålinger inkl. dybdeprofil for ilt og temperatur.

²⁾ Foretages i udvalgte søer på sediment (totalt 80 søer i perioden 2010-2015). Desuden analyseres fisk for kviksølv i disse søer.

³⁾ Udgået efter 2014.

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

^{**) Én gang i perioden 2010-2015.}

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.

Sedimentets indhold af totalfosfor og totaljern bestemmes en gang hvert sjette år til understøttelse af analyserne af næringsstofomsætningen i søerne.

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

nomiske sammensætning af plante- og dyreplanktonorganismer bliver opgjort gennem sæsonen hvert sjette år (dyreplankton er dog udgået efter 2014). Grundet problemer med tilgang til databasen bliver plante- og dyreplankton ikke præsenteret i denne rapport. Det forventes, at afrapportering af dette sker i 2017.

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

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

De biologiske og kemiske/fysiske parametre er ikke undersøgt samme år i alle søer. For de kemiske/fysiske parametre opnås der en værdi hvert andet år, og for de biologiske parametre opnås kun en enkelt værdi i en tre- eller seksårig periode.

Kontrolovervågning af tilstand (søer >5 ha)

Til overvågning af de danske søers generelle økologiske og kemiske tilstand er der gennemført undersøgelser i 30 søer >5 ha hvert år, dvs. i alt 180 søer, i perioden 2010-2015. Disse søer benævnes ofte KT-søer (Kontrolovervågning af Tilstand). En del af disse søer indgår tillige i det operationelle program (se afsnit 2.2) og er blevet undersøgt for sigtddybde og udvalgte vandkemiske parametre to gange i perioden.

KT-søerne var i NOVANA 2004-2009 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 brakvands-søer, er omfattet.

Vandkemiske og fysiske forhold følges månedligt i sommerperioden (maj-september) med få nøgleparametre (tabel 2.5).

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

Ud over vandkemiske og biologiske undersøgelser er sedimentet undersøgt for totalfosfor og totaljern i alle søer samt for miljøfremmede stoffer og metaller i 80 søer fra kontrolovervågningen, herunder de 18 KU-søer. I disse søer er der desuden undersøgt for kviksølv i muskelvæv af fisk, der blev udvalgt i forbindelse med fiskeundersøgelsen.

Parametre, der indgår i kontrolovervågningen af søernes tilstand, og deres frekvens fremgår af tabel 2.5.

Tabel 2.5. Oversigt over parametre og antal prøver i kontrolovervågningen af tilstand. De fem prøver tages månedligt fra 1. maj til 30. september som blandingsprøver fra overfladevandet. I tilfælde af springslagsdannelse måles ilt- og temperaturprofil, og der måles pH og totalfosfor i hypolimnion.

Parametre	Antal prøver pr. år
<i>Vandkemiske og fysiske analyser:</i>	
- salinitetsprofil ¹	5
- ledningsevne	5
- ilt- og temperaturprofil	5
- pH	5
- farvetal	5
- alkalinitet	5
- totalkvælstof	5
- totalfosfor	5
- klorofyl a	5
- suspenderet stof	5
- sigtdybde	5
<i>Miljøfremmede stoffer og metaller²</i>	1
<i>Vandplanter</i>	1
<i>Planteplankton</i>	5
<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 – heraf de 18 KU-søer) i perioden 2011-2015). Desuden analyseres fisk (muskelvæv) for kviksølv i disse søer.

Kontrolovervågning af sønaturtyper

Til vurdering af bevaringsstatus og udvikling af Habitatdirektivets beskyttede sønaturtyper er der i perioden 2011-2015 årligt 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 søerne udvalgt, 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 Ekstensiv-3 søer). Derved er det muligt med tiden at få et indtryk af søernes udvikling.

Parametre, der indgår i kontrolovervågningen af naturtypesøerne <5 ha, fremgår af tabel 2.6. Hver sø bliver undersøgt én gang i perioden. Der foreligger endnu ikke et færdigudviklet tilstandsvurderingssystem for søer >5 ha.

Tabel 2.6. Oversigt over parametre i overvågningen af naturtypesøer <5 ha.

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

Afrapportering af resultater for kontrolovervågningen af sønaturtyper vil ske i 2017.

2.2 Operationel overvågning

For at tilvejebringe data til brug ved vurdering af tilstanden i søer, der er i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet, og for at opnå datagrundlag til at vurdere den nødvendige indsats er der hvert år foretaget undersøgelser gennemsnitligt i ca. 70 søer >5 ha. Derudover gælder det, at ca. 75 % af søerne, der er omfattet af kontrolovervågningen, har behov for operationel overvågning. Det vil sige, at i alt ca. 420 søer >5 ha indgår i den operationelle overvågning i perioden 2011-2015. Søerne i den operationelle overvågning er udpeget af SVANA.

Søerne er udvalgt efter følgende kriterier (Naturstyrelsen 2011):

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

Undersøgelserne i den operationelle overvågning omfatter udvalgte vandkemiske og fysiske parametre samt undersøgelse af sediment og vandplanter (tabel 2.7).

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

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

Parametre	Antal prøver pr. år
<i>Vandkemiske og fysiske analyser</i>	
- salinitetsprofil ¹⁾	5
- ledningsevne	5
- profilmålinger (Ilt, temperatur)	5
- pH	5
- farvetalet	5
- alkalinitet	5
- totalkvælstof	5
- totalfosfor	5
- klorofyl a	5
- suspenderet stof	5
- sigtdybde	5
- nitrit-nitrat kvælstof ²⁾	5
- opløst fosfat fosfor ²⁾	5
<i>Vandplanter²⁾</i>	1
<i>Sedimentkem²⁾</i> (totalfosfor, totaljern, tørstof, glødetab)	1
<i>Miljøfremmede stoffer og metaller²⁾</i>	1

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

2.3 Kortlægning af sønaturtyper i småsøer og vandhuller <5 ha

For at sikre et tilstrækkeligt vidensgrundlag for søerne i forhold til naturplanerne foregår der, i henhold til Habitatdirektivet, en kortlægning (dvs. fastlæggelse af naturtype og indsamling af data til tilstandsvurdering) af naturtyper i ca. 360 småsøer og vandhuller <5 ha pr. år, dvs. i alt ca. 1800 søer i perioden 2011-2015. Denne del af naturtypeovervågningen i søer blev tidligere benævnt operationel overvågning. Kortlægningen omfatter parametre nævnt i tabel 2.8. Dataindsamlingen til brug ved kortlægning af naturtyper i søer >5 ha følger programmet beskrevet ovenfor.

Tabel 2.8. Oversigt over parametre, der indgår i kortlægning af naturtyper i småsøer og vandhuller <5 ha.

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

3 Kontrolovervågning af søernes udvikling

Denne del af rapporten indledes med en generel karakteristik af de 18 KU-søer (figur 3.1). Femten af KU-søerne var i perioden 1989-2010 omfattet af ”Det intensive program” og har dermed gennemgået intensive undersøgelser siden 1989. Resultaterne af kemiske og fysiske analyser for perioden 1989-2014 er præsenteret i detaljer i rapporten ”Søer 2014” (Johansson m.fl. 2015). Da de fysiske og kemiske parametre nu undersøges hvert andet år, vil data fra perioden 2015-2016 blive rapporteret i 2017, når data fra begge år foreligger.

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



I 2010 indledtes den første treårige turnus (2010-2012) for undersøgelserne af undervandsplanterne samt den seksårige undersøgelsesturnus for plankton-, sediment- og fiskeundersøgelser i perioden 2010-2015. Den anden treårige turnus (2013-2015) for undervandsplanter og den seksårige (hele perioden 2010-2015) turnus for fisk og plankton er dermed afsluttet. Analyser af sediment-kemi, vegetation og fisk bliver behandlet i hvert sit afsnit. Plankton forventes rapporteret i 2017 for perioden 2010-2015.

3.1 Generel karakteristik

Generelt dækker de 18 søer over store morfometriske forskelle, hvor f.eks. areal varierer mellem ca. 0,07 km² (Tranemose) og ca. 40 km² (Arresø), altså med mere end en faktor 500. Hydraulisk opholdstid varierer med omkring en faktor 300

(Hinge Sø ca. 0,05 år og Furesøen ca. 15 år). Også dybdemæssigt er der store forskelle fra søer med en maksimumdybde på 1,1 m (Tranemose) til 38 m (Furesøen).

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

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

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

3.2 Sedimentkemi

Sedimentet i KU-søerne undersøges gennemsnitligt én gang hvert 6. år. Det betyder, at i de fleste KU-søer er sedimentet undersøgt fem gange siden overvågningsperiodens start i 1989. To søer er dog undersøgt seks gange, mens to andre søer kun er undersøgt tre gange. Tre KU-søer har desuden været undersøgt siden 2011, og her er medtaget sedimentdata fra to søer - Tranemose og Keldsnor.

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

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

En oversigt over data fra sedimentundersøgelserne gennemført i 16 KU-søer i perioden 2010-2015 er givet i tabel 3.2.

Tabellen illustrerer, hvor forskelligt sedimentet er i de 16 søer. I overfladesedimentet varierer tørvægten mellem 3 og 38 %, glødetabet mellem 13 og 61 %, jernindholdet mellem 3 og 137 mg Fe/g tv og totalfosforindholdet mellem 0,4 og 4,0 mg P/g tv. Samme forhold gør sig gældende for de øverste 10 cm af sedimentet. Her er tørstofindholdet blot øget, mens glødetab og totalfosforindhold pr. tørstofindhold i de fleste tilfælde er reduceret.

Tabel 3.2. De 16 KU-søer, hvor sedimentet er undersøgt i perioden 2010-2015. Tallene er gennemsnit af tre stationer pr. sø. 0-10 cm er gennemsnit af dybdeintervallerne 0-2, 2-5 og 5-10 cm.

Sø	0-2 cm				0-10 cm			
	tørvægt (%)	glødetab (%)	jern (mg Fe/g tv)	fosfor (mg P/g tv)	tørvægt (%)	glødetab (%)	jern (mg Fe/g tv)	fosfor (mg P/g tv)
Nors Sø	4,2	27,0	29,0	1,73	9,4	25,4	27,2	1,59
Hornum Sø	9,4	28,7	7,2	1,04	13,1	28,4	5,5	0,78
Tranemose	5,5	60,7	2,7	0,37	13,1	61,7	2,2	0,24
Hinge Sø	9,7	21,7	133,0	3,23	11,9	21,3	134,4	2,83
Ravn Sø	5,0	24,7	26,7	3,67	8,7	21,0	23,1	3,31
Søby Sø	4,9	30,0	136,7	2,77	6,6	29,6	146,7	3,16
Kvie Sø	37,6	12,9	5,3	0,81	49,3	9,9	4,2	0,50
Engelsholm Sø	7,5	29,7	47,0	3,57	8,4	27,7	40,2	2,56
St. Søgård Sø	11,7	23,0	27,3	2,33	14,4	21,7	25,6	1,95
Arreskov Sø	4,0	36,3	19,7	0,93	5,7	34,3	18,0	1,20
Søholm Sø	10,9	18,3	9,2	1,00	13,7	18,1	9,1	0,98
Keldsnor	17,8	19,7	11,7	0,88	24,7	15,6	10,9	0,80
Arresø	3,0	35,3	9,6	1,57	4,5	33,0	10,4	1,58
Furesøen	10,7	16,7	30,3	4,00	15,1	15,1	29,0	2,86
Maglesø	3,1	34,3	7,1	1,43	6,7	28,4	8,4	1,15
Vesterborg Sø	10,1	19,7	14,0	1,60	11,8	19,7	13,7	1,60

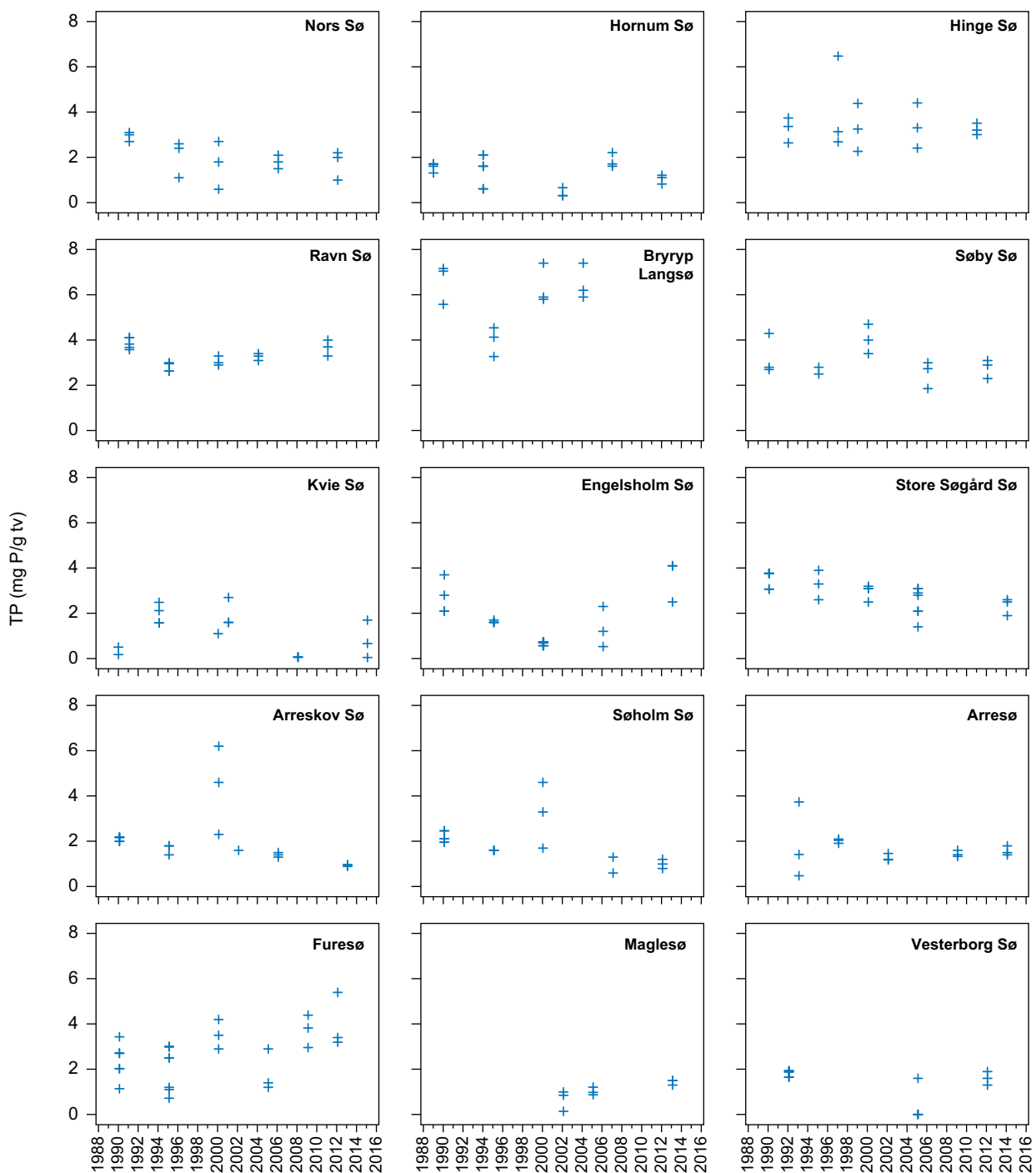
Totalfosfor

Femten af KU-søerne er undersøgt flere gange siden overvågningsperiodens start. Overfladesedimentets indhold af totalfosfor på de tre prøvetagningsstationer i disse 15 søer gennem overvågningsperioden er vist i figur 3.2.

Kun i tre af søerne er der tale om statistisk signifikante (lineær regression, $p < 0,05$) ændringer i overfladesedimentets fosforindhold, hvis der ses over hele overvågningsperioden. I St. Søgård Sø er fosforindholdet i overfladesedimentet reduceret, mens det er øget i Furesøen og Maglesø.

I nogle af søerne kan der være store ændringer i sedimentoverfladens indhold af totalfosfor indenfor få år. Ofte kan disse ændringer ikke umiddelbart relateres til andre ændringer i søerne og skyldes formentlig i de fleste tilfælde prøvetagningsvariationer og lokale variationer i søerne, men der kan også være søer, hvor der reelt kan være sket ændringer. I eksempelvis Arreskov Sø ser der ud til at være et øget fosforindhold i overfladesedimentet ved prøvetagningen i 2000, hvilket evt. kan hænge sammen med de store ændringer,

der har været i søens vandkvalitet og næringsstoffdynamik. I Furesøen skal det øgede fosforindhold i overfladesedimentet evt. relateres til søens iltning, som kan have ført til øget bindingskapacitet.



Figur 3.2. Udviklingen i TP (mg P/g tv) i overfladesedimentet (0-2 cm) i de 15 KU-søer, hvor der er taget prøver gennem flere år. Hvert punkt repræsenteret én prøvetagningsstation.

Eftersom der hele tiden sedimenterer nyt materiale på bunden af søer (via til- løb eller stof produceret i søen), vil overfladesedimentet taget igennem årene ikke – og de gælder også de andre dybdeintervaller – repræsentere det samme sediment. Sedimentationshastigheden kendes ikke og vil variere meget imellem søerne, men det, der var overfladesedimentet i 1990, ligger måske i 4-6 eller 8-10 cm's dybde 20 år senere ved prøvetagningen i 2010. Udviklingen i overfladesedimentets indhold af fosfor er derfor ikke så meget et udtryk for, om der er optaget eller frigivet fosfor, men i højere grad et udtryk for den sedimentation og de tilbageholdelsesmekanismer (herunder også en eventuel transport af fosfor op fra dybereliggende puljer), der har været gældende i perioden omkring og nogle få år forud for prøvetagningstidspunktet. Dertil kommer, at der, som også set i afsnittet om sedimentet i KT-søerne, er en betydelig variation mellem prøvetagningsstationerne i søen, som vil være med til at sløre eventuelle ændringer.

Jern-fosfor forhold

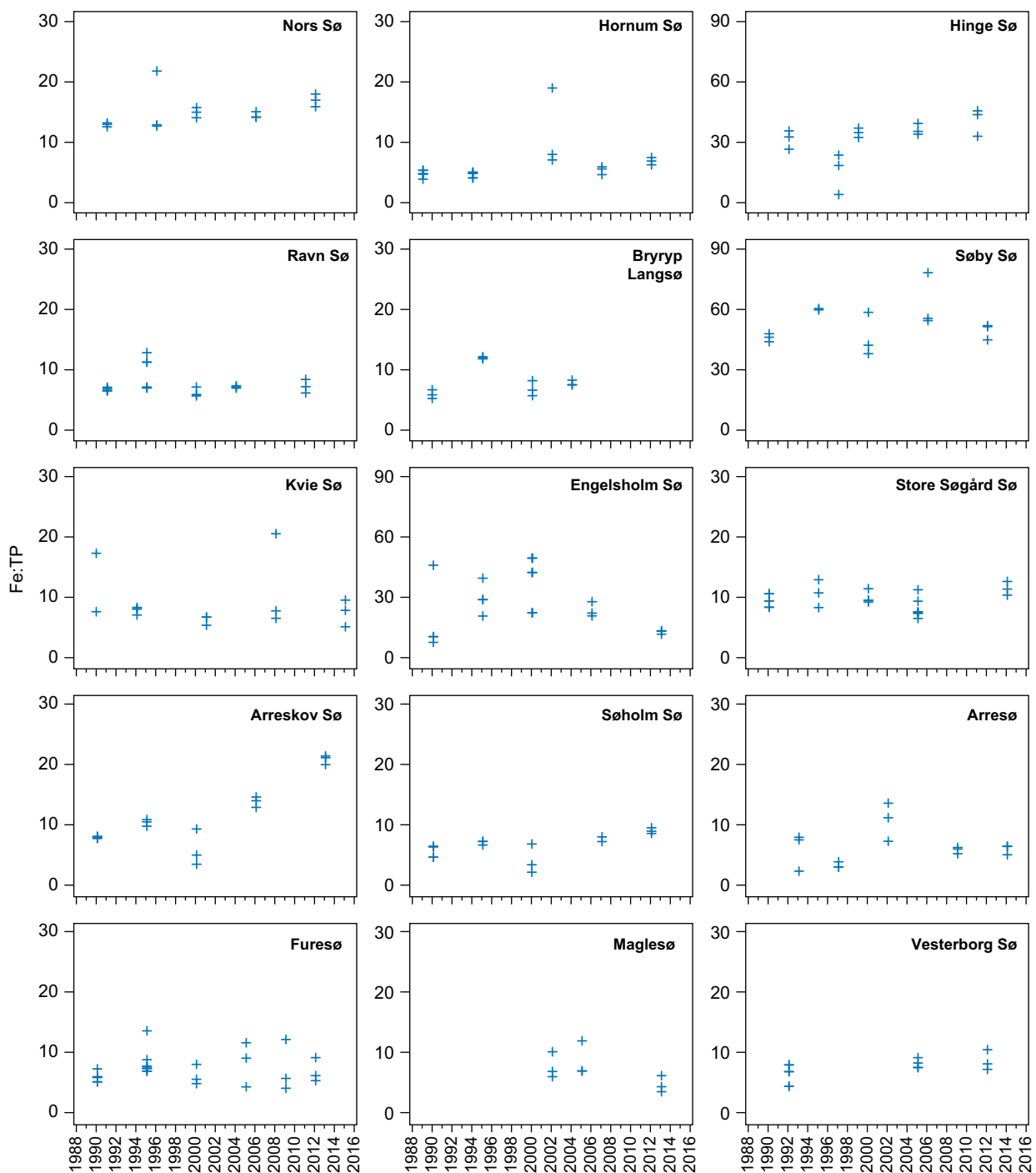
Jern–fosforforholdet (Fe:TP) har betydning for sedimentets evne til at tilbageholde fosfor under iltede forhold – jo højere Fe:TP-forhold, desto større er potentialet for at tilbageholde fosfor i sedimentet. I figur 3.3 er der vist, hvordan dette forhold har ændret sig i overfladesedimentet gennem overvågningsperioden.

Som det fremgår, så er der generelt kun få ændringer i Fe:TP forholdet gennem perioden, samtidigt med at der i nogle søer er en betydelig variation mellem de tre prøvetagningsstationer. Kun i tre af søerne – Arreskov Sø, Søholm Sø og Vesterborg Sø – er der tale om statistisk signifikante (lineær regression, $p < 0,05$) ændringer, hvis hele overvågningsperioden betragtes. I alle tre søer er Fe:TP forholdet øget, svarende til, at overfladesedimentet har fået en bedre bindingskapacitet.

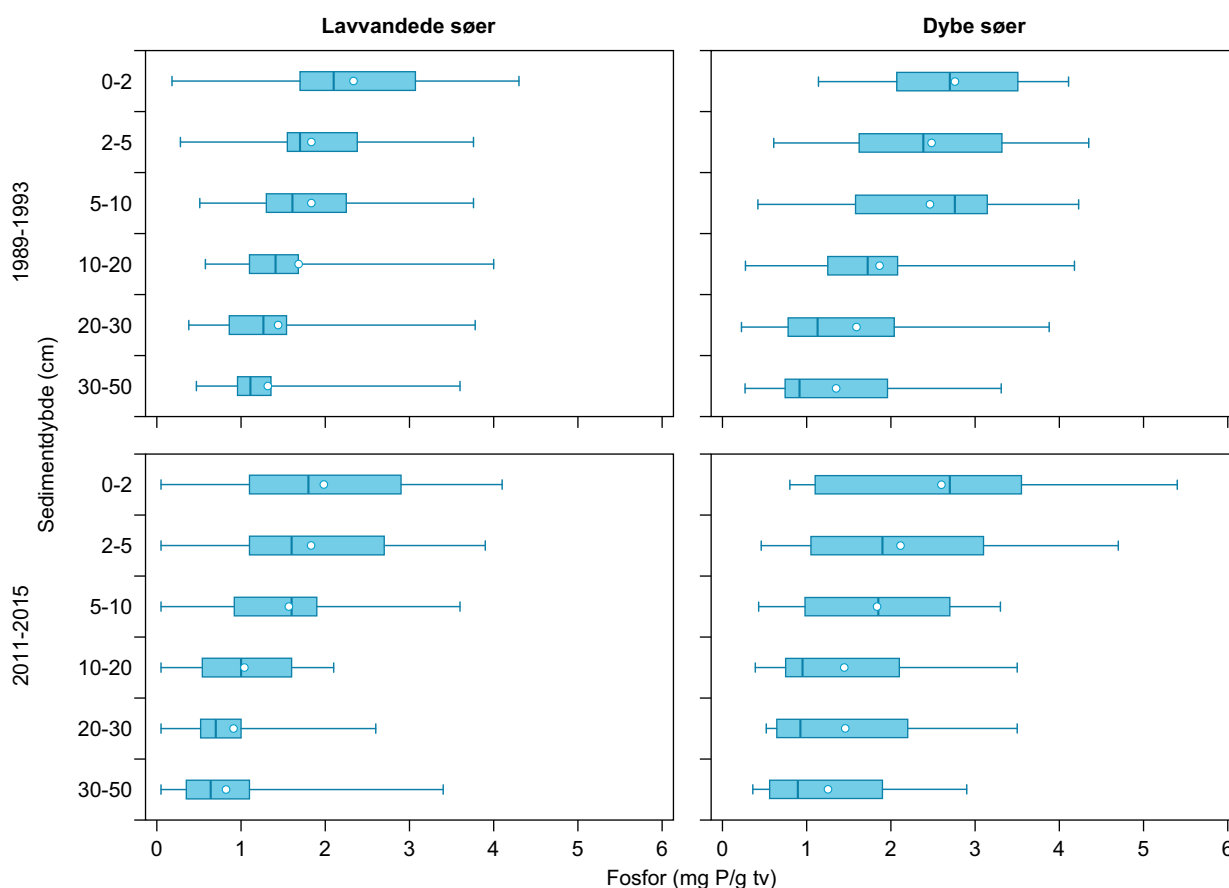
Dybdeprofil

I figur 3.4 er dybdeprofilen for dybe og lavvandede KU-søer af totalfosfor fra perioden 1989-1993 sammenlignet med en dybdeprofil taget i perioden efter 2010.

Den store variation søerne imellem og også inden for den enkelte sø (se figur 3.4) taget i betragtning kan der ikke ses væsentlige ændringer gennem de 20-25 år, der er imellem de to prøvetagninger. Fosforindholdet synes generelt mere varierende i sedimentet taget efter 2010, og der er også en tendens til mindre markante forskelle i dybden i de dybe søer, men ellers er der kun beskedne ændringer i disse gennemsnitlige profiler af dybe og lavvandede KU-søer.



Figur 3.3. Udviklingen i Fe:TP forholdet (vægtbasis) i overfladesedimentet (0-2 cm) i de 15 KU-søer, hvor der er taget prøver gennem flere år. Bemærk anden skala for Søby Sø, Hinge Sø og Engelsholm Sø. Hvert punkt repræsenteret én prøvetagningsstation.



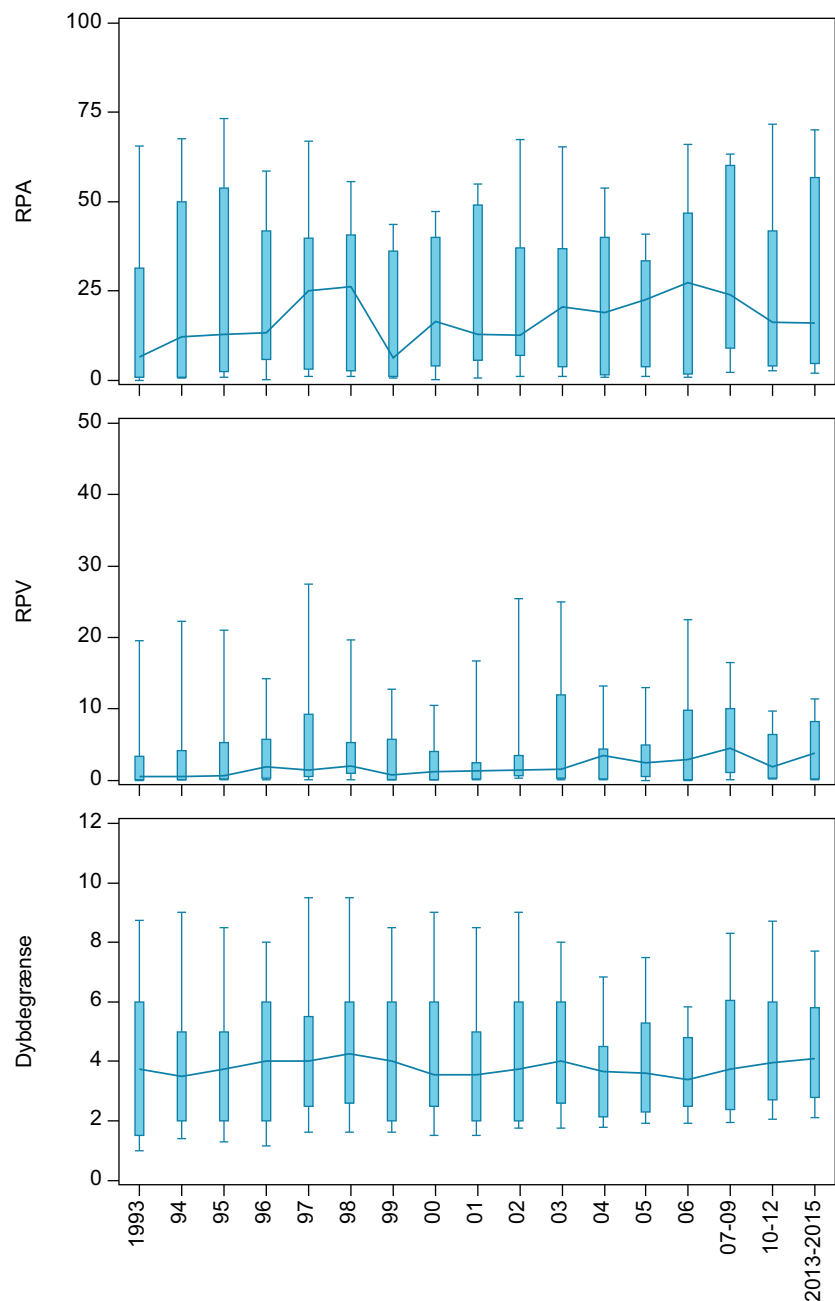
Figur 3.4. Sedimentprofiler af totalfosfor fra lavvandede og dybe KU-søer taget i henholdsvis perioden 1989-1993 og 2011-2015. Lavvandede søer er Hornum Sø, Hinge Sø, Søby Sø, Kvie Sø, Engelsholm Sø, St. Søgård Sø, Arreskov Sø, Arresø og Vesterborg Sø (data fra 1989-1993 og 2011-2015). Dybe søer er Nors Sø, Ravn Sø, Søholm Sø og Furesø (data fra 1990-1991 og 2011-2012). Nogle af de dybere sedimentlag (>20 cm dybde) repræsenterer ikke altid præcis 20-30 eller 30-50 cm, men i figuren er de lagt herunder for at gøre data sammenlignelige. Box-plottet angiver minimum og maksimum (to yderste linjer), 25 og 75% fraktiler (boxens ender, medianværdi (linjen inde i boxen) og middelværdi (cirkel inde i boxen).

3.3 Vegetation

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

Udviklingen i undervandsplanternes dækningsgrad, det relative plantefyldte volumen og planternes dybdegrænse i de ti søer, hvor der er undersøgt jævnlige siden 1993, er vist i figur 3.5. Der er betydelige variationer fra år til år, men tendensen for i hvert fald dækningsgraden og det plantefyldte volumen har været i positiv retning. Det lille antal søer, der indgår i figuren, betyder dog, at ændringer i enkelte eller få søer kan få relativ stor indflydelse på figuren.

Figur 3.5. Udviklingen i under-
vandsplanternes dækningsgrad
(RPA), relativt plantefyldt volu-
men (RPV) og dybdegrænse i de
ti søer, hvor der i perioden 1993-
2006 er foretaget årlige vegetati-
onsundersøgelser. I perioden
2007-2015 er søerne ikke under-
søgt årligt, og derfor er perio-
derne 2007-2009, 2010-2012 og
2013-2015 præsenteret ved ét
punkt på grafen. Søjlerne viser
10, 25, 75 og 90 % fraktiler. Lin-
jen viser medianværdien.



Resultaterne for de enkelte KU-søer er vist i figur 3.6. Figuren omfatter både de søer, som har været fulgt gennem hele overvågningsperioden, og de ekstra KU-søer, som kom til siden (nederste del af figuren).



Figur 3.6. Udviklingen i undervandsplanternes dækningsgrad (rpa), plantefyldte volumen (rpv) og den maksimale dybdegrænse i KU-søerne. rpa=blå og rpv=rød (venstre akse, %), dybdegrænse = grøn (højre akse, m). Bemærk forskellig skala.

I næsten alle KU-søerne er der betydelige variationer fra år til år i de tre variable, men i nogle af søerne ser der også ud til at være en udviklingstendens gennem årene. Dette gælder eksempelvis Kvie Sø, hvor der gennem hele perioden har været en positiv udvikling i planternes udbredelse, og i Hinge Sø, hvor der har været en positiv udvikling gennem de seneste ca. 10 år.

I tabel 3.3 er udviklingen i 15 søer testet. Tabellen bekræfter den positive udvikling i Hinge Sø og Kvie Sø, men også i flere af de andre søer er der sket signifikante ændringer. Samlet set er der 6-8 søer, hvor de tre undersøgte variable har haft en positiv udvikling, og 1-2 søer, hvor udviklingen har været negativ.

Tabel 3.3. Udviklingen i undervandsplanternes dækningsgrad (RPA), plantefyldte volumen (RPV) og dybdegrænse i 15 KU-søer undersøgt i perioden 1993-2015. -/+, --/++, ---/++++, - ---/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Antal år angiver antal undersøgelser i den enkelte sø inden for perioden.

	RPA	RPV	Dybdegrænse	Antal år
Nors Sø	+	0	0	17
Hornum Sø	---	---	0	18
Hinge Sø	++++	+++	+++	17
Ravnsø	0	0	---	18
Bryrup Langsø	0	0	0	6
Søby Sø	-	--	0	18
Kvie Sø	++++	++++	++++	18
Engelsholm Sø	++	+++	+++	8
Store Søgård Sø	0	0	0	7
Arreskov Sø	+	+	+++	17
Søholm Sø	+++	0	0	18
Arresø	++	+	+	7
Furesøen	0	0	+++	17
Maglesø	+++	++	0	18
Vesterborg Sø	0	0	0	7
I alt +/++/+++/++++	8	6	6	
I alt -/--/---/----	2	2	1	

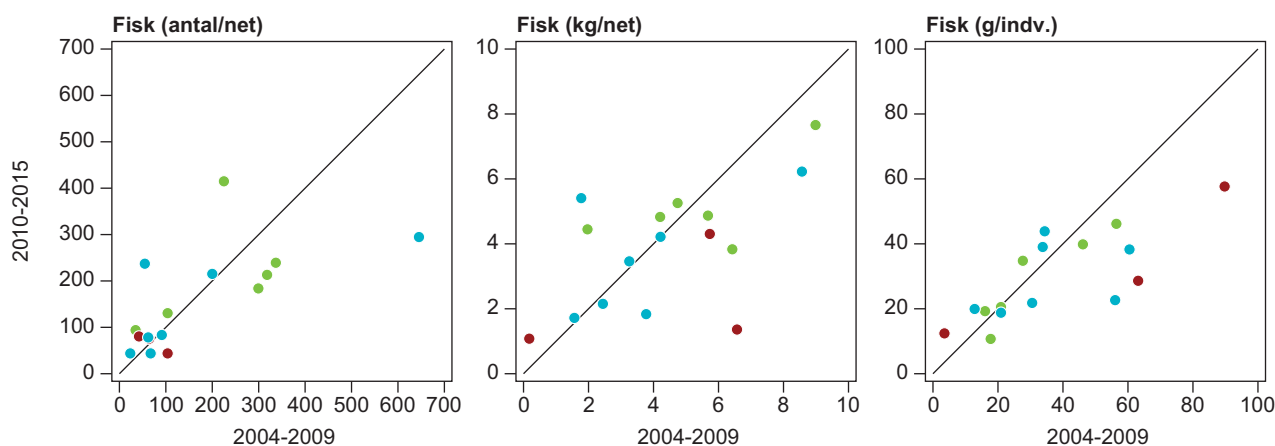
3.4 Fisk

En oversigt over karakteristika for fiskebestanden i 16 af KU-søerne for den seneste overvågningsperiode (2010-2015) er givet i tabel 3.4.

Tabel 3.4. Oversigt over karakteristika for fiskebestanden i 16 af KU-søerne for den seneste periode (2010-2015). Data er volumenkorregerede i forhold til de aktuelle dybdezoner i den enkelte sø.

	Gennemsnit	Median	Minimum	Maximum
CPUE (antal/net)	166	130	45	415
CPUE (kg/net)	3,7	4,2	0,27	7,7
Gns vægt (g/indiv.)	28	24	0,8	58
% rovfisk	35	27	21	72
% karpefisk	43	49	0	68

Fiskebestanden har været fulgt i 16 søer hvert 5-6 år siden 1989. Dog har der været anvendt forskellige nettyper og opgørelsesmetoder i perioden 1989-2003 og i den efterfølgende periode, hvilket vanskeliggør en egentlig sammenligning. Ændringerne inden for to perioder kan dog vurderes særskilt. Først vurderes de to seneste perioder: 2004-2009 og 2010-2015.



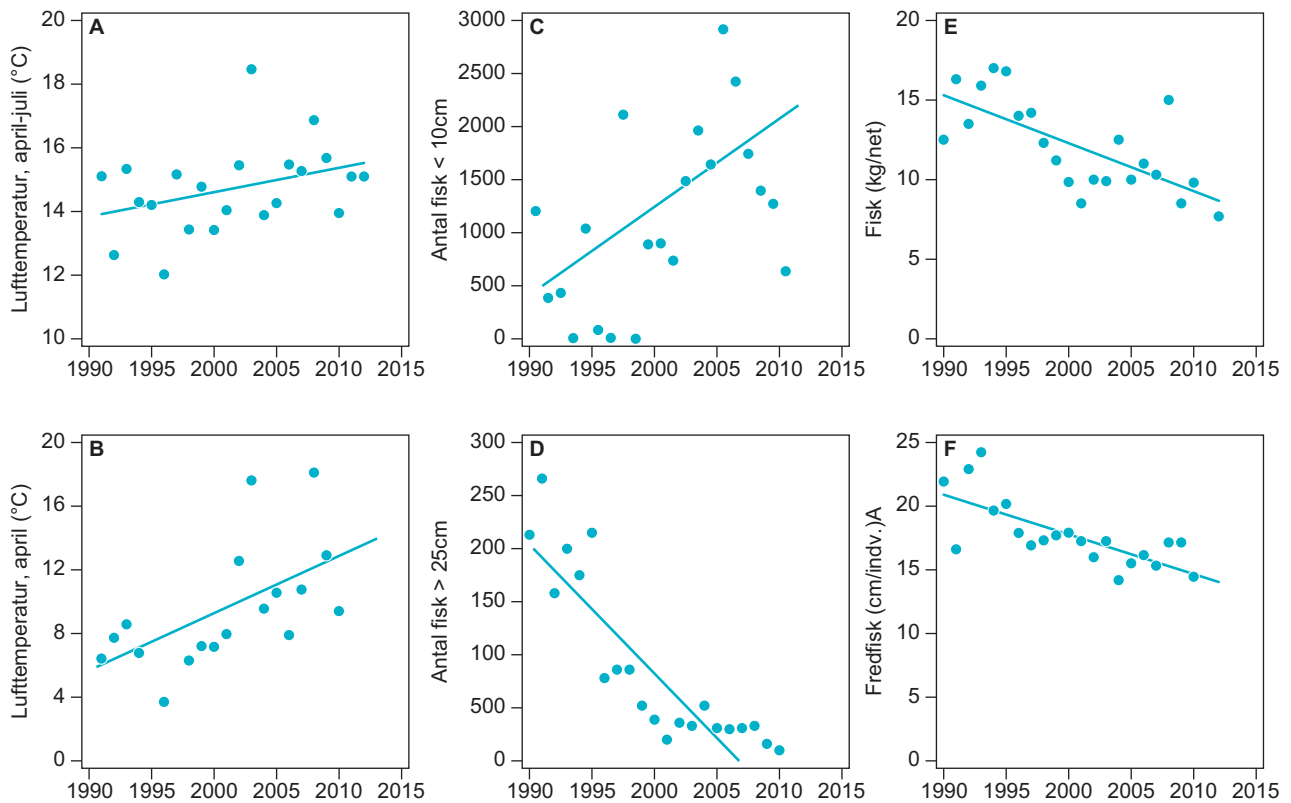
Figur 3.7. Sammenligning af det totale antal fisk pr. net, biomassen pr. net og gennemsnitsvægten af fiskene i perioden 2010-2015 i forhold til perioden 2004-2009. Ferske, lavvandede søer er vist med grønne prikker, dybe ferske søer er blå, og de lavvandede salte søer er røde.

Parvise analyser viser ingen signifikante ændringer i antal, biomasse og individvægt af fisk fra perioden 2004-2009 til 2010-2015. Dog er der en tendens til, at der i søerne med de største antal og biomasser (de mest næringsrige søer) er sket et fald i perioden (figur 3.7). Det er også de mest næringsrige søer, som har været udsat for den største reduktion i næringsstofftilførslen (Johansson m.fl. 2015). Desuden mindskes gennemsnitsvægten af fisk i søer, hvor gennemsnitsvægten er højest, og den parvise analyse viser en marginal signifikant ændring på de fulde sæt af søer ($p < 0,09$). En aftagende gennemsnitsvægt af fiskene stemmer ikke med forventningerne, man måtte have for søer, som har været udsat for en reduktion i næringsstofftilførslen (Jeppesen m.fl. 2000). Den skulle tværtimod stige. Forklaringen er måske en øget temperatur i søerne (især i de lavvandede). Et omfattende studie af den næringsrige Søbygård Sø har således vist faldende gennemsnitvægt af skalle og aborre over de sidste 20 år samstemmende med en øget temperatur i søen (figur 3.8). Det er sket på trods af et fald i næringsstoffniveauet, som alt andet lige skulle betyde en øget gennemsnitsvægt. En mindsket gennemsnitsstørrelse vil kunne øge prædationstrykket på dyreplanktonet og dermed mindske deres græsningstryk på algerne, som resultaterne fra Søbygård Sø også viser (Gutierrez m. fl. 2016).

For søer med en lav biomasse-procent af karpfisk (defineret som skalle, brasen og deres hybrider) er der en tendens (ikke signifikant ved parvis t-test) til en øget biomasseandel af disse fisk; omvendt er der tale om en aftagende andel for rovfisk (marginal signifikant $p < 0,09$) i søer med de højere rovfiskeprocenter (figur 3.9). Det første skyldes især øgning i biomassen af skalle i søer med lav biomasse af denne art (omvendt for de mest næringsrige søer med høj biomasse af skalle), mens nedgangen i rovfiskeprocenten mest skyldes et fald i fangsten af gedde målt som biomasse, men ikke som antal (figur 3.10). Geddens gennemsnitsstørrelse er således mindsket i en stor del af søerne. Dette kan være et sundhedstegn, da kannibalisme mindskes i klarvandede søer med en god bestand af undervandsplanter. I Kvie Sø, som er behandlet med kalk i overvågningsperioden, er der sket et skift i retning af karpfisk og mindre fisk.

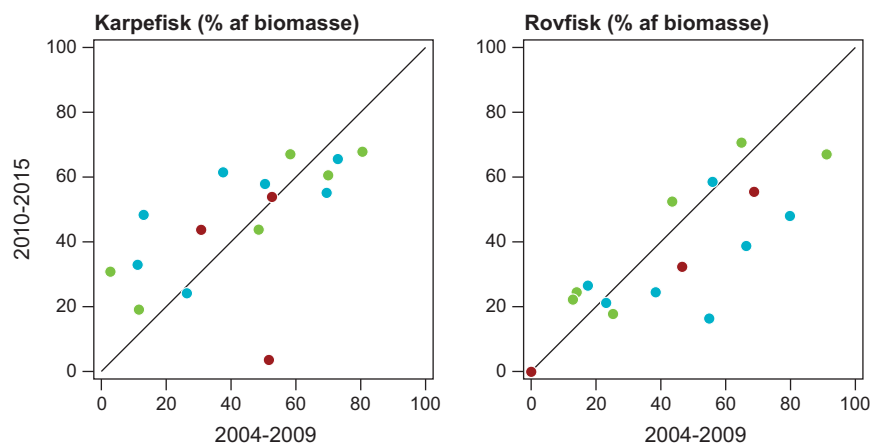
På grund af skift i fiskeundersøgelsesmetode er der ikke foretaget statistisk analyse for hele perioden, men der er nogle klare tendenser for en del af søerne (figur 3.11). I de næringsrige lavvandede søer, St. Søgård Sø, Vesterborg Sø og Arresø, er biomassen af karpfiskene faldet markant i perioden, og an-

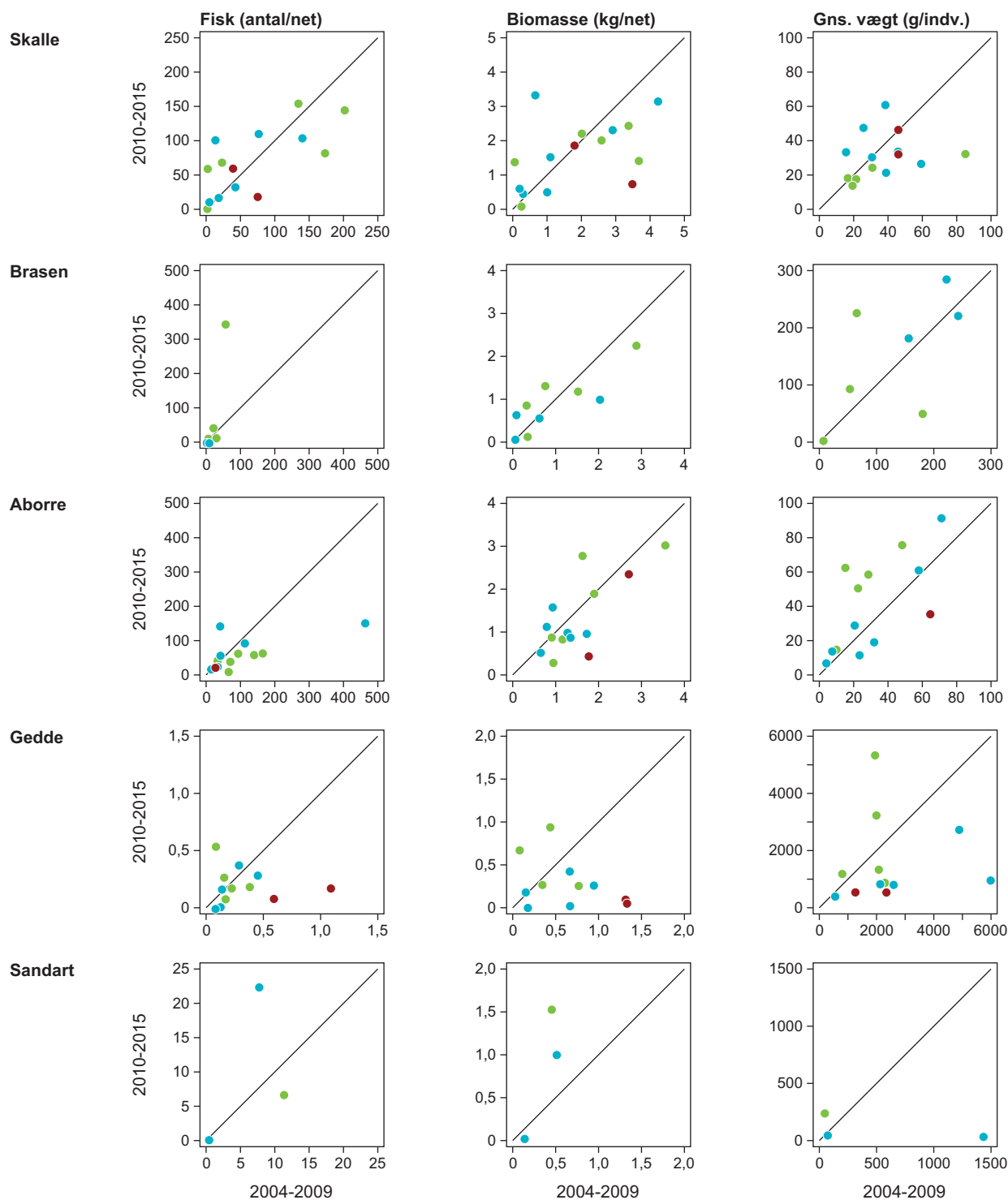
delen af rovfisk er steget i varieret grad. Samtidig er der sket et fald i gennemsnitsvægten af fiskene, meget markant i Arresø og St. Søgård Sø. Rovfiskenes andel er også steget i Hinge Sø og Nors Sø, og også her er gennemsnitsvægt af fisk mindsket. Omvendt er andelen af karpfisk øget i Hornum sø. I de bio-manipulerede søer (Engelsholm sø, Arreskov Sø, Furesøen – indgreb kort beskrevet på y-aksen i figur 3.11) er der sket de største stigninger i andelen af rovfisk og den største reduktion i andelen af karpfisk, mens der for disse søer ikke er klare ændringer i gennemsnitsvægten af fiskene set under ét. I Maglesø og Søholm Sø er der ikke fundet klare ændringer i de angivne variable.



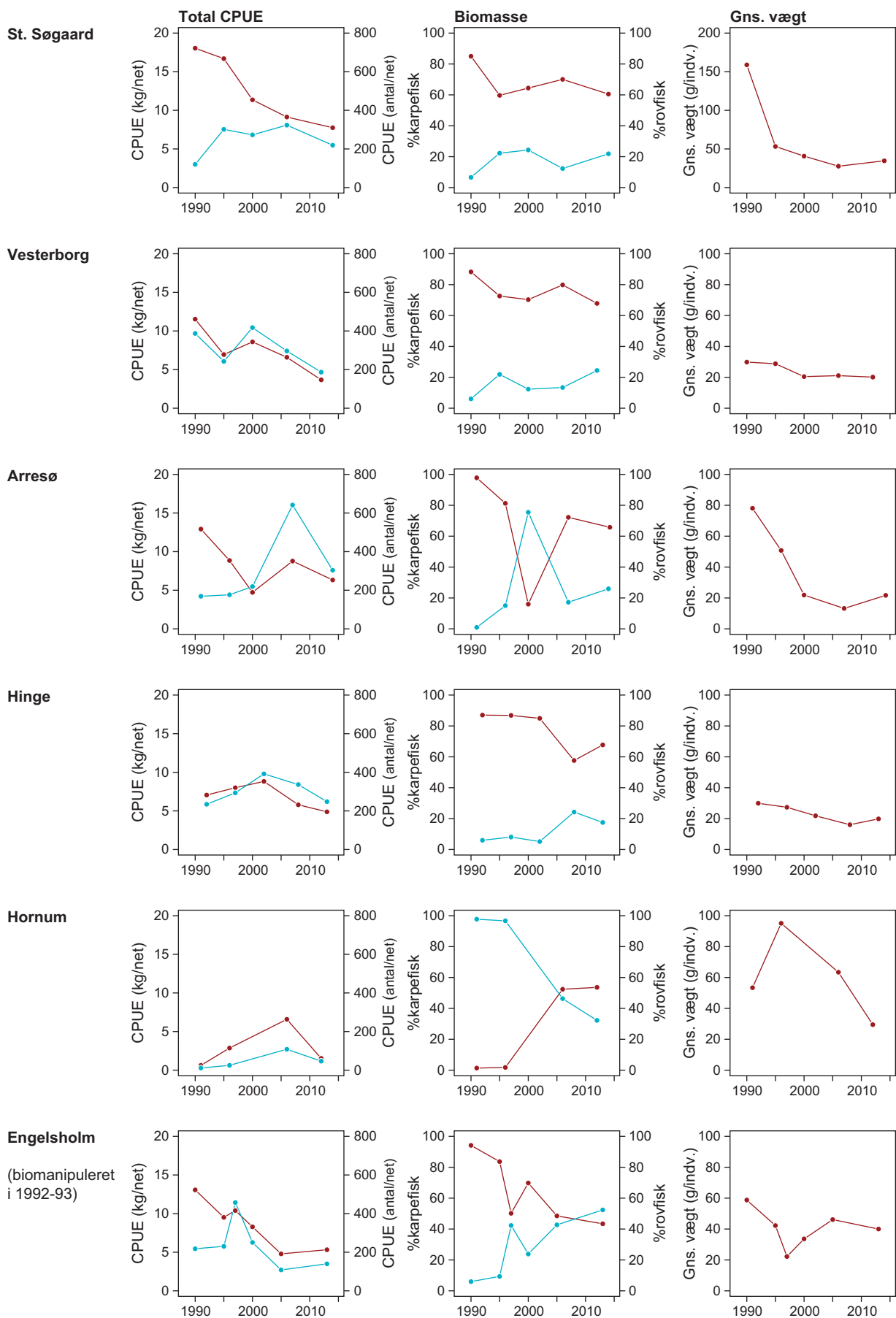
Figur 3.8. Ændringer i lufttemperaturen ved Søbygård Sø i perioden 1990-2012 (A: april-juli, B: april). Antal fangede fisk hhv. <10 cm (C) og >25 cm (D) ved undersøgelser i august-september i søen i 1990-2012. Ændringer i fangsten (kg/net, E) og gennemsnitsstørrelsen af skalle, brasen og rudskalle (set under ét, F) i søen i måleperioden. Fra Gutierrez m.fl. (2016).

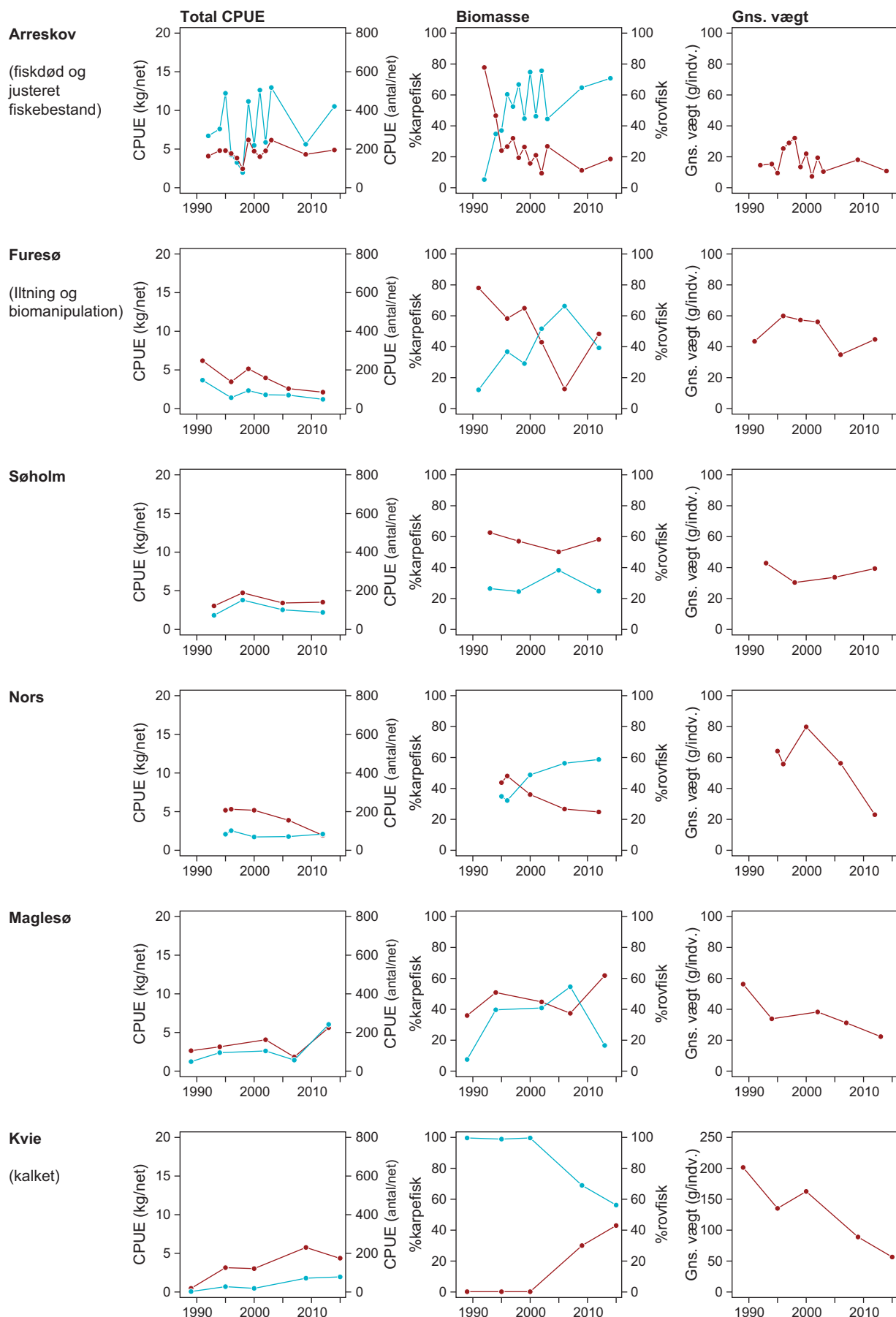
Figur 3.9. Biomasseandel af karpfisk (defineret som skalle, brasen og deres hybrider) og rovfisk (gedde, aborre og sandart, alle >10 cm) i 16 KT-søer. Data er volumenkorigerede. Ferske, lavvandede søer er vist med grønne prikker, dybe ferske søer er blå, og de lavvandede salte søer er røde.





Figur 3.10. Sammenligning af det totale antal pr. net, biomassen pr. net og gennemsnitsvægten af de dominerende fiskearter i perioden 2010-2015 i forhold til perioden 2004-2009. Ferske, lavvandede søer er vist med grønne prikker, dybe ferske søer er blå, og de lavvandede salte søer er røde. Data er volumenkorrigerede.



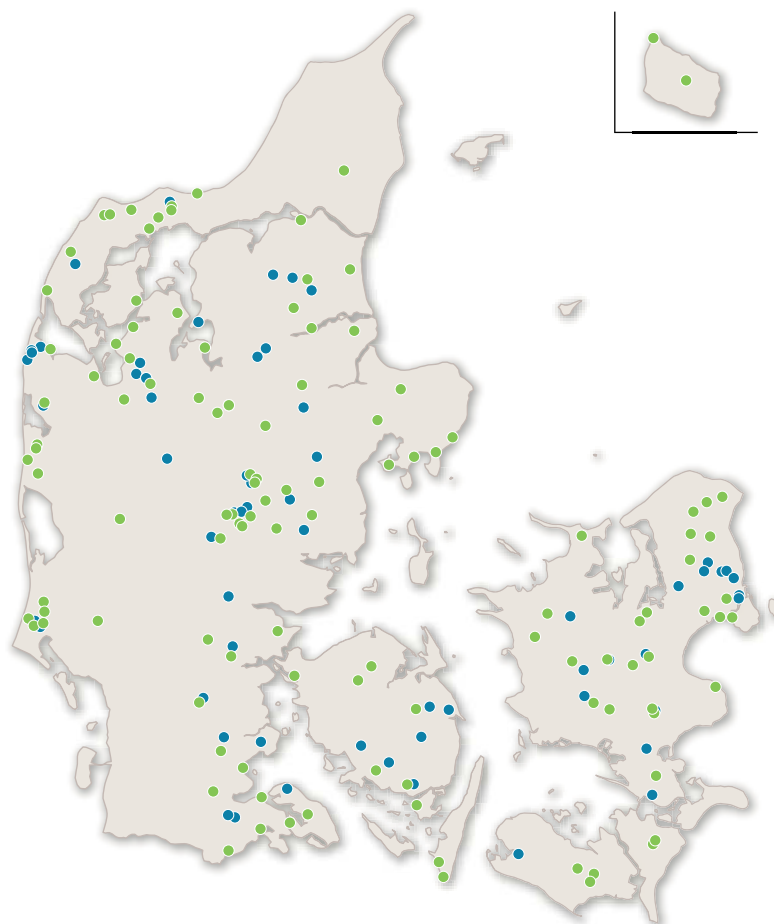


Figur 3.11. Ændringer i nøglevariable for fisk i overvågningsperioden 1989-2015 i udvalgte KU-søer. Data er volumenkorrigerede. Værdier for rød graf aflæses på venstre y-akse, værdier for blå graf aflæses på højre y-akse.

4 Kontrolovervågning af søernes tilstand

Overvågning af de danske søers generelle økologiske og kemiske tilstand er foretaget ved undersøgelse i 180 søer (KT-søer) >5 ha i løbet af perioden 2010-2015, dvs. ca. 30 søer er undersøgt hvert år. Søernes placering fremgår af figur 4.1.

Figur 4.1. Geografisk placering af søer, der indgik i kontrolovervågningen for tilstand i 2010-2015. Søer markeret med blå er, udover at være undersøgt for biologiske parametre og næringsstoffer og fysiske parametre i vand og sediment, også undersøgt for miljøfremmede stoffer og metaller.



Denne del af rapporten giver en overordnet status for de 180 søer, der er undersøgt i 2010-2015 (den nuværende NOVANA-periode inkl. "overgangsåret" 2010) for vandkemi, sedimentkemi, vandplanter og fisk. Derudover gives der et overblik over udviklingen i de 180 søer, idet disse søer også blev undersøgt i den forrige NOVANA-periode (2004-2009), hvor de var en delmængde af de tidligere undersøgte Ekstensiv-1 søer samt søer, der tidligere indgik i "Det intensive program" i NOVANA-perioden 2004-2009. Eftersom Ekstensiv-1 søerne i sin tid blev udvalgt tilfældigt, under hensyntagen til geografisk stratificering, udgør KT-søerne et repræsentativt udsnit af de danske søer >5 hektar.

4.1 Generel tilstand

I tabel 4.1 er der givet en samlet oversigt over de morfometriske parametre, sigtddybde samt fire vandkemiske nøgleparametre for de 180 undersøgte søer.

Tabel 4.1. Oversigt over morfometriske samt vandkemiske nøgleparametre (sommerværdier) for de 180 KT-søer, som er undersøgt i perioden 2010-2015.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Oplandsareal (km ²)	29,2	7,2	0,04	945	145
Søareal (ha)	105	22	3	1730	180
Middeldybde (m)	2,5	1,7	0,3	13,4	178
Maksimumsdybde (m)	4,9	2,8	0,3	30,9	174
Totalfosfor (mg P/l)	0,152	0,075	0,006	3,555	180
Totalkvælstof (mg N/l)	1,22	1,06	0,28	6,85	180
Sigtdybde (m)	1,5	1,1	0,2	8,1	179
Klorofyl a (µg/l)	46	32	2	282	180
Farvetal (mg Pt/l)	43	27	3	544	179

Søernes areal spænder fra en nedre grænse på 3 ha op til 1730 ha. Størstedelen er lavvandede søer (median for middeldybde er 1,7 meter og gennemsnittet 2,5 meter), men også dybe søer med en maksimaldybde på op til 31 meter forekommer. Flertallet af søerne er næringsrige med en median af totalfosfor (sommermiddel) på 0,075 mg/l og et sommergennemsnit på 0,152 mg/l. De laveste fosforsommergennemsnit er på 0,006 mg/l og totalkvælstof på 0,28 mg/l. De generelt næringsrige forhold betyder også, at søerne generelt har et højt klorofylindhold (median af sommergennemsnit er 32 µg/l) og en lav sigtdybde (median af sommergennemsnit er 1,1 m).

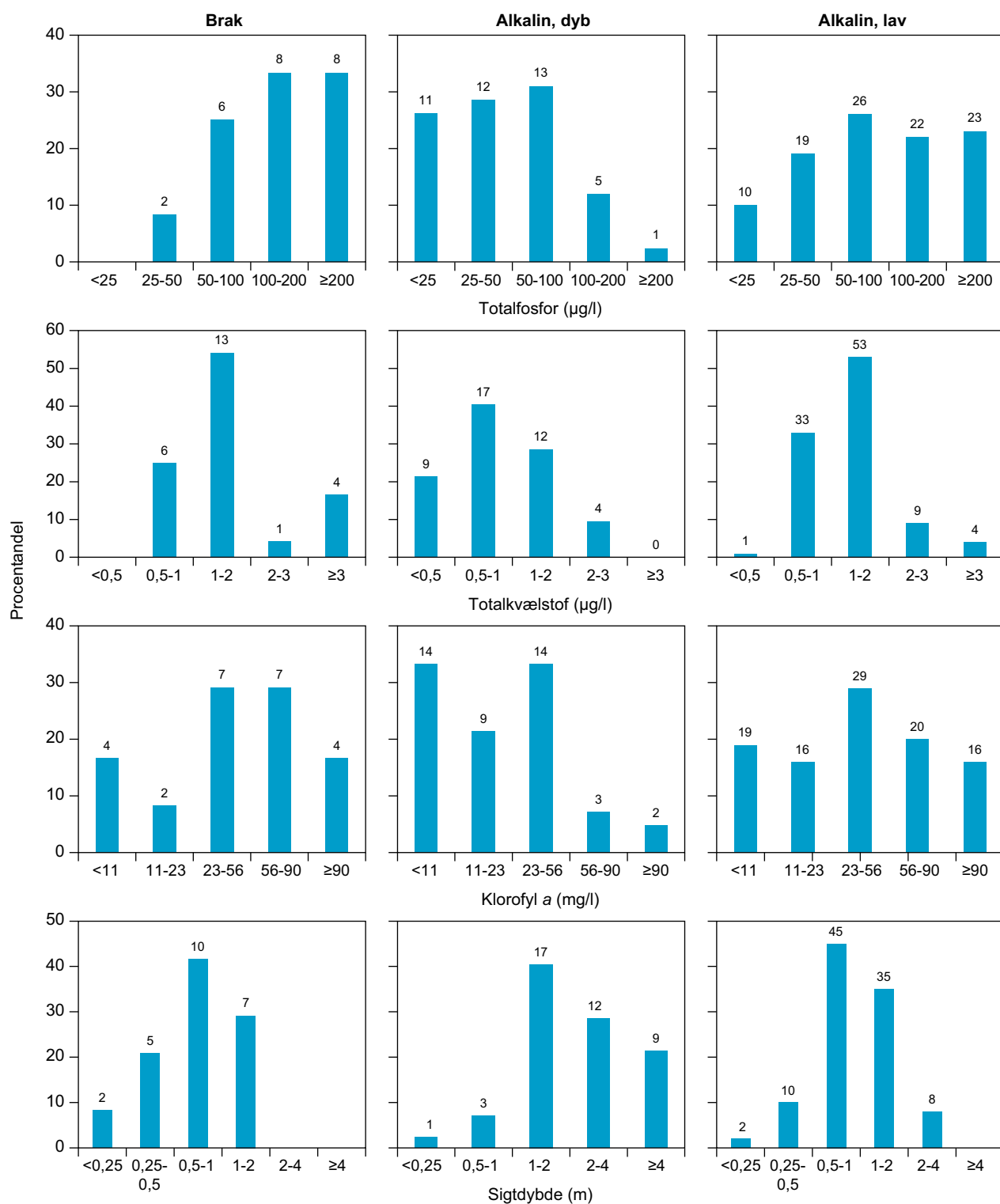
4.2 Vandkemi

I tabel 4.2 er der givet en oversigt over næringsstofindhold (totalfosfor og totalkvælstof), klorofyl *a* og sigtdybde i KT-søerne inddelt efter de ni søtyper, der anvendes i Danmark i forbindelse med Vandrammedirektivets implementering (se også afsnit 2). En del af søtyperne er kun repræsenteret ved ganske få søer (højst fire søer i søtyperne 1, 2, 6 og 15), og for disse søtyper er det derfor usikkert at give en generel vurdering

Tabel 4.2. Oversigt over sigtdybde og vandkemiske data fra de 180 søer (sommerværdier) fordelt på ni søtyper, som er undersøgt i perioden 2010-2015. Hvis der er data for flere år, indgår søen med den seneste måling.

Søtype	Totalfosfor (mg P/l)					Totalkvælstof (mg N/l)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	n	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	0,020	0,019	0,012	0,029	4	0,52	0,52	0,42	0,61	4
2	0,006	0,006	0,006	0,006	1	0,39	0,39	0,39	0,39	1
5	0,069	0,064	0,022	0,150	7	0,85	0,82	0,46	1,20	7
6	0,090	0,090	0,027	0,154	2	1,07	1,07	0,65	1,50	2
9	0,140	0,096	0,022	1,110	87	1,24	1,10	0,48	5,11	87
10	0,059	0,046	0,012	0,208	42	0,97	0,78	0,28	2,52	42
11	0,209	0,140	0,028	1,224	21	1,53	1,40	0,54	3,12	21
13	0,462	0,075	0,018	3,555	13	1,54	1,33	0,61	3,67	13
15	0,510	0,706	0,035	0,790	3	2,90	1,23	0,62	6,85	3

Søtype	Klorofyl a (µg/l)					Sigtdybde (m)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	n	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	7	8	2	11	4	2,4	1,8	0,9	4,9	4
2	4	4	4	4	1	6,7	6,7	6,7	6,7	1
5	37	24	6	99	7	0,9	0,8	0,4	1,4	7
6	25	25	20	30	2	0,8	0,8	0,3	1,2	2
9	52	40	4	276	87	1,1	1,0	0,3	2,8	86
10	30	19	2	128	42	2,6	2,1	0,6	8,1	42
11	62	56	6	157	21	0,8	0,8	0,2	1,9	21
13	53	15	3	282	13	0,8	0,8	0,2	1,6	13
15	74	40	4	179	3	0,9	0,6	0,3	1,9	3



Figur 4.2. Den procentuelle fordeling af søer inden for henholdsvis brakke søer (søtype 11 og 15), kalkrige, dybe søer (søtype 10) og kalkrige lavvandede søer (søtype 9 og 13) i forhold til kategorier (sommergennemsnit) af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl a og sigtdybde. Tallet over de enkelte søjler angiver det absolutte antal af søer i hver kategori.

Blandt de fire mest almindelige søtyper (søtype 9, 10, 11 og 13) er søtype 11 (kalkrig, ikke brunvandet, lavvandet og saltholdig) den mest næringsrige med en medianfosforkoncentration på 0,140 mg/l og en mediankvælstofkoncentration på 1,40 mg/l. Tilsvarende har denne søtype også det højeste klorofylindhold (median sommergennemsnit er 56 µg/l) og laveste sigtdybde (median sommergennemsnit på 0,8 m). Den mest næringsfattige blandt de fire

hyppigst forekommende søtyper er søtype 10 (kalkrig, ikke brunvand, fersk og dyb), hvor medianfosforkoncentrationen er på 0,046 mg/l og medianklorofylindholdet på 19 µg/l.

I figur 4.2 er de mest almindelige søtyper delt ind i brakke søer (søtype 11 og 15), kalkrige, dybe søer (søtype 10) og kalkrige, lavvandede søer (søtype 9 og 13), og herefter er søernes fordeling på fem næringsstofkategorier og fem-seks kategorier af klorofylindhold og sigtdybde vist. Også her fremgår det, at de brakke søer generelt er de mest næringsrige, hvor næsten alle søer har et højt indhold af totalfosfor (22 ud af 24 har et fosforindhold over 0,05 mg/l) og klorofyl *a* (18 ud af 24 søer har et klorofylindhold over 23 µg/l), mens gruppen af de dybe, kalkrige søer generelt er de mindst næringsrige og også har flere søer med lavere indhold af klorofyl *a* og med højere sigtdybde. Fordelingen af kvælstofindhold og klorofylindhold ser ikke ud til at være væsentlig forskelligt mellem de brakke søer og de lavvandede, kalkrige søer.

Udviklingstendenser

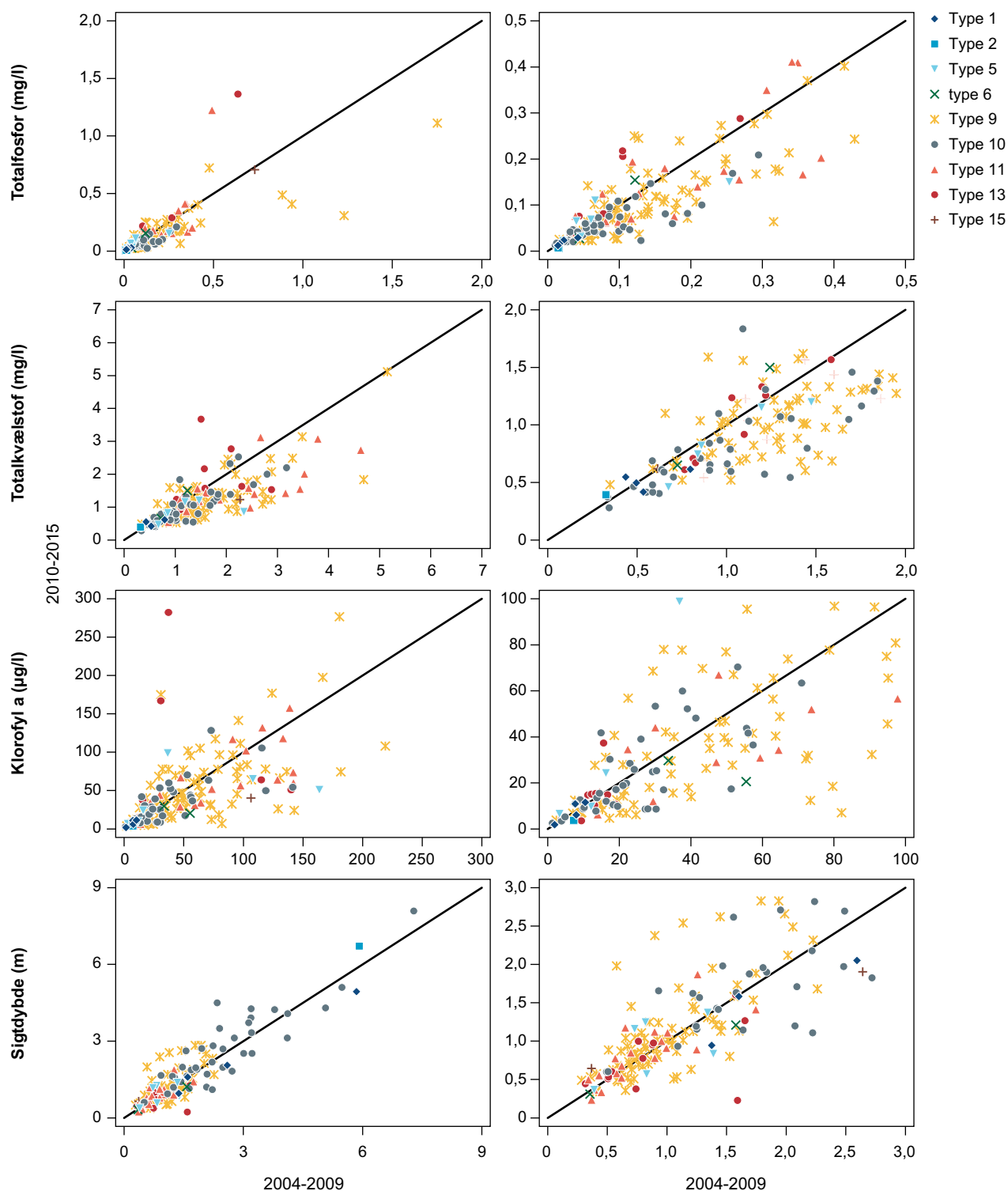
De fleste af de 180 KT-søer er nu undersøgt gennem to perioder (2004-2009 og 2010-2015), og det giver mulighed for at vurdere eventuelle udviklingstendenser. En oversigt over værdierne for de fire nøglevariable (fosfor, kvælstof, klorofyl og sigtdybde), hvor 2010-2015 målinger sættes over for 2004-2009 målinger, er vist i figur 4.3. Figuren viser alle de ni søtyper samlet.

Generelt grupperer søerne sig omkring 1:1 linjen, svarende til, at der overordnet set ikke er sket de store ændringer fra 2004-2009 til 2010-2015. Der er dog stor spredning omkring 1:1 linjen, hvilket er et udtryk for, at en del søer har værdier, som er meget forskellige mellem de to måleperioder.

Figuren antyder dog visse udviklingstendenser. Således er der generelt flere punkter (søer), som ligger under 1:1 linjen ved de høje koncentrationer af totalfosfor og totalkvælstof. Dette er et udtryk for, at de mest næringsrige søer generelt er blevet mindre næringsrige fra perioden 2004-2009 til 2010-2015. Umiddelbart ser disse tendenser ikke ud til at slå igennem på sigtdybde og indhold af klorofyl, men det kan skyldes, at primærproduktionen i de mest næringsrige søer også kan være begrænset af andre faktorer, eksempelvis lys.

Sammenligner man de enkelte søtyper for de to perioder (2004-2009 og 2010-2015) er der signifikante ændringer i søtype 9, 10 og 11 (tabel 4.3). Totalkvælstof er reduceret i alle tre søtyper, mens totalfosfor er reduceret i søtype 9 og 10, klorofyl i søtype 11, og sigtdybden er øget i søtype 9.

For nogle søer, hvor der er mindst tre målinger i perioden, er det også muligt at vurdere udviklingstendensen i de enkelte søer (tabel 4.4). I langt de fleste søer og for alle fire nøglevariable har der ikke været nogen statistisk signifikante ændringer. I de søer, hvor der kan registreres ændringer, er dette i de fleste tilfælde gået i retning af reduceret næringsstofindhold. Eksempelvis er der i søtype 9 ti søer, hvor totalfosforindholdet er reduceret, mens det er øget i to søer. Tilsvarende er der otte søer, hvor indholdet af totalkvælstof er reduceret, men kun én sø, hvor det er øget. For alle søtyperne samlet er totalfosforindholdet mindsket i 15 søer og øget i fire søer, totalkvælstof er reduceret i 18 søer og øget i tre søer, klorofyl *a* er reduceret i ni søer og øget i to, og sigtdybden er øget i fire søer, men reduceret i fem søer.



Figur 4.3. Sammenligning af kemiske nøglevariable samt sigtdybde (sommergennemsnit) fordelt på søtyper. Hvert punkt repræsenterer én sø. Hvis den enkelte sø er undersøgt mere end én gang i den samme periode, er der taget et gennemsnit. Til højre vises forstørrelse af de laveste værdier. Den sorte linje angiver 1:1 værdier. For totalfosfor er der udeladt en enkelt sø, værdierne var hhv. 3,7 og 3,6 mg/l i de to perioder.

Tabel 4.3. Resultat af parret t-test (p-værdier) ved sammenligning af kemiske nøglevariable og sigtddybde for de søer, der blev undersøgt i begge perioder; 2004-2009 og 2010-2015. Signifikante forskelle ($p < 0,05$) er angivet med fed skrift. (+) angiver, at værdien er øget fra 2004-2009 til 2010-2015, mens (-) angiver reduceret værdi. ¹for sigtddybde kun 86 målinger; ²for totalkvælstof kun 40 målinger.

Søtype	Antal søer	Totalfosfor	Totalkvælstof	Klorofyl a	Sigtddybde
1	4	0,24	0,50	0,75	0,08
2	1	-	-	-	-
5	6	0,72	0,18	0,58	0,97
6	2	0,84	0,69	0,42	0,42
9	87 ¹	<0,001 (-)	<0,001 (-)	0,11	0,02 (+)
10	41 ²	<0,001 (-)	<0,001 (-)	0,25	0,30
11	19	0,79	<0,001 (-)	0,049 (-)	0,40
13	13	0,32	0,71	0,42	0,34
15	2	0,54	0,50	0,50	0,73

Tabel 4.4. Antal søer, som har udvist forbedring (Pos.), forværring (Neg.), eller som ikke har ændret sig (Neutral) i perioden 2004-2015. Positiv forbedring er i denne sammenhæng reduceret indhold af totalfosfor, totalkvælstof eller klorofyl a eller øget sigtddybde. Forværring er øget indhold af næringsstoffer eller klorofyl a eller mindsket sigtddybde. Kun søer, som er undersøgt i begge perioder, og som er målt mindst tre gange, er medtaget i analysen (i alt 169). Der er foretaget lineær regression på logaritmetransformerede sommermiddelværdier ($p < 0,05$).

Søtype	Totalfosfor			Totalkvælstof			Klorofyl a			Sigtddybde		
	Pos.	Neg.	Neutral	Pos.	Neg.	Neutral	Pos.	Neg.	Neutral	Pos.	Neg.	Neutral
1	0	0	4	0	0	4	0	0	4	0	1	4
2	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1
5	0	1	4	2	0	3	0	0	5	1	1	5
6	0	0	2	0	0	2	0	0	2	0	0	2
9	10	2	73	8	1	76	6	0	79	2	1	79
10	5	0	34	5	1	33	1	1	37	0	1	37
11	0	1	18	2	0	17	2	1	16	0	0	16
13	0	0	12	1	1	10	0	0	12	1	1	12
I alt	15	4	150	18	3	148	9	2	158	4	5	160

4.3 Sedimentkemi

Kontrolovervågningen af søernes tilstand omfatter også undersøgelser af tørstofindhold, glødetab, jernindhold og totalfosforindhold i sedimentet. Disse sedimentdata er til rådighed fra 140 søer undersøgt i perioden 2010-2015. Ved hver prøvetagning tages der sediment fra seks dybder: 0-2 cm, 2-5 cm, 5-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm og 30-50 cm og fra tre stationer. For hver dybde og station er der puljet sediment fra tre søjler. De tre prøvetagningsstationer ligger spredt i søen, men repræsenterer de dybere områder og dermed primært sedimentationsområder.

I tabel 4.5 er der givet en oversigt over det gennemsnitlige tørstofindhold, glødetab og indholdet af totaljern og totalfosfor i overfladesedimentet inddelt efter de syv søtyper; sedimentdata findes fra kontrolovervågningen af søernes tilstand (KT-søer). Som tidligere beskrevet er søtyperne defineret ud fra fire kriterier: kalkholdighed, middelvanddybde, brunfarvning og saltholdighed (se afsnit 2). Flere af søtyperne er dog kun repræsenteret ved meget få søer. Flest sedimentdata er der fra søtype 9 og 10 (kalkrige, ikke-brunvandede, lavvandede og dybe ferskvandssøer), der tilsammen udgør næsten 70 % af de 140 søer, hvor der er data fra.

Tabel 4.5. Oversigt over overfladesedimentets (0-2 cm) tørvægt, glødetab, fosfor- og jernindhold i de syv søtyper, der er data fra. Der er vist gennemsnitlige værdier for de tre prøvetagningsstationer. Data er fra 2010 til 2015, og i de enkelte søer, hvor der taget prøver mere end én gang i denne periode, er der beregnet gennemsnitlige værdier. I alt er der data fra 140 søer.

Søtype	Tørvægt (%)					Glødetab (%)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	7,7	5,8	2,1	17,0	4	38,7	36,0	18,3	64,3	4
5	14,9	5,9	4,5	56,7	6	46,6	52,0	2,9	74,0	6
6	2,7	2,6	2,5	2,8	2	72,2	72,2	68,3	76,0	2
9	9,5	7,1	2,4	26,3	69	28,4	26,0	8,1	75,3	69
10	10,4	8,8	2,6	36,0	28	22,3	21,5	7,5	42,0	28
11	16,8	11,0	2,0	53,3	18	22,6	21,2	2,9	57,3	18
13	13,2	9,7	2,1	44,7	11	32,2	27,7	3,1	59,0	11
15	22,3	22,3	13,1	31,4	2	10,6	10,6	9,7	11,5	2

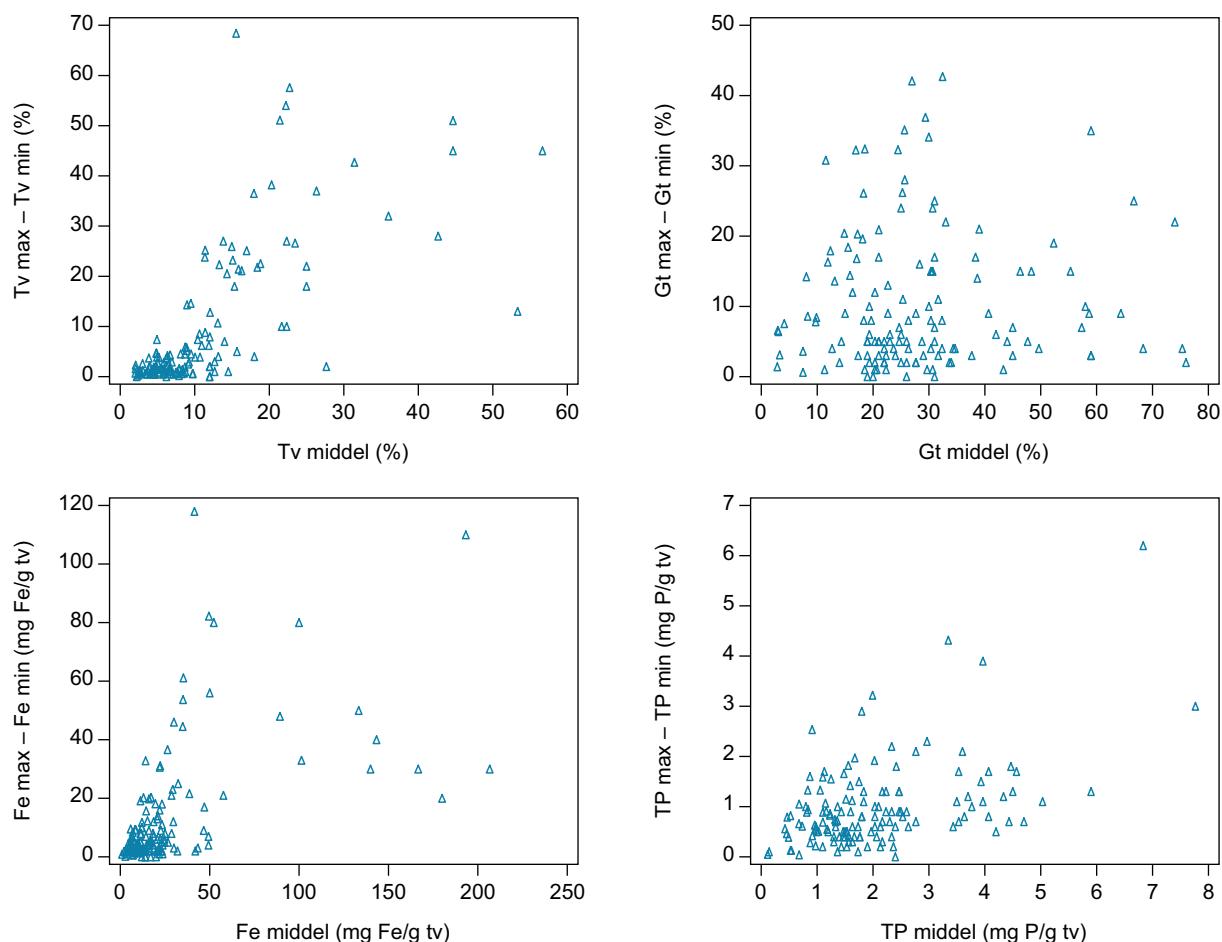
Søtype	Jern (mg Fe/g tv)					Totalfosfor (mg P/g tv)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	12,7	10,9	8,2	20,7	4	1,20	1,20	0,98	1,43	4
5	27,1	6,5	2,1	133,3	6	1,27	0,96	0,12	2,53	6
6	10,4	10,4	6,7	14,2	2	2,03	2,03	1,73	2,33	2
9	23,3	16,0	2,8	180,0	69	2,09	1,77	0,47	6,83	69
10	28,4	18,7	4,5	166,7	28	2,44	1,78	0,46	7,77	28
11	15,0	14,3	5,0	29,7	18	1,40	1,43	0,43	3,70	18
13	78,6	49,6	1,0	206,7	11	2,53	2,03	0,14	5,03	11
15	32,4	32,4	23,3	41,5	2	1,47	1,47	0,91	2,03	2

Generelt er der stor variation i de fire målte variable – også inden for de enkelte søtyper, hvor der ofte er en faktor 10 eller mere mellem højeste og laveste målte værdier. Især indholdet af jern er meget varierende inden for alle søtyper. Den store variation inden for de enkelte søtyper er medvirkende til, at der ikke umiddelbart kan ses nogen generel forskel mellem søtypernes overfladesediment.

Variationer mellem de tre prøvetagningsstationer

Som det fremgår af tabel 4.5, er der store forskelle inden for de enkelte søtyper, men også inden for de tre prøvetagningsstationer i de enkelte søer kan der være store forskelle. Dette er illustreret i figur 4.4, der viser overfladesedimentets variation mellem de tre prøvetagningsstationer mht. de fire undersøgte sedimentvariable.

Generelt øges den absolutte forskel mellem den højeste og laveste målte værdi, når den gennemsnitlige værdi øges, hvilket også må forventes, hvis den procentuelle variation er nogenlunde konstant. Eksempelvis er forskellen mellem den højeste og laveste målte fosforkoncentration på de tre prøvetagningsstationer gennemsnitligt omkring 0,5 mg P / g tv, når den gennemsnitlige fosforkoncentration er omkring 1 mg P / g tv, og omkring 1 mg P / g tv, når den gennemsnitlige koncentration er omkring 4 mg P / g tv. I søer, hvor den gennemsnitlige tørvægtprocent er lav (under ca. 10 %), er der også ofte en lav variation i de tre prøvetagningsstationers tørstofindhold, svarende til, at alle tre prøvetagningsstationer har lavt tørstofindhold i overfladesedimentet, hvorimod variationen er høj, hvis den gennemsnitlige tørvægt er over ca. 10 % (figur 4.4). Variationen i glødetabet ser ud til at være størst omkring et gennemsnitligt glødetab på 20-30 %.



Figur 4.4. Differencen mellem maksimum og minimum af overfladesedimentets tørstofindhold, glødetab, jernindhold (mg Fe/g tv) og fosforindhold (mg P/g tv) i de enkelte søer set i forhold til den gennemsnitlige værdi målt på de tre prøvetagningsstationer. Data fra 140 KT-søer i perioden 2010-2015.

Variation i sedimentets beskaffenhed i de enkelte søer kan skyldes flere forhold (forskelle i sedimentationen, forskelle i plantevækst, prøvetagningsvariation m.m.) og betyder, at de tre stationer kun giver et helt overordnet billede af søens sedimentforhold.

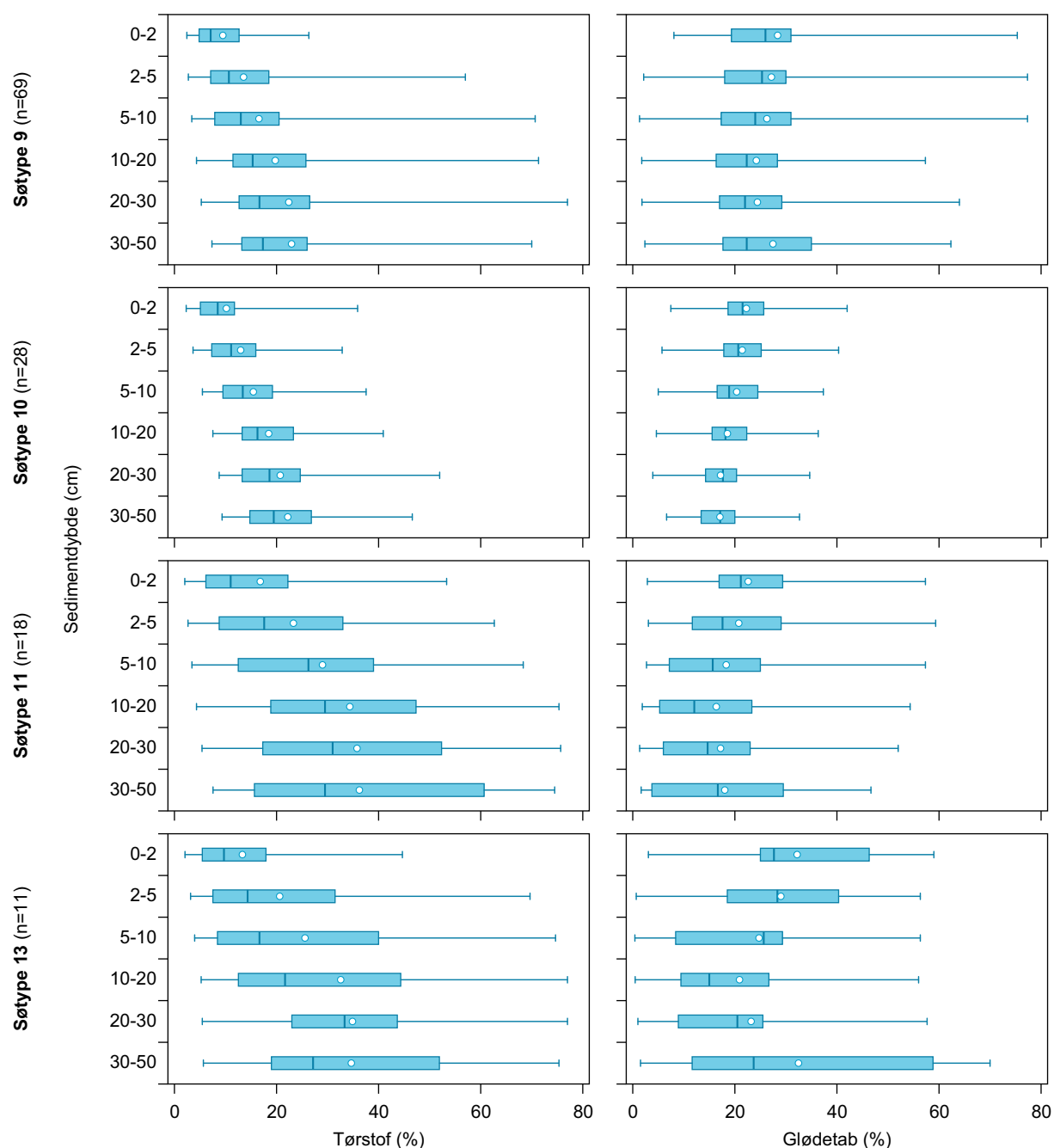
Dybdeprofiler fra sedimentet

Dybdeprofiler af sedimentet ned til 50 cm's dybde fra de fire mest almindelige søtyper er vist i figur 4.5 og 4.6. Sedimenttilvæksten i danske søer er formentlig sjældent over en halv cm om året, og det betyder, at disse dybder repræsenterer mindst de seneste 100 års sedimentation og for nogle af søerne væsentligt længere tid.

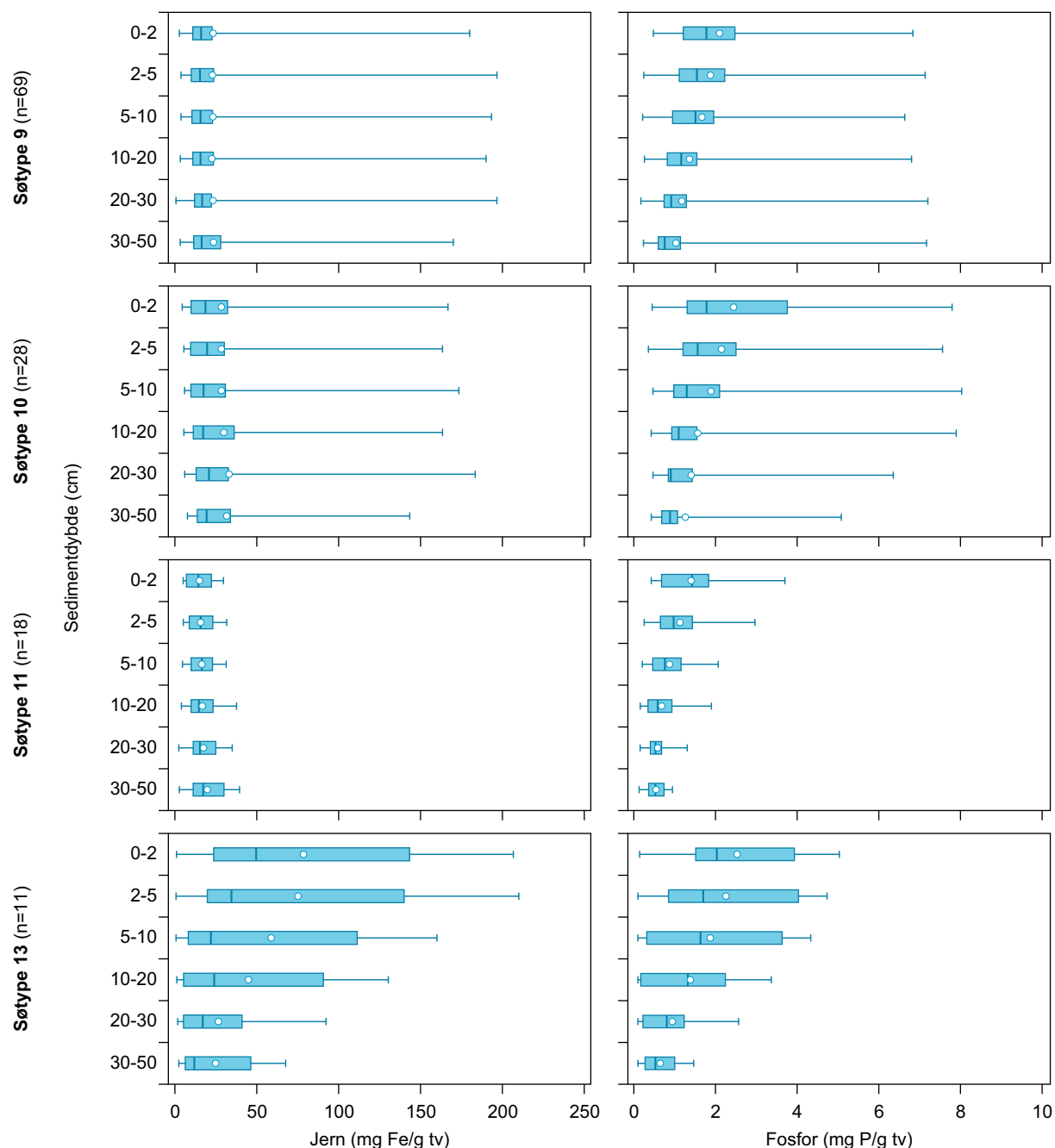
I lighed med sedimentoverfladen er der store variationer i de forskellige søtyper ned gennem de forskellige sedimentdybder. Det generelle billede for alle fire søtyper er, at tørstofindholdet øges med dybden, mens glødetabet mindskes (figur 4.5). Dette er et udtryk for, at sedimentet bliver mere kompakt med dybden, samtidigt med at det organiske indhold (per tørvægt) mindskes på grund af mineralisering og eventuelt også, fordi sedimentationen af organisk materiale tidligere var mindre i de fleste søer. I de dybeste sedimentlag (30-50 cm) er tørstofindholdet generelt lavest i søtype 9 og 10 med et median-tørstofindhold på under 20 % imod 25-30 % i søtype 11 og 13. I søtype 9 er

glødetabet næsten konstant hele vejen ned gennem sedimentet, hvorimod glødetabet reduceres noget med dybden i de andre søtyper.

For fosfor er det generelle billede for alle fire søtyper også, at koncentrationen (pr. tørstofindhold) mindskes med dybden (figur 4.6). I de øverste 10 cm er fosforkoncentrationerne generelt lavest i søtype 11 (brakvandssøer) og højest i søtype 13 (brunvandede søer). Årsagen til et lavere fosforindhold i brakvandssøer kan være et naturligt lavere jernindhold i disse søer samt et højere sulfatindhold, hvilket via sulfatreduktion kan være med til at mindske sedimentets binding af fosfor til oxiderede jernforbindelser.



Figur 4.5. Sedimentprofiler af tørstof og glødetab i søtype 9, 10, 11 og 13. Bemærk forskellige skalaer Box-plottet angiver minimum og maksimum (to yderste linjer), 25 og 75 % fraktiler (boxens ender), medianværdi (linjen inde i boxen) og middelværdi (cirkel inde i boxen). Dybdegrupperne 20-30 cm og 30-50 cm omfatter også nogle søer, hvor profilen ikke går helt ned til 30 cm og ikke helt ned til 50 cm.



Figur 4.6 Sedimentprofiler af totaljern og totalfosfor i søtype 9, 10, 11 og 13. Bemærk forskellige skalaer. Box-plottet angiver minimum og maksimum (to yderste linjer), 25 og 75 % fraktiler (boxens ender), medianværdi (linjen inde i boxen) og middelværdi (cirkel inde i boxen). Dybdegrupperne 20-30 cm og 30-50 cm omfatter også nogle søer, hvor dybdeintervallet ikke går helt ned til 30 cm/50 cm.

Koncentrationen af jern er ret konstant ned gennem sedimentet i søtype 9 og 10, mens der er en svagt stigende tendens i søtype 11 og faldende koncentrationer med dybden i søtype 13, hvor der også generelt ses de højeste jernkoncentrationer. Variationen i jernindholdet i søtype 13 er meget markant med minimum-/maksimumværdier fra 1 til 207 mg Fe/g tv. Søtype 11 er generelt den mindst jernrige, og samtidigt er der ingen af søerne, som her har meget høje jernkoncentrationer, som det ses i de andre søtyper.

Udviklingstendenser

Af de 140 KT-søer, hvor sedimentforholdene er undersøgt i perioden 2010-2015, er 12 af disse også undersøgt i perioden 2004-2009. Det er derfor vanskeligt at vurdere, om der generelt er sket ændringer i KT-søernes sedimentforhold. I tabel 4.6 er undersøgelserne af de 12 søer i de to perioder sammenlignet.

Som det fremgår, er der kun i enkelte tilfælde tale om signifikante ændringer (glødetab i Brassø, tørvægt i St. Gribsø og totaljern i Tissø). Som tidligere beskrevet i forbindelse med NOVANA-undersøgelser af sediment og næringsstoftilbageholdelse vil det næsten altid være vanskeligt at påvise ændringer over forholdsvis få år, fordi sedimentets indhold af eksempelvis fosfor som regel er meget større end de ændringer, der måtte ske i søens tilbageholdelse eller frigivelse af fosfor (se også Bjerring m.fl. 2013).

Tabel 4.6. Gennemsnitlig tørvægt, glødetab, totaljern og totalfosfor i de 12 søer, hvor sedimentet er undersøgt både i 2004-2009 og 2010-2015. Her er kun vist overfladesedimentet (0-2 cm). Signifikante forskelle ($p < 0,05$, parret t-test) er angivet med *. I Udbyover Sø og Tåstrup Sø er der kun ét sæt data fra én eller begge perioder, og i Løvenholm Langsø er der ikke tale om samme dybdeinterval. Forskellen i disse tre søer kan ikke testes.

Sø	Tørvægt (%)		Glødetab (%)		Totaljern (mg Fe/g tv)		Totalfosfor (mg P/g tv)	
	2004-2009	2010-2015	2004-2009	2010-2015	2004-2009	2010-2015	2004-2009	2010-2015
Udbyover sø	4,2	2,8	27,3	58,0	0,3	10,4	1,30	2,10
Fussing sø	5,9	4,7	23,0	24,0	12,3	13,3	1,40	1,57
Brassø	4,9	5,0	32,4*	30,0*	37,7	42,0	3,67	3,97
Thorsø	7,0	5,3	28,7	27,7	94,0	101,3	4,10	4,57
Langå sø	5,1	4,0	40,6	40,7	25,3	22,3	3,10	3,53
Løvenholm L.	6,1	2,8	78,0	76,0	3,4	14,2	2,10	1,73
Tåstrup sø	6,1	6,2	25,5	31,0	17,4	20,0	1,90	2,40
Holm sø	1,6	2,1	66,3	64,3	10,5	11,7	1,26	1,43
Hostrup sø	3,3	3,4	60,2	59,0	10,5	10,1	2,80	1,43
St. Gribsø	3,7*	2,5*	67,8	68,3	6,6	6,7	2,38	2,33
Gundsømagle	7,9	8,7	21,5	20,3	18,9	23,0	3,55	3,63
Tissø	13,7	13,2	11,3	11,3	9,5*	7,3*	1,41	1,15

Empiriske sammenhænge

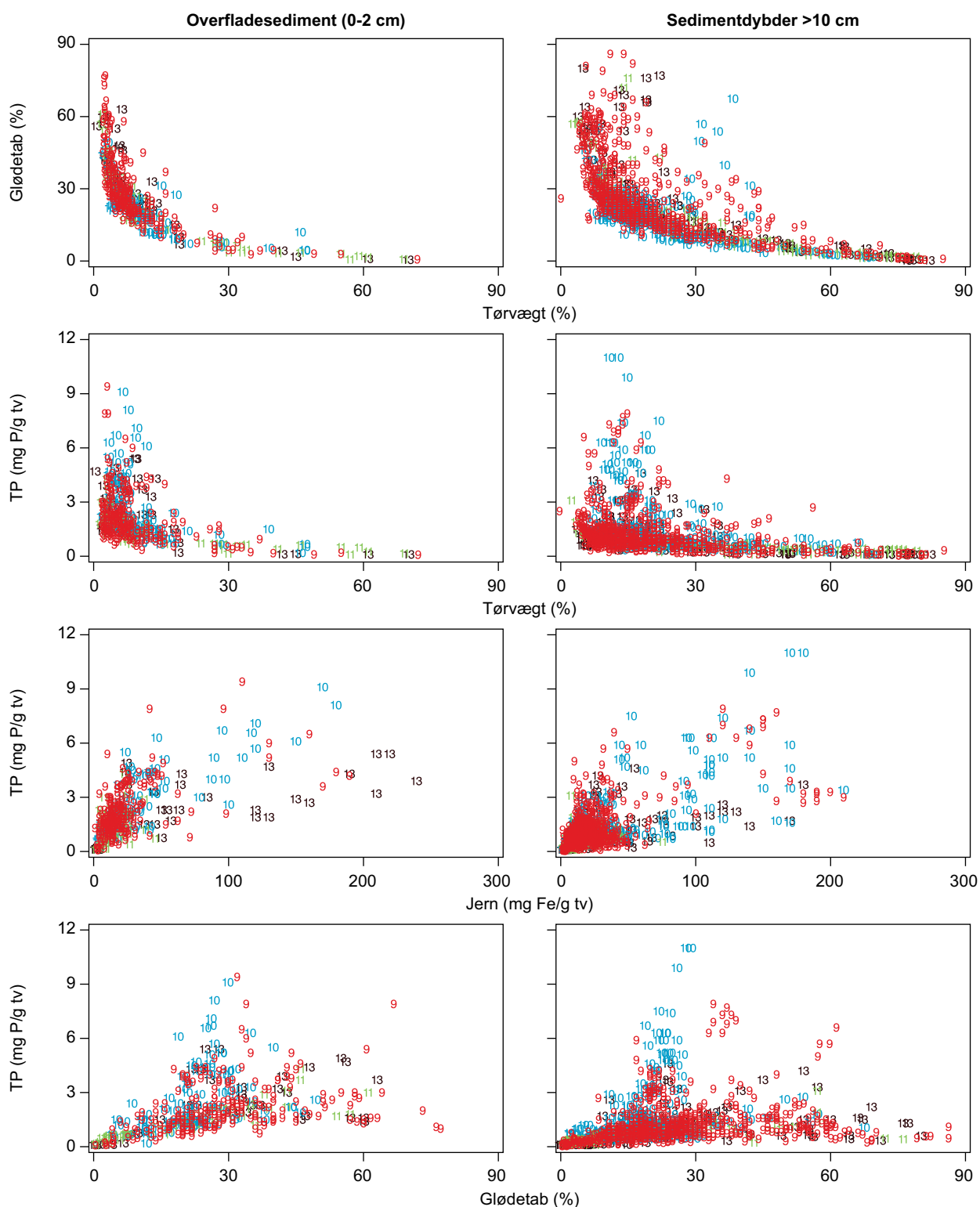
I figur 4.7 og tabel 4.6 er der vist en række sammenhænge mellem de fire variable, der er undersøgt i KT-søerne siden 2004. Der er data fra i alt 158 søer og som regel fra seks dybder og fra tre stationer fra hver sø.

Der er en udpræget invers sammenhæng mellem glødetabet og tørstofindhold, ikke mindst i overfladesedimentet, hvor lavt tørstofindhold næsten altid er lig med højt glødetab. Hvad angår indholdet af fosfor, så er koncentrationen positivt relateret til både indholdet af jern og glødetab. Blandt de brunvandede søer (søtype 13) er der dog også søer med meget højt jernindhold, uden at fosforindholdet samtidigt er meget højt. Derudover synes der ved et glødetab på omkring 20-30 % at være nogle søer – især blandt de dybe – hvor fosforindholdet kan være højt.

Tabel 4.7. Regressionsanalyser mellem totalfosforkoncentration i overfladesedimentet og indholdet af jern (Fe) og organisk stof (glødetab, gt) for søtype 9, 10, 11 og 13. Under R^2 er vist den samlede forklaringsværdi samt i parentes den partielle forklaringsværdi for henholdsvis jern og glødetab.

Søtype		N	R^2
9	$TP = 0,55 + 0,028*Fe + 0,033*gt$	225	0,43 (0,32; 0,11)
10	$TP = 0,47 + 0,039*Fe + 0,036*gt$	111	0,74 (0,71; 0,03)
11	$TP = 0,19 + 0,008*Fe + 0,048*gt$	54	0,73 (0,01; 0,72)
13	$TP = 0,44 + 0,012*Fe + 0,035*gt$	33	0,53 (0,37; 0,16)

I en multipel regression, hvor både indholdet af jern og glødetabet anvendes til at forklare indholdet af fosfor, kan der i overfladesedimentet opnås en ret høj forklaringsværdi. Dette gælder især for søtype 10 ($r^2=0,74$), hvor fosforkoncentrationen primært er relateret til jernindholdet, og for søtype 11 ($r^2=0,73$), hvor fosforkoncentrationen primært er relateret til glødetabet (tabel 4.7).



Figur 4.7. Relationer mellem de undersøgte sedimentvariable i henholdsvis overfladesediment og fra sediment dybere end 10 cm. Vist for de fire søtyper med flest data: søtype 9, 10, 11 og 13.

4.4 Vegetation

Tilstand

Kontrolovervågningen af undervandsplanter i perioden 2010-2015 har omfattet i alt 180 søer. En oversigt over de fire undersøgte nøgleparametre i hver af de 11 søtyper – det relative plantedækkede areal, det relative plantefyldte volumen, planternes maksimale dybdegrænse og antallet af arter – er givet i tabel 4.8. Nogle af søtyperne er kun repræsenteret ved ganske få søer, og her er det vanskeligt at anvende disse data til at udtale sig generelt om disse søtyper.

Tabel 4.8. Oversigt over nøgleparametre vedr. undervandsplanter fra de 180 søer fordelt på ni søtyper, som er undersøgt i perioden 2010-2015. Hvis der er data for flere år, indgår søen med den seneste måling.

Søtype	Relativt plantedækket areal (%)					Relativt plantefyldt volumen (%)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	n	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	35,6	27,6	18,1	68,9	4	4,0	2,2	0,5	11,2	4
2	68,9	68,9	72,8	68,9	1	2,4	2,4	2,4	2,4	1
5	21,1	9,7	0	63,6	7	5,5	1,1	0	20,3	7
6	1,5	1,5	1,4	1,6	2	0,1	0,1	0,0	0,1	2
9	23,0	14,3	0	88,0	86	11,9	4,1	0	67,7	86
10	8,3	4,5	0	36,0	42	0,9	0,2	0	7,3	42
11	12,9	5,9	0	51,1	21	4,7	2,2	0	20,1	21
13	23,3	17,0	0	75,6	13	10,2	5,2	0	64,3	13
15	41,1	44,1	19,5	62,7	2	23,1	4,5	0	64,8	3

Søtype	Dybdegrænse (m)					Antal arter				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	n	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	2,7	2,2	1,0	5,5	4	8,5	8,5	6	11	4
2	7,5	7,5	7,5	7,5	1	10	10,0	10	10	1
5	1,1	1,2	0	1,8	7	9,3	8,0	0	19	7
6	2,6	2,6	0,6	4,5	2	1,5	1,5	1	2	2
9	1,7	1,6	0	5,3	86	9,3	7,5	0	36	86
10	3,9	2,8	0	21,5	42	9,3	9,0	0	28	42
11	1,2	1,2	0	2,5	21	6,5	4,0	0	46	21
13	1,1	1,1	0	2,3	13	16,7	15,0	0	35	13
15	0,8	0,7	0	1,7	3	12,6	11,0	0	27	3

Dybdegrænsen må generelt tolkes med forsigtighed. Dette gælder bl.a. de lavvandede søtyper, fordi planterne her eventuelt vil kunne vokse helt ud til søens maksimale dybde. På samme måde kan man ikke forvente, at dækningsgraden eller det plantefyldte volumen kan blive særlig højt i dybe søer sammenlignet med lavvandede søer, fordi planterne ikke vokser i de dybe dele af søen. Endelig må man også være påpasselig med at sammenligne antallet af arter på tværs af søtyperne, fordi antallet af arter alt andet lige vil være større i store søer end i mindre søer. Hvis en søtype generelt omfatter mindre søer end en anden søtype, kan dette således også skyldes forskelle i størrelse. Nogle søtyper – eksempelvis de brunvandede eller kalkfattige søer – kan heller ikke forventes at være så artsrige, fordi færre arter er tilpasset forholdene i disse søtyper sammenlignet med kalkrige søer.

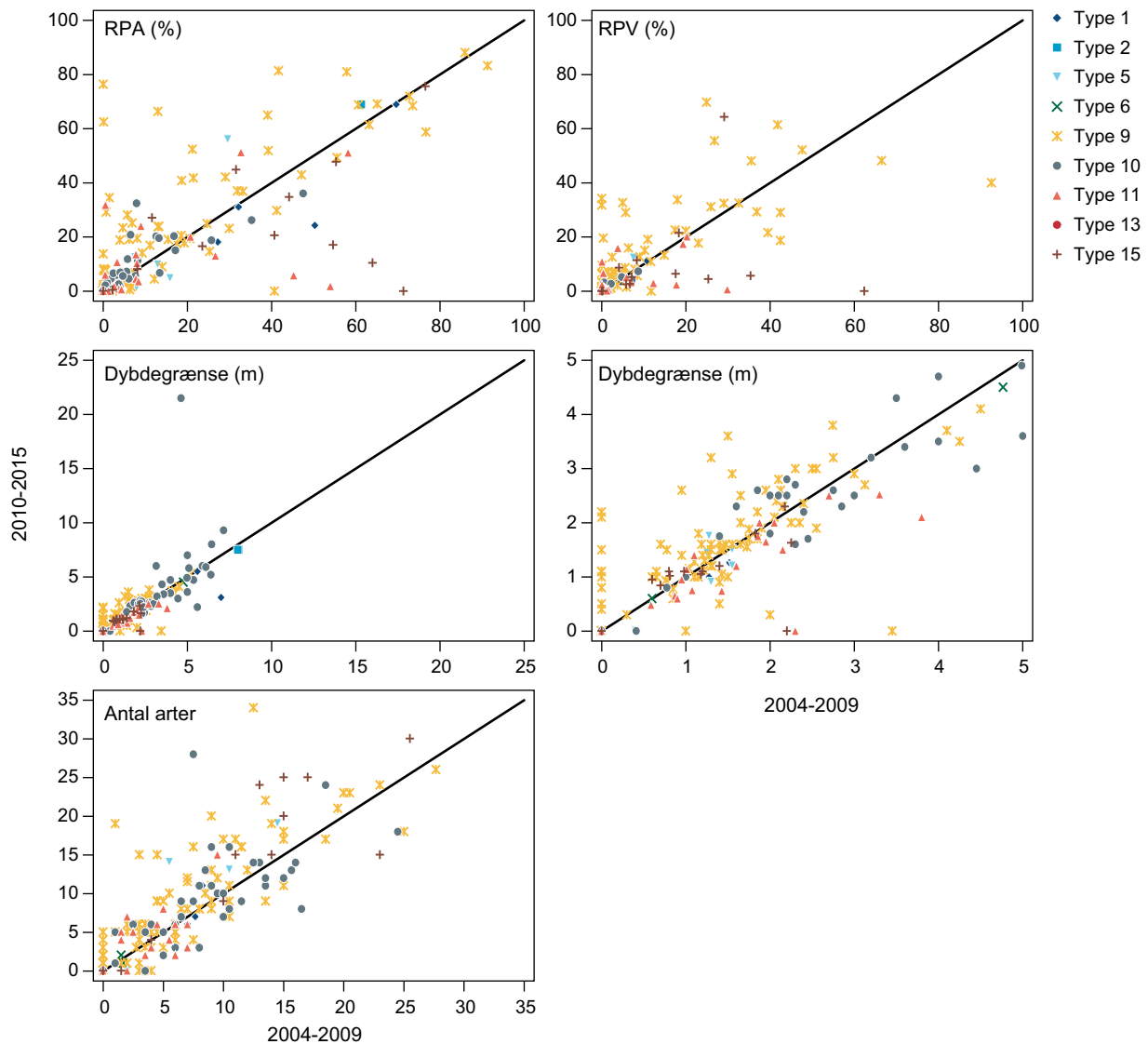
Generelt varierer de fire målte parametre meget inden for de enkelte søtyper. Både det plantedækkede areal og det plantefyldte volumen dækker eksempelvis en gradient i mange af typerne fra 0 (ingen undervandsplanter) og til over 50 %, mens dybdegrænsen i den mest almindelige dybe søtype (søtype 10) varierer mellem 0 m (ingen planter) og 10 m (i en enkelt sø målt i 2010-2015 dog op til 21,5 m). Tilsvarende varierer antallet af arter fra 0 og op til 46 arter (søtype

11). Med forbehold for det beskedne antal kalkfattige søer synes det maksimale antal af arter her at være mindre end i de kalkrige søer, hvilket bekræfter, at færre arter (især grundskudsplanter) er tilpasset denne søtype.

Udvikling

Udviklingen i de fire nøgleparametre fra perioden 2004-2009 til perioden 2010-2015 er illustreret i figur 4.8. Også her er der stor variation omkring 1:1-linjen, svarende til, at mange af de enkelte søer er meget forskellige imellem de to perioder.

For søerne som helhed er det vanskeligt at se ændringer imellem de to måleperioder, og punkterne fordeles sig som helhed omkring 1:1 linjen. Betragtes de enkelte søtyper hver for sig, så er der en statistisk signifikant reduktion i dybdegrænsen i søtype 11, mens der i den almindelige lavvandede søtype (søtype 9) er en statistisk signifikant fremgang at spore på alle de fire parametre på nær RPV, hvor $p=0,05$ (parret t-test, se tabel 4.9). For de øvrige søtyper og parametre er der ikke signifikante ændringer.



Figur 4.8. Sammenligning af nøglevariable fra perioden 2004-2009 (x-aksen) og perioden 2010-2015 (y-aksen) fra undersøgelser af undervandsplanter fordelt på søtyper. Hvert punkt repræsenterer én sø. Hvis den enkelte sø er undersøgt mere end én gang i den samme periode, er der taget et gennemsnit. For dybdegrænsen er de laveste værdier vist i en særskilt figur. Den sorte linje angiver 1:1 værdier.

Tabel 4.9. Resultat af parret t-test (p-værdier) ved sammenligning af nøgleparametre fra undersøgelser af undervandsplanter for de søer, der blev undersøgt i begge perioder; 2004-2009 og 2010-2015. Signifikante forskelle ($p < 0,05$) er angivet med fed skrift. (+) angiver, at værdien er øget fra 2004-2009 til 2010-2015, mens (-) angiver reduceret værdi.

Søtype	Antal søer	RPA (%)	RPV (%)	Dybdegrænse (m)	Antal arter
1	4	0,22	0,18	0,31	0,77
2	0				
5	6	0,77	0,61	0,57	0,16
6	2	0,13	0,30	0,5	0,91
9	86	<0,001(+)	0,05	0,013(+)	<0,001(+)
10	40	0,23	0,64	0,30	0,50
11	20	0,59	0,42	0,01(-)	0,68
13	13	0,07	0,30	0,41	0,17
15	2	0,39	0,49	0,30	0,25

Antallet af søerne med ændringer i de fire nøgleparametre er generelt ringe for alle søtyper (tabel 4.10). For det plantedækkede areal er der kun syv søer (alle positive) med signifikante ændringer, men der er 157 søer, som er uændrede. Et lignende billede tegner sig for det plantefyldte volumen og planternes maksimale dybdegrænse, hvor der dog er 1-4 søer, som har ændret sig i negativ retning.

Tabel 4.10. Antal søer, som har udvist forbedring (Pos.), forværring (Neg.), eller som ikke har ændret sig (Neutral) i perioden 2004-2015. Positiv forbedring er i denne sammenhæng øget relativt plantedækket areal (RPA), øget plantedækket volumen (RPV) og øget plantedybdegrænse. Kun søer, som er undersøgt i begge perioder (2004-2009 og 2010-2015), og som er målt mindst tre gange, er medtaget i analysen (i alt 164). Der er foretaget lineær regression på logaritmetransformerede middelværdier ($p < 0,05$).

Søtype	RPA			RPV			Dybdegrænse		
	Pos.	Neg.	Neutral	Pos.	Neg.	Neutral	Pos.	Neg.	Neutral
1	0	0	3	0	0	3	0	0	3
2	0	0	1	0	0	1	0	0	1
5	1	0	3	0	0	3	1	0	3
6	0	0	2	0	0	2	0	0	2
9	2	0	81	5	0	78	3	2	78
10	3	0	35	2	1	35	3	0	35
11	1	0	17	1	0	17	0	1	17
13	0	0	13	1	0	12	0	0	13
15	0	0	2	1	0	1	0	1	1
	7	0	157	10	1	152	7	4	153

4.5 Fisk

Nøglevariable for fiskebestanden i 164 KT-søer for perioden 2010-2015 er vist i tabel 4.11. Antallet af fisk og biomassen var generelt lavere i de dybe, ferske, kalkrige søer end i de tilsvarende lavvandede søer (hhv. 34 og 32 % for gennemsnittet af antal og biomasse), og andelen af større rovfisk og individvægten var højere (hhv. 11 % og 35 %) (tabel 4.11). Disse resultater stemmer godt overens med det lavere næringsstofniveau i de dybe søer.

Tabel 4.11. Oversigt over nøgledata for fisk i 164 KT-søer fordelt på ni søtyper, som er undersøgt i perioden 2010-2015. Hvis der er data for flere år, er gennemsnit beregnet. Fisk indsamlet med net med maskestørrelse 68 og 85 mm i fiskeundersøgelserne er ikke medtaget. Indices relateret til Vandrammedirektivet er medtaget. Rovfiskenes andel er beregnet som den procentiske andel af gedde+aborre+sandart >10 cm til totalbiomassen. Karpefiskeindekset er beregnet som den procentiske andel af skalle+rudskalle+brasen+hybrider til totalbiomassen (CPUE). Fem søer uden fisk er ikke medtaget i beregningerne. Data er volumenkorregerede i forhold til de aktuelle dybdezoners i den enkelte sø.

CPUE (antal/net)						CPUE (kg/net)				
Søtype	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	32	26	12	59	3	2.8	1.9	1.1	5.2	3
2	12	12	2	23	2	0.8	0.8	0,2	1.4	2
5	23	28	0,7	35	4	2.0	2.2	0,6	3.1	4
6	14	14	13	15	2	1.0	1.0	0,9	1.1	2
9	173	117	0,2	677	88	4.7	4.4	0,01	11.7	88
10	115	95	0,1	342	39	3.2	2.9	0,07	7.7	39
11	125	84	5.8	322	21	3.5	3.3	0,05	11.2	21
13	67	60	5.5	235	13	3.3	2.6	0.05	9.5	13
15	53	57	24	82	2	1.0	1,0	0.7	1.3	2

Individ biomasse (g/fisk)						Skalle/brasen/hybrider (vægt, %)				
Søtype	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	88	87	75	101	3	4	0	0	11	3
2	71	71	61	81	2	50	50	0	100	2
5	284	102	51	880	4	27	12	0	83	4
6	75	75	64	86	2	0	0	0	0	2
9	52	33	2	1088	88	43	48	0	83	88
10	70	30	10	1463	39	45	47	0	77	39
11	41	25	1	129	21	35	42	0	92	21
13	86	58	1	284	13	27	29	0	78	13
15	23	25	15	30	2	49	49	0	98	2

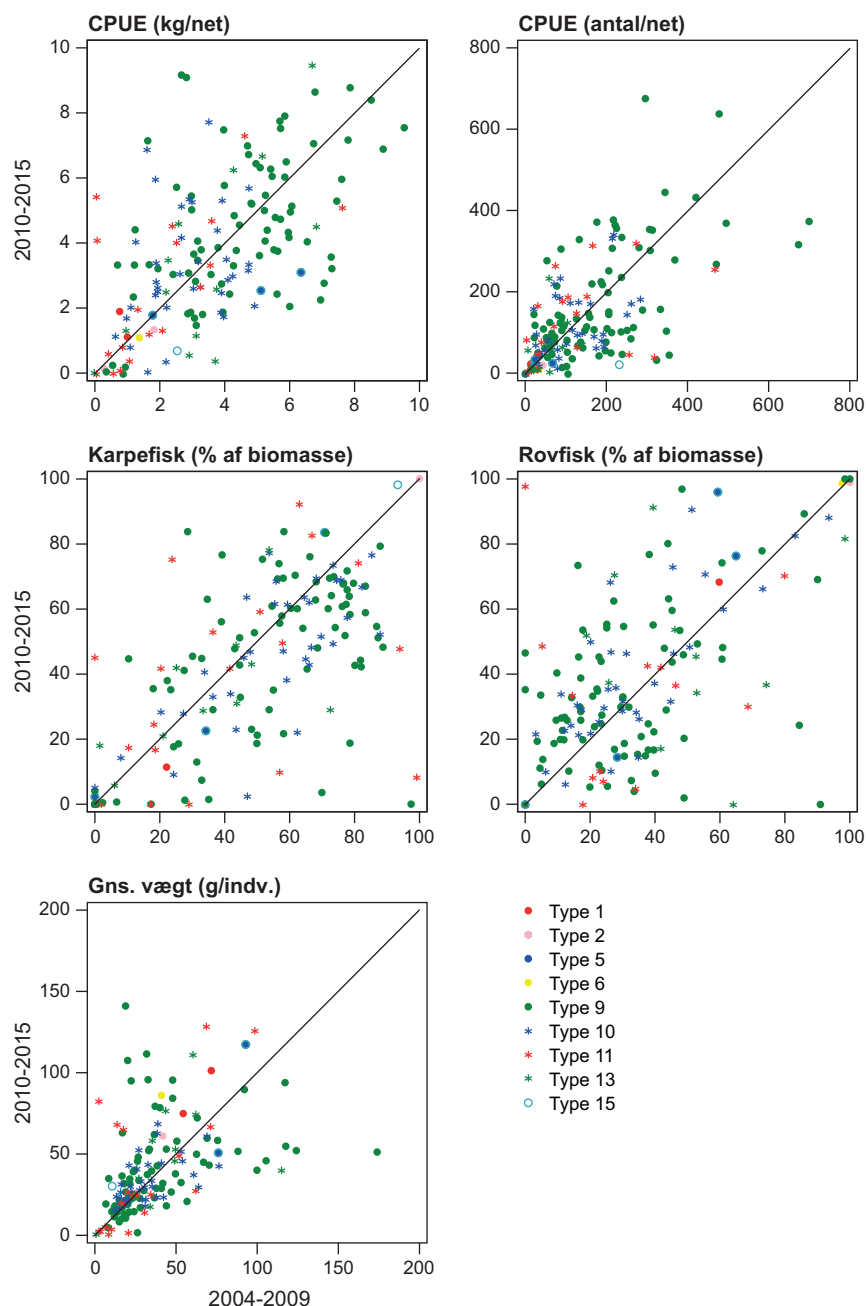
Rovfisk (vægt, %)					
Søtype	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	88	85	68	100	3
2	50	50	0	99	2
5	72	86	15	100	4
6	99	99	98	100	2
9	35	29	0	100	88
10	39	32	0	91	39
11	24	8	0	97	21
13	40	37	0	91	13
15	36	35	0	72	2

Udviklingstendenser

Ændringer fra perioden 2004-2009 til perioden 2010-2015.

Der er tendens til en formindskelse i både antal, biomasse og gennemsnitsvægt af fisk i de lavvandede søer og til en stigning i samme variable i de dybe søer fra den første til den anden periode (figur 4.9 tabel 4.12).

Figur 4.9. Ændringer fra 2004-2009 til 2010-2015 i det totale antal af fangede fisk (pr. net), totalbiomassen pr. net og den gennemsnitlige individvægt af fisk. Data er volumenkorrigerede. Hvis der er data for flere år, er gennemsnit beregnet. Fisk indsamlet med net med maskestørrelse 68 og 85 mm i fiskeundersøgelserne er ikke medtaget. Indices relateret til Vandrammedirektivet er medtaget. Rovfiskenes andel er beregnet som den procentiske andel af gedde+aborre+sandart >10 cm af totalbiomassen. Karpefiskeindekset er beregnet som den procentiske andel af skalle+rudskalle+brasen+hybrider af totalbiomassen (CPUE). Fem søer uden fisk er ikke medtaget i beregningerne. Se også tabel 4.11



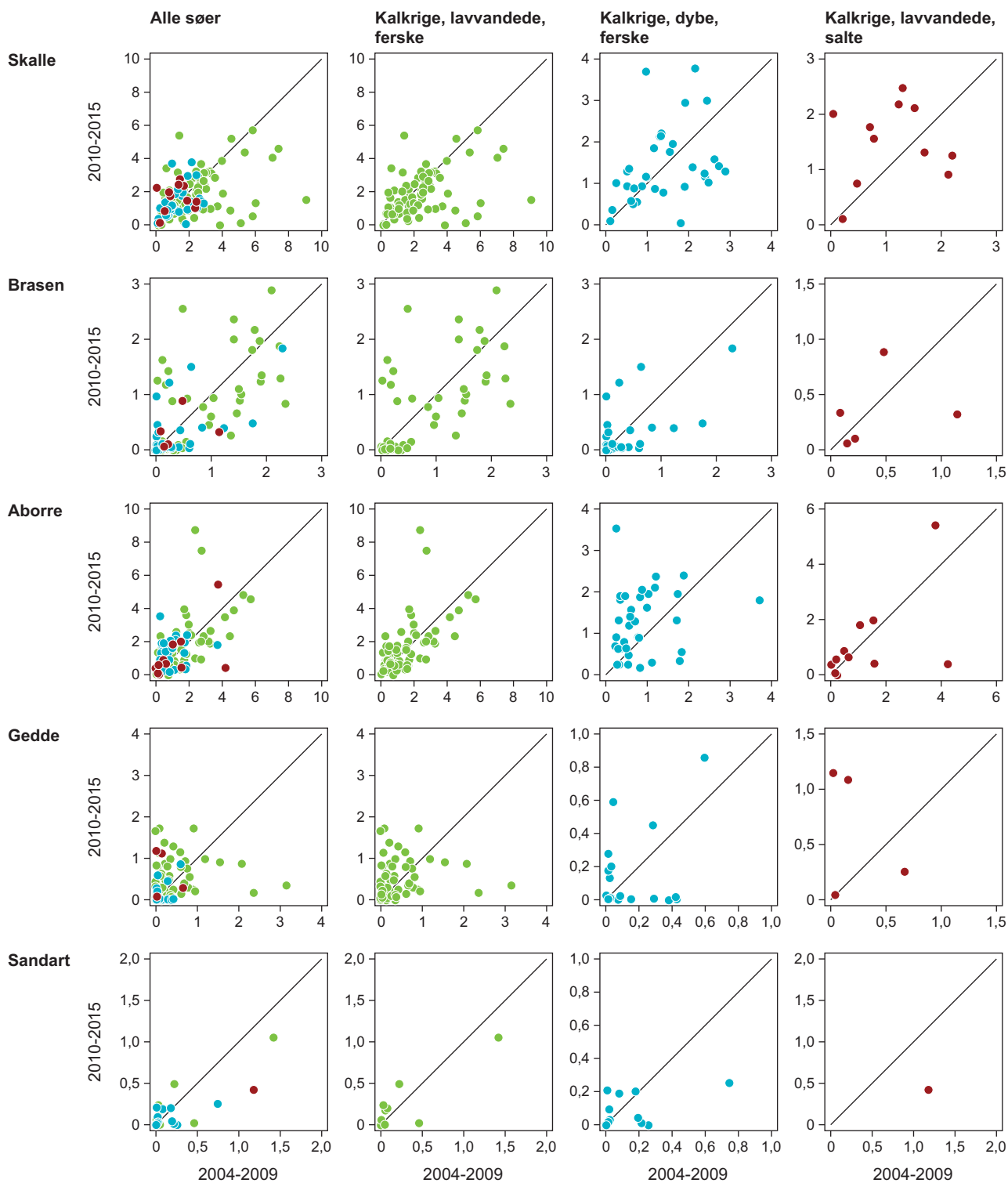
Der er imidlertid tale om meget store variationer søerne imellem, og ingen af de nævnte variable er signifikante i den parvise t-test. Derimod er der signifikante ændringer i andelen af karper (her defineret som skalle+brasen+hybrider) af totalbiomassen. Deres andel er mindsket i både de lavvandede og dybe søer (hhv. 6 % og 7 %), og samtidig stiger andelen af rovfisk (her defineret som aborre, sandart og gedde >10 cm). Stigningen er i gennemsnit på 2,3 % for de lavvandede søer og hele 6 % for de dybe søer. Disse resultater tyder på en general positiv udvikling i fiskebestanden. At stigningen er størst i de dybe søer, er ikke overraskende, da de generelt er mindre næringsrige end de lavvandede søer og dermed tættere på grænsen, hvor rovfiskenes andel forventes øget markant, når tilstanden forbedres (Jeppesen m.fl. 2000). Den øgede mængde rovfisk >10 cm kan måske også være forklaringen på tendensen til en øget gennemsnitsstørrelse af fiskene og biomassen af fisk i disse søer (tabel 4.12, dog ikke signifikant). Tendensen til lavere gennemsnitsvægt af fiskene i de lavvandede søer (tabel 4.11) stemmer godt overens med resultaterne fra KU-søerne og kan måske tilskrives ændringer i klimaet (højere temperaturer og større vinteroverlevelse – se afsnit 3.4).

Tabel 4.12. Oversigt over ændringer fra 2004-2009 til 2010-2015 i det totale antal af fangede fisk (pr. net), totalbiomassen og den gennemsnitlige individvægt af fisk. Data er volumenkorrigerede. Hvis der er data for flere år, er gennemsnit beregnet. Fisk indsamlet med net med maskestørrelse 68 og 85 mm i fiskeundersøgelserne er ikke medtaget. Indices relateret til Vandrammedirektivet er medtaget. Rovfiskenes andel er beregnet som den procentiske andel af gedde+aborre+sandart >10 cm af totalbiomassen. Karpefiskeindekset er beregnet som den procentiske andel af skalle+rudskalle+brasen+hybrider af totalbiomassen (CPUE). Fem søer uden fisk er ikke medtaget i beregningerne. L: lavvandede søer, D: dybe søer. Se også figur 4.8. Signifikante resultater ved den parrede t-test er fremhævet med fed skrift.

Søtype	Type	Antal søer	CPUE (Antal/net)	CPUE (kg/net)	Gns. vægt (g/individ)	Karpefisk (% af totalbiomasse)	Rovfisk (% af totalbiomasse)
1	L	2	4 (0,61)	0,63 (0,43)	25 (0,11)	5,3 (0,50)	4,8 (0,46)
2	D	2	-10 (0,52)	-0,31 (0,39)	-89 (0,56)	0	-0,5 (0,50)
5	L	3	-8 (0,66)	-1,93 (0,19)	-40 (0,44)	1,0 (0,89)	11,5 (0,51)
6	D	1	-21 (-)	-0,26 (-)	45 (-)	0	1,1 (-)
9	L	86	-15 (0,26)	-0,37 (0,22)	-18 (0,34)	-7,8 (<0,002)	3,2 (0,20)
10	D	36	5 (0,71)	0,44 (0,16)	14 (0,30)	-7,7 (<0,005)	6,4 (<0,02)
11	L	20	7 (0,79)	0,79 (0,22)	9 (0,19)	-2,4 (0,75)	0,9 (0,88)
13	L	13	9 (0,58)	-0,06 (0,90)	-10 (0,71)	-0,2 (0,96)	-1,6 (0,86)
15	L	1	-208 (-)	-1,8 (-)	19 (-)	4,8 (-)	0
Alle søer	LD	164	-7 (0,42)	-0,05 (0,81)	-7 (0,50)	-6,1 (<0,0005)	3,3 (<0,006)
Lavvandede søer	L	125	-10 (0,35)	-0,14 (0,57)	-12 (0,38)	-6,0 (<0,01)	2,3 (<0,029)
Dybe søer	D	39	4 (0,74)	0,41 (0,19)	9 (0,53)	-7,3 (<0,005)	6,0 (<0,01)

På grund af det lille datamateriale, som er til rådighed for de fleste af søtyperne, og den forventelige store usikkerhed på fiskedata er det kun muligt at vurdere udviklingen i få af typerne. De kalkrige, ferske, ikke brunvandede søer viser samme tendens som for søerne set under et (udgør også hovedparten af dataene). Selvom resultaterne ikke er signifikante, er tendensen den samme for de lavvandede, ikke brunvandede, salte søer, som for de tilsvarende ferske søer – dvs. en mindsket andel af karpefisk og en svagt øget rovfiskeandel. Udviklingen er her gået i samme retning.

Går man lidt mere i detaljer for de tre søtyper med et rimeligt stort datasæt, viser de parvise analyser, at der i de kalkrige, ferske, dybe søer er sket en signifikant stigning i biomassen af aborre (0,4 kg/net i gennemsnit, $p < 0,02$), mens ændringen er lille (0,06 kg/net) og ikke er signifikant for de også mere næringsrige, lavvandede søer. For skalle er der derimod tale om en markant reduktion i biomassen (0,56 kg/net i gennemsnit, $p < 0,009$), mens der her ikke er signifikant ændring for de dybe søer. For de øvrige arter er der ikke signifikante ændringer over perioden. Resultaterne for de mest dominerende arter er vist i figur 4.10.



Figur 4.10. Sammenligning af biomassen af de dominerende fiskearter i perioden 2010-2015 i forhold til perioden 2004-2009 i søerne som helhed og i de tre søtyper (type 9, 10 og 11) med et rimeligt stort antal søer inkluderet. Kalkrige, lavvandede ferske søer er vist med grønne prikker, alkaliske dybe ferske søer er blå, og de røde prikker indikerer lavvandede salte søer. Data er volumenkorrigerede.

5 Miljøfremmede stoffer og metaller i sedimentet

I perioden 2011-2015 er der indsamlet sedimentprøver fra 82 søer til analyse af op til 53 miljøfremmede stoffer og metaller. En total liste over stofferne og en beskrivelse af undersøgelsesfrekvens m.m. findes i Naturstyrelsen (2011). Søerne er udvalgt blandt de søer, som er indeholdt i kontrolovervågningen, og repræsenterer forskellige typer af søer mht. dybde, oplandstype, opholdstid, næringsindhold og areal i forhold til oplandsarealet. Sedimentprøver fra alle KU-søerne (figur 3.1) er undersøgt for miljøfremmede stoffer og metaller, og på figur 4.1 angives placeringen af de KT-søer, som er undersøgt i denne del af programmet. Prøverne er udtaget på det dybeste sted i søerne og består af overfladesediment, dvs. de to øverste cm af sedimentet på prøvetagningsstedet. For at få et indtryk af udviklingen i koncentrationen af de enkelte stoffer er der i 16 af de søer, som skønnes at have en relativ høj sedimentationsrate, udtaget prøver to gange i perioden med ca. tre års mellemrum.

Stofferne er fordelt på syv grupper: metaller, pesticider, aromatiske kulbrinter, phenoler, polyaromatiske hydrocarboner (PAH'er), blødgørere og organotinforbindelser.

I det følgende gives en overordnet beskrivelse af indholdet af hvert af stofferne i de undersøgte søer. Derudover beskrives ændringen i stofkoncentrationerne i de tilfælde, hvor et stof er målt to gange i den samme sø i perioden 2011-2015. Der er kun foretaget sammenligning i de tilfælde, hvor detektionsgrænsen for det enkelte stof var den samme i de to år. Det skal understreges, at den beskrevne udvikling skal tages med forbehold, da der kun ligger to målinger til grund for vurderingerne, og da den omfatter et relativt begrænset antal søer.

Resultater for perioden 2011-2013 er tillige præsenteret i rapporten "Miljøfremmede stoffer og metaller i vandmiljøet. NOVANA. Tilstand og udvikling 2004-2012" (Boutrup m.fl. 2015). Heri kan der også læses mere udførligt om de enkelte stofgrupper og om stoffernes forekomst i andre dele af miljøet.

Fund under detektionsgrænsen

I tilfælde af at et stof forekommer i koncentrationer, der er lavere end detektionsgrænsen, anvendes følgende fremgangsmåde: Hvis fundhyppigheden er større end 20 %, indgår værdier mindre end detektionsgrænsen i beregning af middelværdi, median osv. med værdien $\frac{1}{2}$ * detektionsgrænsen. Ved fundhyppigheder mindre end 20 % indgår værdier under detektionsgrænsen med værdien nul.

Fundhyppigheden er beregnet som procentdelen af koncentrationer højere end detektionsgrænsen.

Normalisering

Metaller i sediment har tendens til at binde sig til lerpartikler. Ved sammenligning af stofkoncentrationer på tværs af stationer er det derfor nødvendigt

at tage lerindholdet i betragtning. Dette gøres ved at normalisere metalindholdet i forhold til lithium, hvis koncentration kan relateres til lerindholdet, dvs. lithium optræder som proxy for ler. Som i Boutrup m.fl. (2015) antages "normalkoncentrationen" for lithium i fersk søsediment at være 6,8 mg/kg tørstof. Hvis der i et givent sediment er mere lithium end 6,8 mg/kg tørstof, bliver koncentrationen af et metal justeret ned, og, omvendt, ved en lavere værdi justeres værdien op. Dette gøres vha. følgende ligning:

*Normaliseret koncentration af et metal (X) i prøven a =
den målte koncentration af X*(6,8/den målte koncentration af lithium i prøven a).*

Tilsvarende er koncentrationen af miljøfremmede *organiske stoffer* normaliseret til indholdet af organisk stof, repræsenteret ved glødetabsprocenten, da de organiske miljøfremmede stoffer primært er bundet til andre organiske stoffer i sedimentet. "Normal-glødetabet" er sat til 26 % (som i Boutrup m.fl. 2015), og den normaliserede koncentration af organiske stoffer udregnes vha. følgende ligning:

*Normaliseret koncentration af et organisk stof (Y) i prøven a =
Den målte koncentration af Y*(26/den målte glødetabsprocent i prøven a).*

Ved tolkning af resultaterne skal man være opmærksom på, at en relativ lav koncentration af et stof i sediment med et meget lavt indhold af lithium og/eller et lavt glødetab kan resultere i en høj normaliseret værdi, og en høj koncentration kan omvendt resultere i en lav normaliseret koncentration ved et højt indhold af lithium / høj glødetabsprocent.

Kvalitetskriterier

Endnu findes der kun miljøkvalitetskrav (MKK) for et fåtal af stofferne i søsediment (Bek. nr.439 af 19/05/2016). I tabel 5.1-5.7 er procentandelen af de undersøgte søer, hvor værdien af det enkelte stof overstiger MKK, angivet. Indtil videre kan resultaterne for stoffer, hvor der ikke er fastsat MKK, anvendes til at give et indtryk af status for de enkelte stoffer på landsplan og til at følge udviklingen i de enkelte søer og på landsplan.

5.1 Metaller

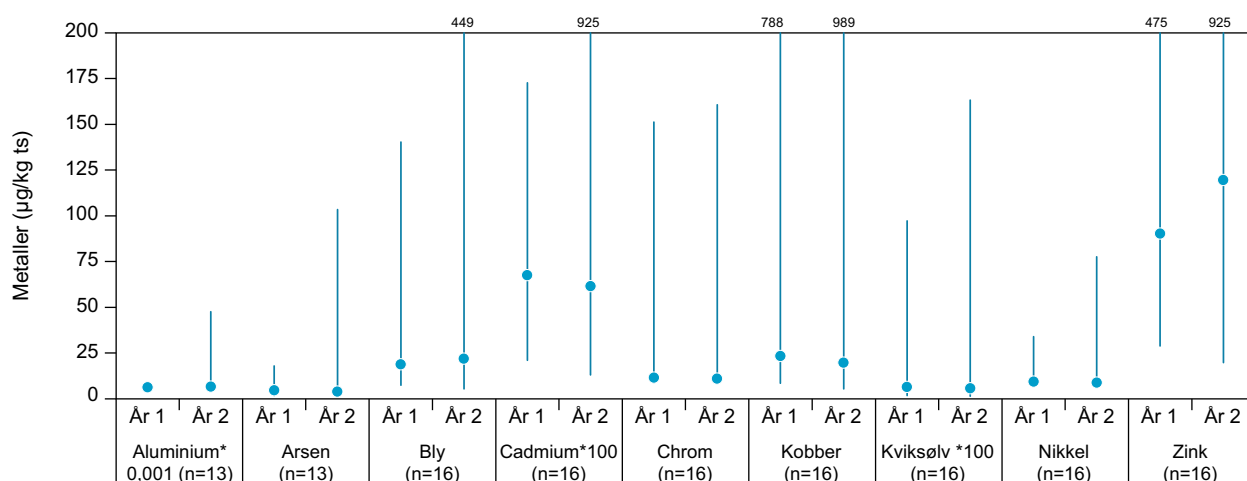
Metaller er naturligt forekommende i miljøet, men frigivelse fra fossile brændstoffer og andre geologiske materialer, deres udbredte anvendelse i bl.a. handelsgødning og dyrefoder og frigivelse i forbindelse med sænkning af grundvandsspejlet betyder, at de ofte forekommer i koncentrationer, der er højere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

Alle metaller er fundet i koncentrationer, der ligger over detektionsgrænsen, og der er generelt en stor spredning på de normaliserede koncentrationer (faktor 23-401 mellem minimums- og maksimumsværdier, tabel 5.1). Aluminium forekommer med de højeste koncentrationer (median=6700 mg/kg tørstof), efterfulgt af zink (median=97 mg/kg tørstof). Chrom, arsen, nikkel, kobber og bly forekommer med mediankoncentrationer på 6,4-29 mg/kg tørstof, mens cadmium og kviksølv er målt i de laveste koncentrationer, 0,76 og 0,09 mg/kg tørstof. Bly og cadmium er de eneste stoffer blandt de målte metaller,

for hvilke der er fastsat miljøkvalitetskrav i sediment; bly: 163 mg/kg tørstof, cadmium: 2,3 mg/kg tørstof og 1,5 mg/kg tørstof for den biotilgængelige andel, første værdi er anvendt her. Koncentrationer (ikke-normaliserede) af bly og cadmium er for begge stoffers vedkommende højere end MKK i 4 % af de undersøgte søer.

Tabel 5.1. Forekomst af metaller (normaliseret koncentration) i sediment fra 82 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2011-2015. Aluminium og arsen er kun målt i 78 søer. Median af ikke-normaliserede koncentrationer er også opgivet. DG=detekteringsgrænsen (ikke normaliseret), TS=tørstof. MKK=miljøkvalitetskrav. Hvis en sø er undersøgt to gange i perioden (se tekst), indgår kun den første måling i resultaterne.

Enhed:			10 %-	90 %-			Median –	Antal	%		
mg/kg TS	Middel	Median	fraktil	fraktil	Min	Max	ikke-normaliseret	Stationer	>DG	DG	over MKK
Aluminium	10167	6722	4718	15355	3654	82960	6600	78	100	10	-
Arsen	23	6,4	2,1	27	2	802	6,2	78	100	0,2	-
Bly	69	29	11	129	4	898	28	82	100	0,1	4
Cadmium	1,3	0,76	0,35	2,8	0,21	14	0,78	82	100	0,01	4
Chrom	21	12	8,9	27	6,8	190	14	82	100	0,1	-
Kobber	37	19	10	64	4,4	788	19	82	100	0,05	-
Kviksølv	0,19	0,090	0,035	0,46	0,008	2,3	0,091	82	100	0,001-0,01	-
Nikkel	26	12	7,9	42	6	326	14	82	100	0,1	-
Zink	179	97	44	400	26	2312	95	82	100	1	-



Figur 5.1. Forskel i median- (punkt), minimum- og maksimumværdier (linjer udgående fra punktet) af koncentrationen (normaliseret) af metaller i sedimentet, der er målt i samme søer to gange i løbet af perioden 2011-2015, n=antal søer.

Niveauerne af samtlige metaller ligger meget ensartet i de søer, der er målt to gange i perioden 2011-2015. Der ses ingen signifikante forskelle i værdierne for nogen af stofferne (figur 5.1).

5.2 Pesticider

Pesticider er en samlet betegnelse for midler til ukrudts-, insekt- og svampebekæmpelse samt til vækstregulering. Stofferne har udbredt anvendelse i landbruget, men anvendelse andre steder end i landbruget har også vist sig at have betydning for pesticidernes forekomst i miljøet, eksempelvis tidligere anvendelse på jernbanearealer og bebyggede områder (Boutrup m.fl. 2015). Miljø- og Fødevarerministeriet oplyser, at status for cypermethrin og tau-flu-

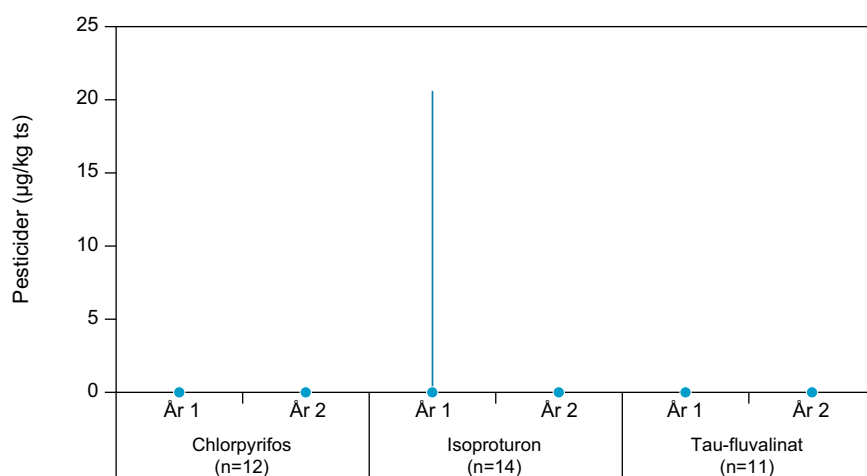
valinat er, at stofferne er godkendt til brug i Danmark. Isoproturon og chlorpyrifos er nu forbudte at anvende i Danmark. Salg af isoproturon var tilladt indtil 2000, mens chlorpyrifos har været tilladt i væksthuse indtil 2012.

Blandt de pesticider, der er analyseret i kontrolovervågningen, er kun chlorpyrifos og isoproturon fundet i koncentrationer, der ligger over detektionsgrænsen (tabel 5.2). Chlorpyrifos er fundet i sedimentet i tre søer, hvor de normaliserede koncentrationer ligger mellem 1,1 og 54 µg/kg tørstof, mens isoproturon er fundet i seks (3,4-69 µg/kg tørstof) af de 79 søer. Der er endnu ikke fastsat miljøkvalitetskrav for sediment for nogle af de analyserede pesticider. Ifølge oplysninger fra Miljø- og Fødevarerministeriet forventes de fundne sedimentkoncentrationer ikke at udgøre en risiko for vandmiljøet. Denne vurdering er baseret på stoffernes forventede effekter på vandmiljøet og deres fordeling mellem vand og sediment (Koc).

Tabel 5.2. Forekomst af pesticider (normaliseret koncentration) i sediment fra 79 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2011-2015. Median af ikke-normaliserede koncentrationer er også opgivet. DG=detektionsgrænsen (ikke normaliseret), TS=tørstof. Hvis en sø er undersøgt to gange i perioden (se tekst), indgår kun den første måling i resultaterne.

Enhed:			10 %-	90 %-			Median –		%	
µg/kg TS	Middel	Median	fraktil	fraktil	Min	Max	ikke-normaliseret	Antal stationer	fund >DG	DG
Cypermethrin	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	79	0	2,5-40
Chlorpyrifos	7,9	<DG	<DG	<DG	<DG	54	<DG	79	4	1-4
Isoproturon	1,5	<DG	<DG	<DG	<DG	69	<DG	79	8	3-60
Tau-fluvalinat	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	<DG	79	0	2-4

Figur 5.2. Forskel i median- (punkt), minimum- og maksimum-værdier (linjer udgående fra punktet) af koncentrationen (normaliseret) af pesticider i sediment, der er målt i samme søer to gange i løbet af perioden 2011-2015, n=antal søer.



Der er ikke udtaget prøver to gange i perioden i nogen af de af søer, hvor chlorpyrifos blev fundet over detektionsgrænsen. Cypermethrin er i én sø fundet over detektionsgrænsen i to prøver udtaget inden for perioden (ved anden prøvetagning i den pågældende sø, derfor ikke vist i tabel 5.2), men detektionsgrænsen de to år er ikke sammenlignelig. Kun fra to af de otte søer, hvor isoproturon er fundet, er der udtaget prøver to gange i perioden, og her er stoffet ikke fundet over detektionsgrænsen ved anden måling. Disse få resultater fra to målinger i samme sø giver ingen indikationer på eventuel udvikling i indholdet af pesticider i søsedimentet i perioden 2011-2015 (figur 5.2).

5.3 Aromatiske kulbrinter

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

Alle aromatiske kulbrinter, som er medtaget i programmet, er fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen i de fleste søer. Variationen af koncentrationen af de enkelte stoffer er stor, idet minimum- og maksimumværdierne varierer med op til en faktor 1300 (trimethylnaphthalener). Dimethylnaphthalener forekommer i de højeste koncentrationer (median=489 µg / kg tørstof), mens de øvrige stoffer forekommer med en mediankoncentration på 4,1-31 µg / tørstof (tabel 5.3).

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

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

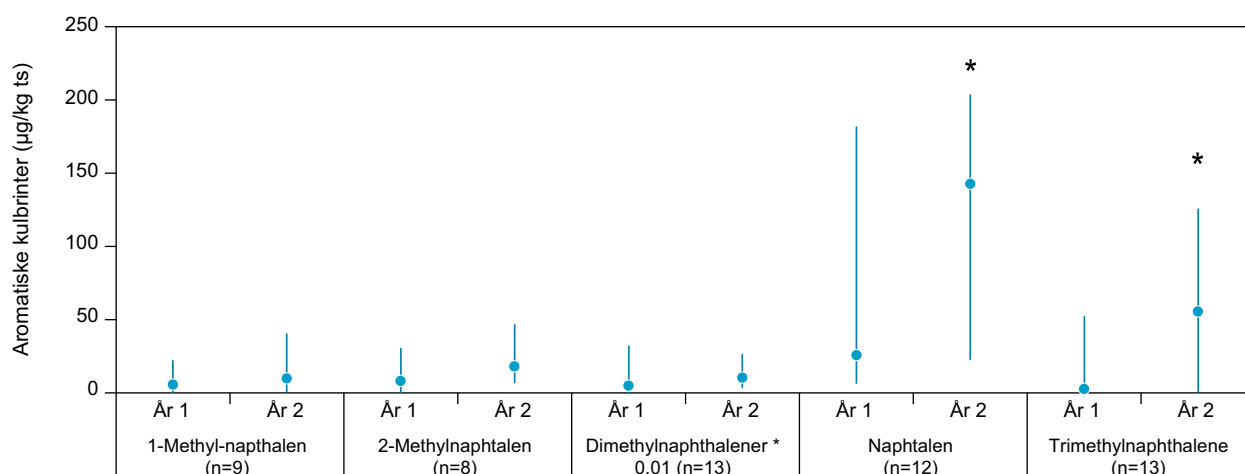
Andelen af organisk stof er her defineret ved glødetabsprocenten i de enkelte prøver. Miljøkvalitetskravet svarer således til 12-340 µg / kg tørstof.

For naphthalen er miljøkvalitetskravet 138 µg / kg tørstof. For naphthalens og methylnaphthalenernes vedkommende er koncentrationerne højere end miljøkvalitetskravet i henholdsvis 5 % og 79 % af søerne.

Tabel 5.3. Forekomst af aromatiske kulbrinter (normaliseret koncentration) i sediment fra 78 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2011-15. Median af ikke-normaliserede koncentrationer er også opgivet. DG=detektionsgrænsen (ikke normaliseret), TS=tørstof. Hvis en sø er undersøgt to gange i perioden (se tekst), indgår kun den første måling i resultaterne. MKK=miljøkvalitetskrav ¹⁾Omfatter summen af 1-, 2-, di- og tri-methylnaphthalener.

Enhed: µg/kg TS	Middel	Median	10 %- fraktil	90 %- fraktil	Min	Max	Median – ikke-nor- maliseret	Antal statio- ner	% fund >DG	DG	% over MKK
1-Methylnaphthalen	8,7	4,1	0,26	18	0,13	114	3,5	78	71	0,5-20	79 ¹⁾
2-Methylnaphthalen	15	7,7	2,2	30	0,25	173	6,8	78	88	1-30	
Dimethylnaphthalener	883	489	61	2447	5,1	5200	265	78	100	0,8-8	
Trimethylnaphthalener	33	18	0,62	71	0,22	289	13	78	83	1-20	
Naphtalen	51	31	6,1	100	1,8	607	25	78	100	0,8	5

Der ses en signifikant stigning i koncentrationerne af naphthalen (25-143 µg / kg tørstof) og trimethylnaphthalener (2,5-55 µg / kg tørstof) mellem de to målinger i perioden 2011-2015. Koncentrationen af resten af de målte aromatiske kulbrinter ligger på samme niveau i de to måleår (figur 5.3).



Figur 5.3. Forskel i median- (punkt), minimum- og maksimumværdier (linjer udgående fra punktet) af koncentrationen (normaliseret) af aromatiske kulbrinter i sedimentet, der er målt i samme søer to gange i løbet af perioden 2011-2015. * angiver, at der er signifikant forskel mellem de to målinger (parret t-test $p < 0,05$), n =antal søer.

5.4 Phenoler

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

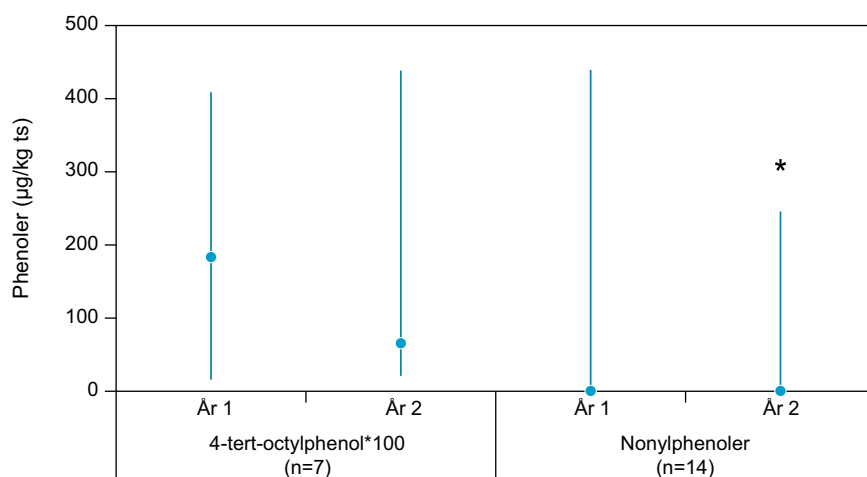
Blandt phenolerne er 4-tert-octylphenol hyppigst fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen, idet stoffet er påvist i 53 % af de undersøgte søer. Det skal bemærkes, at 4-tert-octylphenol er analyseret med væsentlig lavere detektionsgrænse end de øvrige stoffer. 4-nonylphenol, nonylphenoldiethoxylater, nonylphenoler og nonylphenolmonoethoxylater er fundet i 13-18 % af de undersøgte søer, mens octylphenol er fundet i én af søerne ved første måling. I langt de fleste tilfælde forekommer stofferne i meget lave koncentrationer; kun for 4-tert-octylphenol ligger mediankoncentrationen over detektionsgrænsen, og det er det eneste stof med en fundhyppighed højere end 50 % (tabel 5.4). Der er fastsat miljøkvalitetskrav for nonylphenoler (25 mg/kg tørstof * fraktionen af organisk stof) og octylphenol (39,3 mg/kg tørstof * fraktionen af organisk stof). Der er ikke fundet koncentrationer over miljøkvalitetskravene i nogen af søerne.

For alle stofferne ligger koncentrationerne på samme lave niveau i begge målinger i perioden 2011-2015, bortset fra nonylphenolerne, som udviser en signifikant reduktion i løbet af perioden (figur 5.4).

Tabel 5.4. Forekomst af phenoler (normaliseret koncentration) i sediment fra 75-82 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2011-15. Median af ikke-normaliserede koncentrationer er også opgivet. DG=detektionsgrænsen (ikke normaliseret), TS=tørstof. Hvis en sø er undersøgt to gange i perioden (se tekst), indgår kun den første måling i resultaterne. MKK=miljøkvalitetskrav.

Enhed: µg/kg TS	Middel	Median	10 %- fraktil	90 %- fraktil	Min	Max	Median – ikke- normaliseret	Antal stationer	% fund >DG	DG	% over MKK
4-Nonylphenol	0,95	<DG	<DG	1,6	<DG	49	<DG	82	13	0,5-20	-
4-tert-octylphenol	4,9	2,0	0,23	7,4	0,11	84	1,3	75	53	0,0005-20	-
Nonylphenol-diethoxy- xylater (NP2EO)	7,7	<DG	<DG	20	<DG	271	<DG	78	14	10-200	-
Nonylphenoler	41	<DG	<DG	173	<DG	563	<DG	82	18	100-400	0
Nonylphenol-mono- ethoxylater (NP1EO)	6,0	<DG	<DG	18	<DG	173	<DG	82	13	10-200	-
Octylphenol	0,68	<DG	<DG	<DG	<DG	53	<DG	78	1	10-100	0

Figur 5.4. Forskel i median- (punkt), minimum- og maksimum-værdier (linjer udgående fra punktet) af koncentrationen (normaliseret) af phenoler i sediment, der er målt i samme søer to gange i løbet af perioden 2011-2015. * angiver, at der er signifikant forskel mellem de to målinger (parret t-test $p < 0,05$), n =antal søer.



5.5 Polyaromatiske kulbrinter (PAH)

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

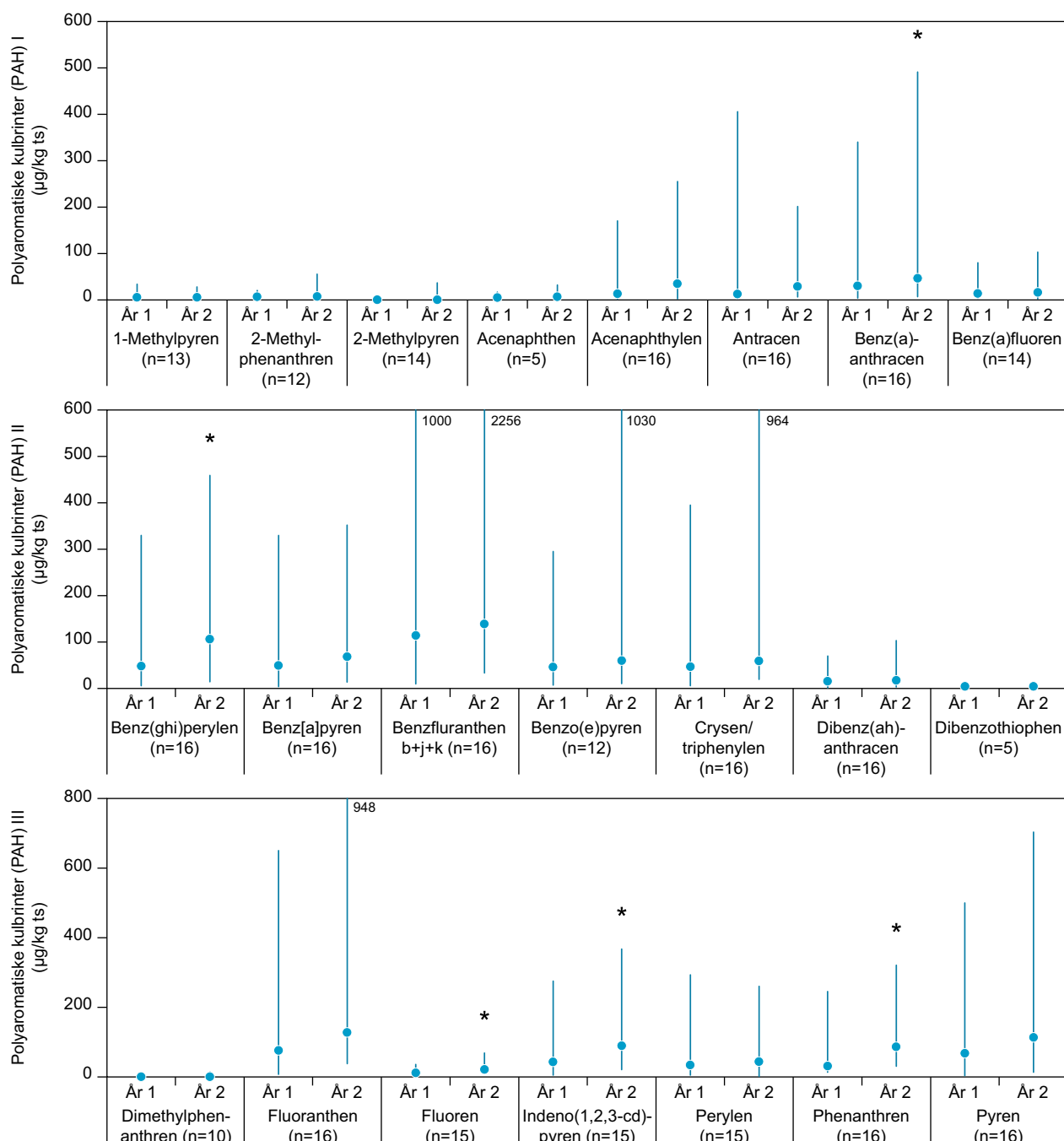
De polyaromatiske kulbrinter er fundet over detektionsgrænsen i størstedelen af søerne. Undtagelserne er 2-methylpyren og dimethylphenanthren, som findes i hhv. 17 og 21 % af søerne. Som for de øvrige stofgrupper ses også her en stor spredning mellem søerne, forholdet mellem minimum- og maksimum-værdierne er for over halvdelen af stofferne over 1000, for et enkelt af stofferne (Benz(a)fluoren) er faktoren 3000.

De højeste mediankoncentrationer findes for pyren, flouranthen og benzfluoranthren b+j+k (82-135 µg / kg tørstof). De laveste medianværdier ligger under 10 µg/kg tørstof (dimethylphenanthren, 2-methylpyren, dibenzothiophen, acenaphthen, 1-methylpyren og 2-methylphenanthren, tabel 5.5).

Tabel 5.5. Forekomst af polyaromatiske kulbrinter/PAH (normaliseret koncentration) i sediment fra 82 søer indeholdt i kontrol-overvågningen i perioden 2010-15. Median af ikke-normaliserede koncentrationer er også opgivet. DG=detektionsgrænsen (ikke normaliseret), TS=tørstof. Hvis en sø er undersøgt to gange i perioden (se tekst), indgår kun den første måling i resultaterne.

Enhed: µg/kg TS	Middel	Median	10 %- fraktil	90 %- fraktil	Min	Max	Median – ikke-normaliseret	Antal stationer	% fund >DG	DG
1-Methylpyren	8,8	5,1	1,1	15	0,16	159	3,9	82	89	0,5-6
2-Methylphenanthren	14	6,9	0,54	34	0,14	159	5,9	82	80	0,5-20
2-Methylpyren	6,6	<DG	<DG	10	<DG	231	<DG	82	17	10-40
Acenaphthen	7,8	4,1	0,37	23	0,14	48	3,1	82	67	0,5-50
Acenaphthylen	32	13	4,7	60	1,1	448	11	82	98	0,5-20
Antracen	37	13	3,8	64	0,24	448	13	82	99	0,5
Benz(a)anthracen	99	43	12	198	3,9	2022	39	82	99	1,5-2
Benz(a)fluoren	27	14	3,8	61	0,16	491	11	82	93	0,5-20
Benz(ghi)perylene	131	62	23	268	2,2	2311	52	82	99	1
Benz[a]pyren	114	51	15	184	2,2	2889	41	82	99	1
Benzfluranthen b+j+k	300	135	47	479	4,4	5778	100	82	99	1,5-2
Benzo(e)pyren	123	54	18	187	2,2	2456	43	82	98	1-80
Crysen/triphenylen	122	53	17	223	5,7	2456	48	82	100	1
Dibenz(ah)anthracen	31	15	4,1	69	0,32	549	13	82	94	1
Dibenzothiophen	11	4,0	0,62	13	0,24	304	3,4	82	65	1-30
Dimethylphenanthren	1,4	<DG	<DG	3	<DG	51	<DG	82	21	1-8
Fluoranthren	213	107	34	444	6,6	4333	80	82	99	3
Fluoren	23	15	7,1	38	0,22	173	14	82	98	0,5-30
Indeno(1,2,3-cd)pyren	118	54	20	260	4,4	2167	47	82	99	2
Perylen	108	47	12	244	1,7	834	31	82	98	1-200
Phenanthren	87	52	21	161	14	1040	43	82	100	0,6
Pyren	171	82	27	270	3,3	3756	64	82	98	3

Ved sammenligning mellem de to måleår ses der en signifikant stigning i koncentrationen af stofferne benz(a)-anthracen (30 til 46 µg/kg tørstof), benz(ghi)perylene (48 til 106 µg/kg tørstof), fluoren (12 til 21 µg/kg tørstof), indeno (1,2,3-cd)pyren (43 til 89 µg/kg tørstof) og phenanthren (31 til 86 µg/kg tørstof) i de søer, hvor stofferne er målt to gange, og detektionsgrænserne er de samme.



Figur 5.5. Forskel i median- (punkt), minimum- og maksimumværdier (linjer udgående fra punktet) af koncentrationen (normaliseret) af polyaromatiske kulbrinter (PAH) i sedimentet, der er målt i samme søer to gange i løbet af perioden 2011-2015. * angiver, at der er signifikant forskel mellem de to målinger (parret t-test $p < 0,05$, n =antal søer).

5.6 Blødgørere

Blødgørerne omfatter stofgruppen phthalater og en enkelt adipat, der anvendes som blødgørere i plastik, gummi, maling m.m. Blødgørerne har været medvirkende til, at fx plastmaterialer har kunnet anvendes til en lang række produkter, hvor der er behov for meget forskellige egenskaber, lige fra den hårde tagrende til den bløde regnfrakke. Blandt phthalaterne har særligt DEHP igennem årene været i fokus på grund af den udbredte anvendelse og dets egenskab som hormonforstyrrende stof. Anvendelsen af DEHP er blevet reguleret, og forbruget er blevet erstattet eller suppleret med andre blødgørere. Blødgørerne tilføres til

omgivelserne med spildevand, med overfladisk afstrømning og via afdampning til atmosfæren, hvorfra det udvaskes (Boutrup m.fl. 2015).

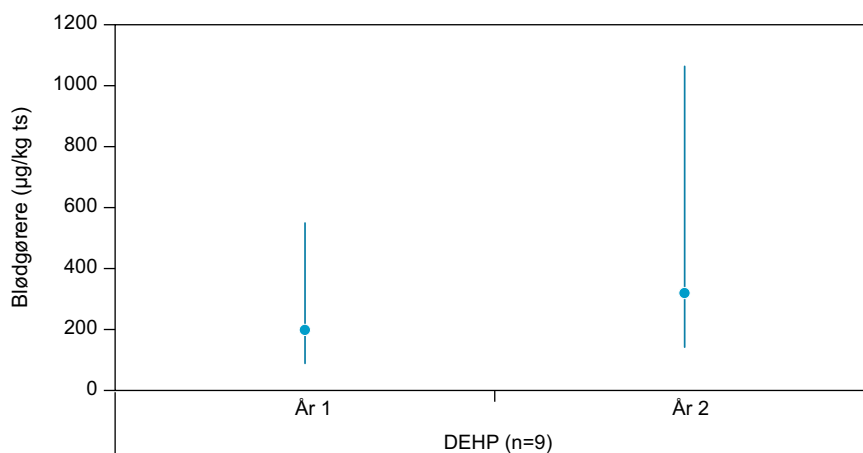
De tre stoffer inden for blødgørere, som indgår i søovervågningen, er fundet over detektionsgrænsen i henholdsvis 6, 32 og 62 % af søerne. Det mest forekommende stof er DEHP, som er fundet i koncentrationer mellem 3,2 og 2407 µg/kg tørstof, diisononylphtalat, som er fundet i koncentrationer mellem 7 og 1253 µg/kg tørstof, og di(2-ethylexyl)adipat, som er fundet over detektionsgrænsen i 6 % af søerne (svarende til fem søer) med koncentrationer mellem 10 og 340 µg/kg tørstof (tabel 5.6).

Tabel 5.6. Forekomst af blødgørere (normaliseret koncentration) i sediment fra 78-82 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2010-15. Median af ikke-normaliserede koncentrationer er også opgivet. DG=detektionsgrænsen (ikke normaliseret, TS=tørstof. Hvis en sø er undersøgt to gange i perioden (se tekst), indgår kun den første måling i resultaterne.

Enhed:							Median –			
µg/kg TS	Middel	Median	10 %-fraktil	90 %-fraktil	Min	Max	ikke-normaliseret	Antal stationer	% fund >DG	DG
DEHP	285	130	6,2	616	3,2	2407	120	82	62	10-100
Di(2-ethylhexyl)adipat	10	<DG	<DG	<DG	<DG	340	<DG	78	6	10-100
Diisononylphtalat	164	83	34	453	7,0	1253	75	78	32	20-200

Der ses ingen signifikant forskel i koncentrationen af DEHP, som er det eneste stof, der er målt to gange i perioden 2011-2015, og som har samme detektionsgrænse de to måleår (figur 5.6).

Figur 5.6. Forskel i median- (punkt), minimum- og maksimum-værdier (linjer udgående fra punktet) af koncentrationen (normaliseret) af blødgørere i sedimentet, der er målt i samme søer to gange i løbet af perioden 2011-2015, n=antal søer.



5.7 Organotinforbindelser

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

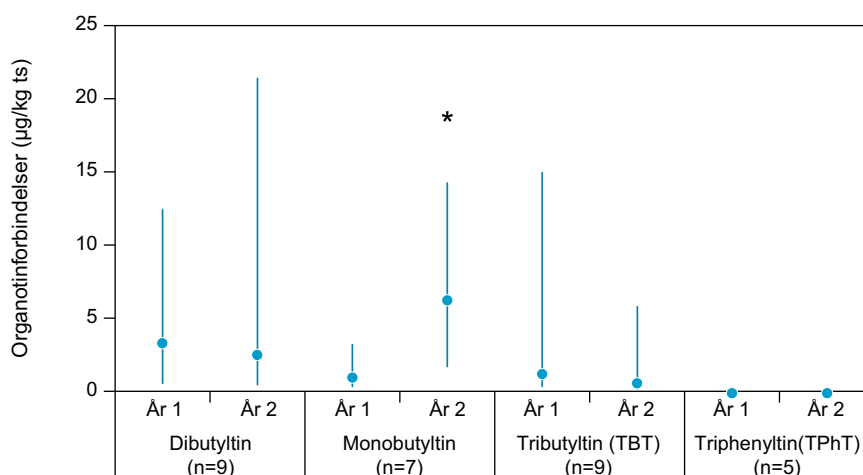
Alle organotinforbindelserne, bortset fra triphenyltin, er målt i alle de undersøgte søer. Triphenyltin er målt i 78 af søerne. Stofferne er fundet over detektionsgrænsen i 15-59 % af søerne. Monobutyltin forekommer generelt i de højeste koncentrationer (0,48-34 µg/kg tørstof). Dibutyltin og tributyltin forekommer i samme størrelsesorden (0,32-77 µg/kg tørstof og 0,18-29 µg/kg tørstof), mens triphenyltin er fundet med den laveste forekomst (<DG-0,87 µg/kg tørstof, tabel 5.7).

Tabel 5.7. Forekomst af organotinforbindelser (normaliseret koncentration) i sediment fra 78-82 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2010-15. Median af ikke-normaliserede koncentrationer er også opgivet. DG=detektionsgrænsen (ikke normaliseret), TS=tørstof. Hvis en sø er undersøgt to gange i perioden (se tekst), indgår kun den første måling i resultaterne.

Enhed: µg/kg TS							Median –	Antal stationer	% fund >DG	DG
	Middel	Median	10 %- fraktil	90 %- fraktil	Min	Max	ikke- normaliseret			
Dibutyltin	5,7	2,5	0,68	12	0,32	77	2,3	82	59	1-5
Monobutyltin	4,5	3,4	1,1	9,0	0,48	34	3,5	82	57	1-7
Tributyltin (TBT)	2,8	0,87	0,45	8,1	0,18	29	1	82	28	1-12
Triphenyltin(TPhT)	0,048	<DG	<DG	0,22	<DG	0,87	<DG	78	15	0,1-1

Blandt organotinforbindelserne ses der en signifikant stigning i koncentrationen af monobutyltin; fra 1,1 til 6,3 µg/kg tørstof. For de øvrige stoffer ses der ingen ændring.

Figur 5.7. Forskel i median-(punkt), minimum- og maksimum-værdier (linjer udgående fra punktet) af koncentrationen (normaliseret) af organotinforbindelser i sedimentet, der er målt i samme søer to gange i løbet af perioden 2011-2015. * angiver, at der er signifikant forskel mellem de to målinger (parret t-test $p<0,05$), n=antal søer.



5.8 Sammenfatning

Med få undtagelser er alle de undersøgte stoffer inden for grupperne metaller, aromatiske kulbrinter, PAH'er og organotinforbindelser fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen i sedimentet i de fleste af de i alt 82 undersøgte søer. Stofferne er fundet i meget varierende koncentrationer. Phenoler er påvist i 1-53 % af de undersøgte søer og blødgørere i 6-62 %, mens pesticider er fundet i få søer (0-8 %).

Fra 16 af de undersøgte søer er der udtaget sedimentprøver to gange i perioden 2011-2015. Ved sammenligning af de fundne koncentrationer ses der ved det seneste prøvetagningsår signifikant højere koncentrationer af de aromatiske kulbrinter naphtalen og trimethylnaphtalen, af organotinforbindelsen monobutyltin og af PAH'erne benz(a)anthracen, benz(ghi)perylene, fluoren,

indeno(1,2,3-cd)pyren og phenanthren. Indholdet af nonylphenoler var signifikant lavere det andet prøvetagningsår. Det skal understreges, at disse udviklingstendenser alene bygger på to målinger af de pågældende stoffer, og at data repræsenterer højst 16 søer.

For enkelte af de undersøgte stoffer er der fastsat miljøkvalitetskrav (MKK) i sediment. Bly og cadmium blev for begge stoffers vedkommende fundet i 4 % af de undersøgte søer i koncentrationer, der var højere end MKK. Naphthalen og methylnaphthalener blev således fundet i koncentrationer højere end MKK i 5 % og 79 % af de undersøgte søer, mens der ikke blev fundet koncentrationer højere end MKK for phenoler.

6 Kviksølv i fisk

Som et led i undersøgelse af miljøfremmede stoffer og metaller i søer er indholdet af kviksølv i muskelvæv målt hos fisk. Undersøgelsen omfatter fisk fra stort set de samme søer, hvori der blev undersøgt for miljøfremmede stoffer og metaller i sedimentet (se kapitel 5). Målingerne foretages fortrinsvis på aborre med en længde på 20-25 cm fanget i forbindelse med fiskeundersøgelserne i NOVANA (se kapitel 3 og 4). Fem fisk fra hver sø er analyseret. I de tilfælde, hvor det ikke har været muligt at finde aborrer i de udvalgte søer, eller hvor det ikke har været muligt at finde dem i den angivne størrelse, er der undersøgt aborrer i en anden (oftest mindre) størrelse eller alternative fiskearter.

Figur 6.1 og 6.2 viser resultaterne for henholdsvis aborre og øvrige fiskearter.

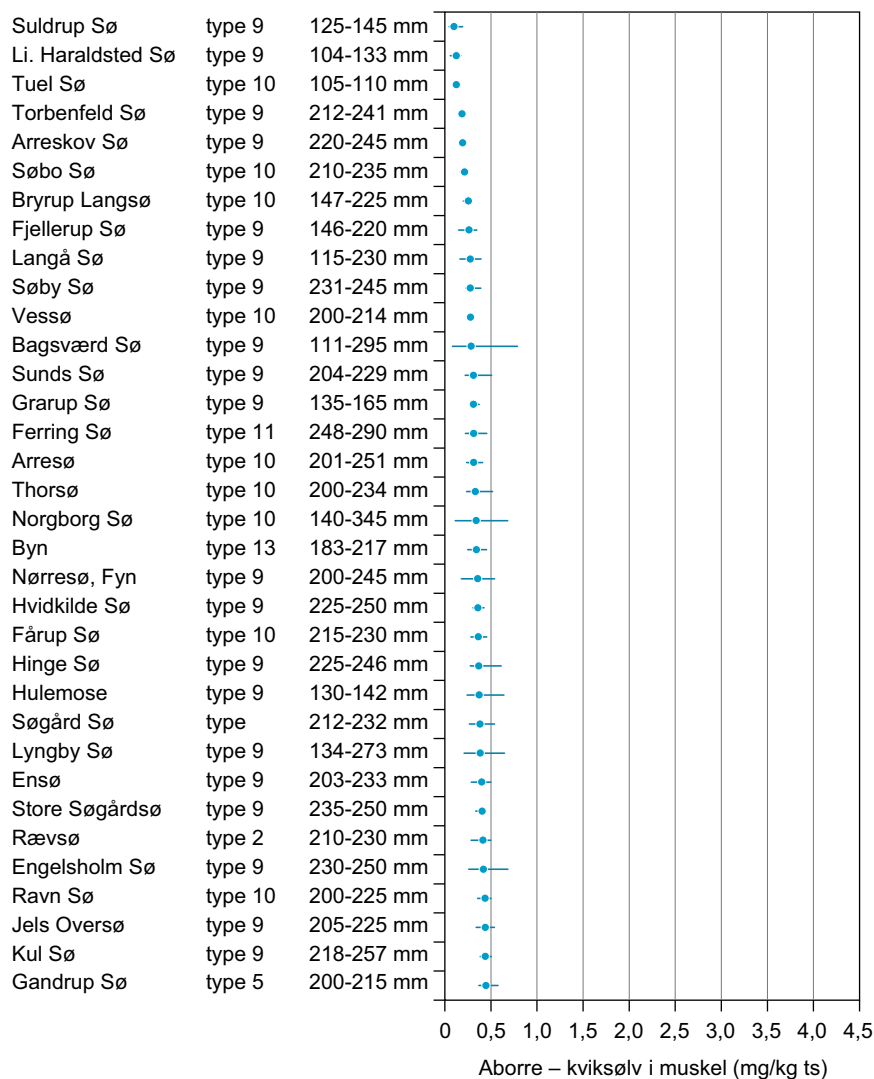
Middelkoncentrationerne af kviksølv i muskelvævet hos aborrer ligger mellem 0,1-2,3 mg/kg tørstof, og der er en ret stor spredning i de fleste søer.

Langt de fleste prøver er indsamlet i de almindeligste søtyper, type 9 og 10 (ferske, alkaline, ikke-brunvandede søer, se kapitel 2). Der ser ikke ud til at være nogen sammenhæng mellem koncentrationen af kviksølv og søtype (figur 6.3). Det skal bemærkes, at inddelingen af søtyperne, som er anvendt her, ikke tager hensyn til næringsindhold, størrelse af søen og forholdet mellem søstørrelse og oplandets størrelse – kriterier, der er taget hensyn til ved udvælgelse af søer til analyse for miljøfremmede stoffer og metaller.

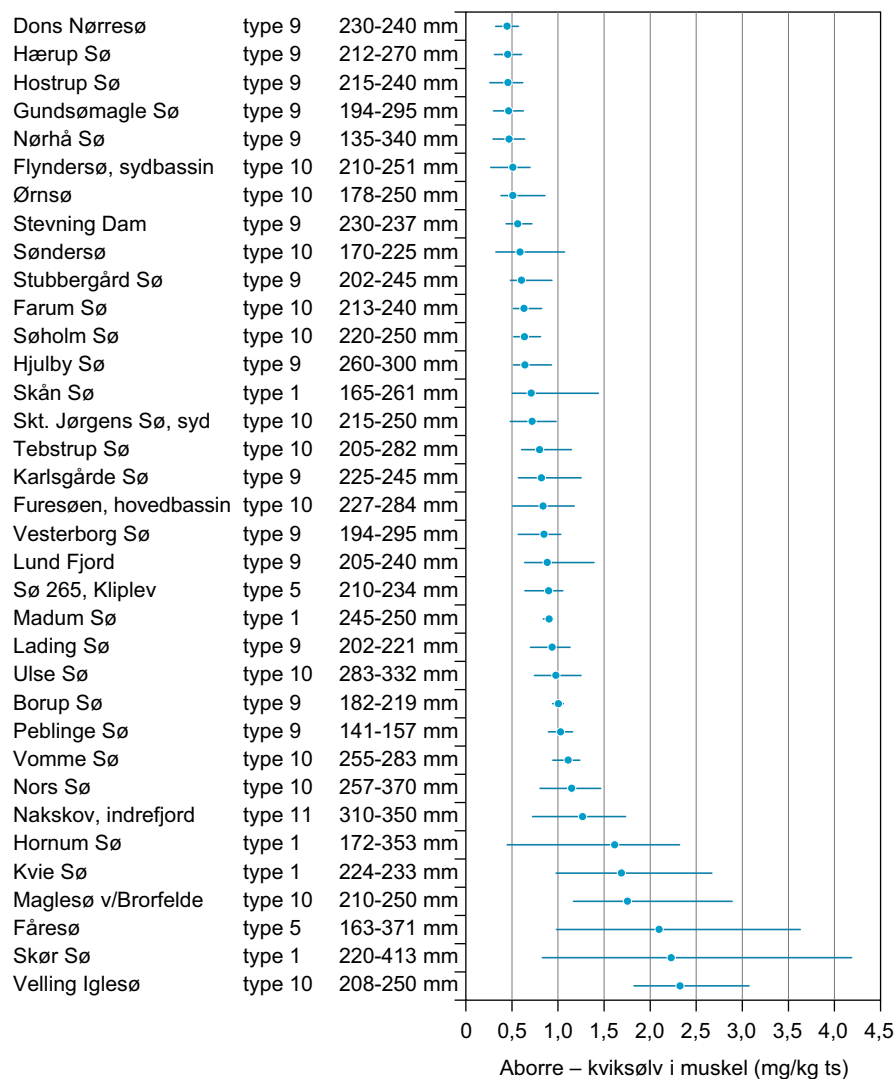
Det kan synes bemærkelsesværdigt, at fiskene fra nogle af de mest næringsfattige og/eller kalkfattige søer som Velling Igelsø, Skør Sø, Maglesø, Hornum Sø og Kvie Sø er blandt de fisk, som har de højeste koncentrationer af kviksølv. Der er dog også foretaget undersøgelser af fisk fra andre næringsfattige søer (f.eks. Ræv Sø og Ravn Sø) og kalkfattige søer (Skån Sø og Madum Sø), hvor koncentrationerne er lavere. På det nuværende grundlag kan der ikke gives en entydig forklaring på dette og forskellige faktorer kan spille ind. Søernes alkalinitet har formentlig en betydning; det er observeret at fisks optagelse foregår lettere i kalkfattige end i kalkrige søer (Spry og Wiener, 1991). Fiskenes størrelse er sandsynligvis også relevant; i Skør Sø og Hornum Sø er der analyseret fisk af en større størrelse end angivet i den tekniske anvisning, hvilket formentlig delvist kan forklare det højere kviksølvindhold, se nedenfor. Aborrernes fødevalg kan være anderledes i de renere søer (aborrer kan være mere bentisk-orienterede her, og de kan overgå til rovfiskestadiet tidligere i livsfasen) end i de mere næringsrige søer. En medvirkende årsag kan være, at vækstraten er langsommere i nogle af de næringsfattige søer; fisk i den angivne længde er derfor ældre og har dermed haft længere tid til at opkoncentrere kviksølv. Endelig kan anoxiske forhold i søsedimentet forårsage frigivelse af methylkviksølv, hvilket er observeret under anoxiske forhold i forbindelse med dambrug efter skovrydning (Martin Mørk Larsen, DCE, pers. komm.).

Figur 6.1 antyder også sammenhæng mellem fiskestørrelse og indholdet af kviksølv (bemærk, at søerne er sorteret efter stigende kviksølvindhold i fiskene). De tre laveste koncentrationer er fundet i fisk, som udgør de mindste størrelser blandt de undersøgte: 104-145 mm. Ofte, men ikke entydigt, er spredningen i kviksølvindholdet relateret til spredning i fiskenes størrelse.

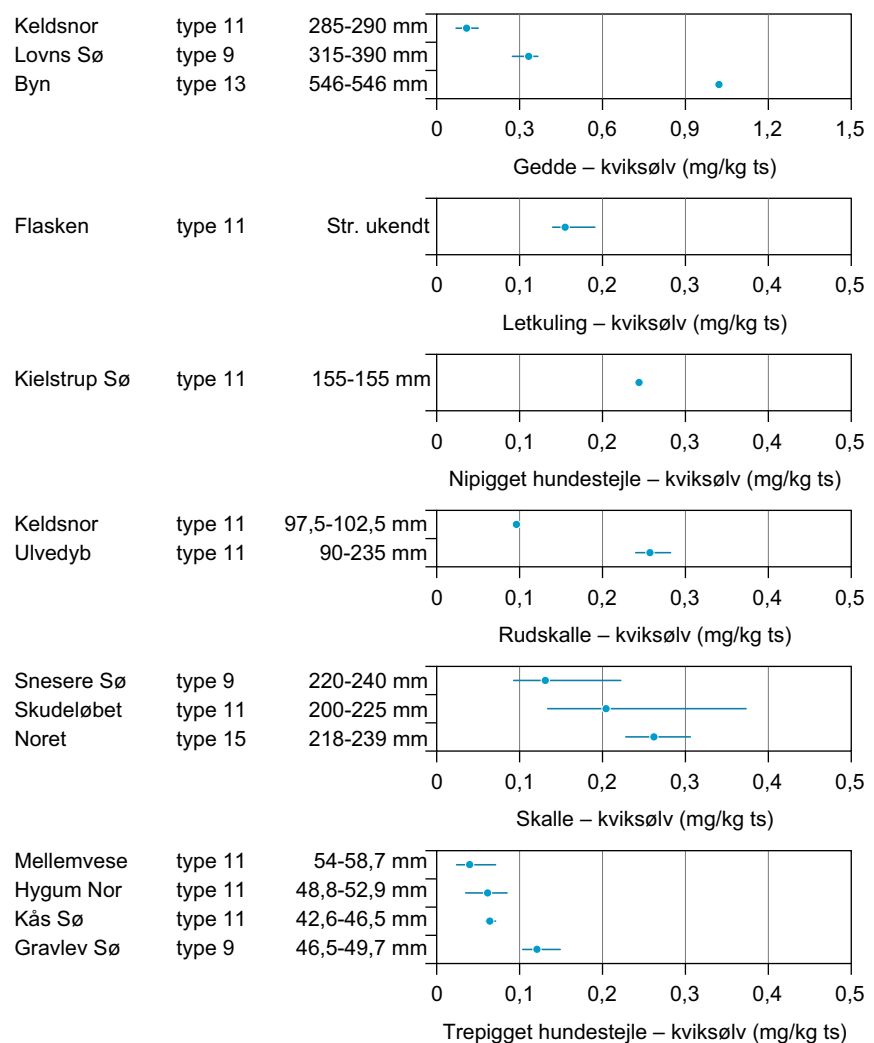
Figur 6.1. Forekomst af kviksølv i muskelvæv hos aborre fanget i søer i kontrolovervågningen i perioden 2011-2015. Punkterne angiver middelværdi af fem fisk, linjerne angiver minimum- og maksimumværdier. Ved søens navn er angivet søtype (se kapitel 2) og størrelsesintervallet af de undersøgte fisk. Søerne er sorteret efter stigende indhold af kviksølv (figuren fortsættes på næste side).



Figur 6.1 (fortsat). Forekomst af kviksølv i muskelvæv hos aborre fanget i søer i kontrolovervågningen i perioden 2011-2015. Punkterne angiver middelværdi af fem fisk, linjerne angiver minimum- og maksimumværdier. Ved søens navn er angivet søtype (se kapitel 2) og størrelsesintervallet af de undersøgte fisk. Søerne er sorteret efter stigende indhold af kviksølv.



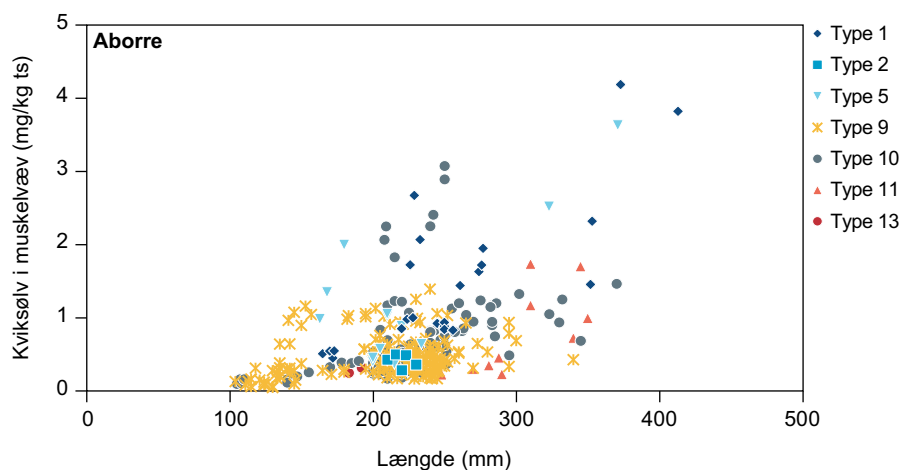
Figur 6.2. Forekomst af kviksølv i muskeltvæv hos henholdsvis gedde, lerkutling, nipigget hundestejle, rudskalle, skalle og trepigget hundestejle fanget i søer i kontrolovervågningen i perioden 2011-2015. Punkterne angiver middelværdi af (1-5) fisk, linjerne angiver minimum- og maksimumværdier. Ved søens navn er angivet søtype (se kapitel 2) og størrelsesintervallet af de undersøgte fisk.



Analyse af fisk i forskellig størrelse (som ikke var tilsigtet, men i visse tilfælde den eneste mulighed) giver mulighed for at relatere størrelsen til kviksølvindholdet på tværs af søerne. Dette forhold er for aborre vist i figur 6.3, hvor søerne er delt op i forhold til typerne. Der er foretaget lineær regression, og de statistiske variable er vist i tabel 6.1. Der er en god relation mellem størrelse og kviksølvindhold i flere søtyper. For søtype 10 kan det nævnes, at de værdier, der ligger over 1,5 mg kviksølv/kg tørstof, primært er fundet i de førnævnte renere søer.

Denne sammenstilling viser, at fisk af forskellig størrelse ikke er umiddelbart sammenlignelige. Det er vigtigt, at man i videst mulig omfang foretager analyser på fisk af samme størrelse, som det er angivet i den tekniske anvisning.

Figur 6.3. Forholdet mellem kviksølvkoncentrationen i muskelvæv (mg/kg tørstof) og længde hos aborre undersøgt i 68 søer i perioden 2011-2015. Hvert punkt repræsenterer én fisk.



Tabel 6.1. Statistiske variable for lineær regression mellem fiskestørrelse og kviksølvkoncentration i muskelvæv, undersøgt i 68 søer i perioden 2011-2015.

	r^2	p	Antal søer/fisk
Type 1	0,63	<0,001	5/25
Type 2	0,07	0,64	1/5
Type 5	0,55	0,002	3/15
Type 9	0,06	0,001	34/170
Type 10	0,2	<0,001	22/110
Type 11	0,48	0,03	2/10
Type 13	0,78	0,3	1/3
Alle typer	0,24	<0,0001	68/338

I Vandrammedirektivet er der sat et miljøkvalitetskrav (EQS=environmental quality standard) for biota på 20 µg kviksølv/kg vådvægt (=0,1 mg/kg tørstof ved omregningsfaktoren fra vådvægt til tørvægt på 20 %, se nedenfor). Dette betyder, at i forhold til EU-kravene, ligger 97 % af de analyserede aborre over miljøkvalitetskravet. For alle de analyserede fisk ligger 93 % over miljøkvalitetskravet.

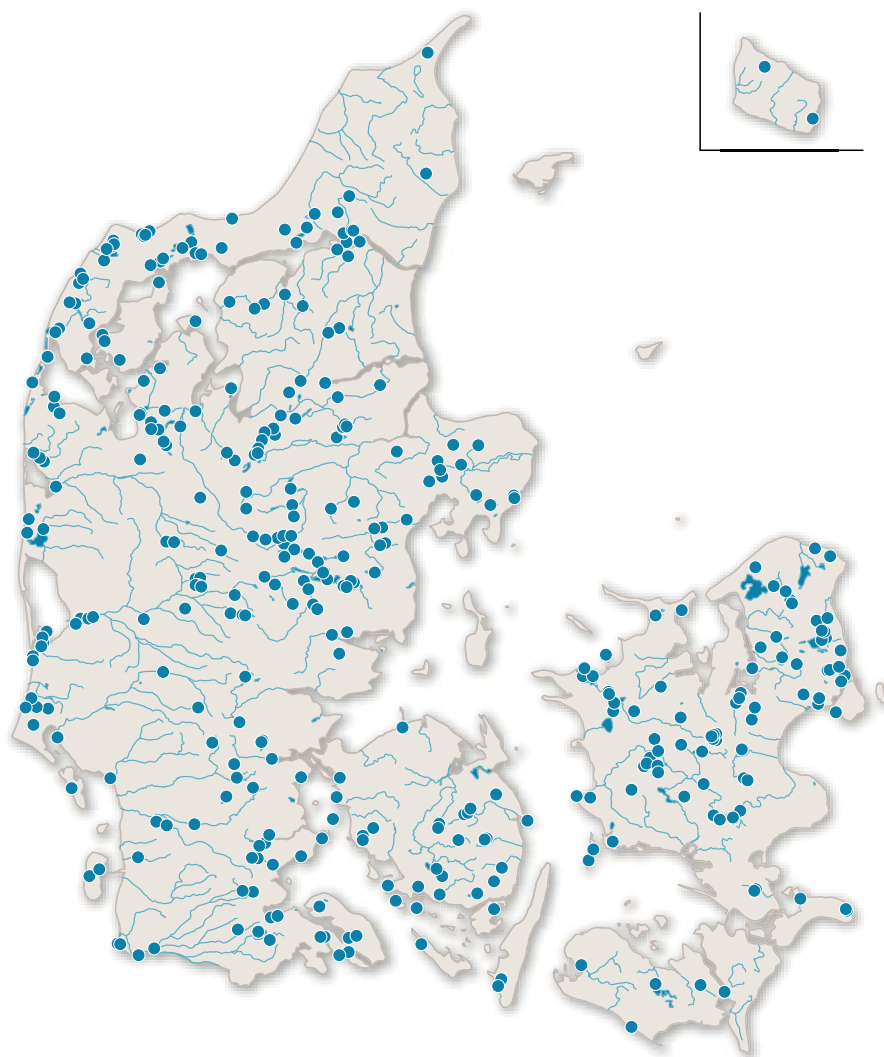
Fødevarekravet til kviksølv generelt er 500 µg/kg vådvægt. Ved en omregningsfaktor på 20 % fra vådvægt til tørvægt, som er anvendt i denne sammenhæng, kan fødevarekravet sættes til 2,5 mg/kg tørstof. I alt syv af de i alt 340 analyserede aborre ligger over denne grænse. Seks af disse har en længde på 25 cm eller derover (se figur 6.3).

I 14 søer (fortrinsvist brakke med en salinitet på over 0,5 ‰) blev der ikke fundet aborre, og kviksølv er derfor analyseret i henholdsvis gedde, lerkutling, nipigget hundestejle, rudskalle, skalle og trepigget hundestejle. Koncentrationerne ligger i alle tilfælde, bortset fra en enkelt gedde med en længde på ca. 50 cm, under 0,5 mg/kg tørstof (se figur 6.2).

7 Operationel overvågning af søernes tilstand

Den operationelle overvågning af søer > 5 ha er sat i værk med henblik på at vurdere tilstanden for de søer, som var i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet i 2015. SVANA anvender undersøgelserne til at generere indsatsplaner for målopfyldelse. I programperioden (2011-2015) er der nu foretaget overvågning af 362 søer. Derudover indgår ca. 75 % af de søer, der er i programmet for kontrolovervågning, da det er vurderet, at disse søer ikke opfylder målsætningen og derfor vil være omfattet af behov for operationel overvågning. Placeringen af de operationelt overvågede søer er vist i figur 7.1.

Figur 7.1. Geografisk placering af søer, der indgik i den operationelle overvågning af søer >5 ha i perioden 2011-2015.



Det operationelle program omfatter søer, hvori der aldrig har været tilsyn, eller hvor statusoplysningerne er forældede, søer med manglende oplysninger i forhold til nødvendig indsats, søer med igangsatte indsatser samt målopfyldte søer, der er i forværring. Det vandkemiske måleprogram (plus klorofyl *a* og sigtddybde) svarer som udgangspunkt til programmet for kontrolovervågningen af tilstand. I udvalgte søer foretages sedimentanalyser, belastningsopgørelser samt analyser af fraktioner af kvælstof og fosfor. Vegetationsundersøgelser foretages som udgangspunkt i alle søer bortset fra dem,

som forventes at være i dårlig tilstand, eller søer, hvor der er viden om, at omfanget af vegetationen er ubetydelig.

Nedenfor gives en kort status for søernes tilstand i det operationelle program. Det må pointeres, at de 362 søer, der indtil nu er undersøgt, ikke nødvendigvis er et repræsentativt udsnit af de danske søer som helhed.

7.1 Generel tilstand

Søerne i den operationelle overvågning repræsenterer i alt ni søtyper (tabel 7.1). Den hyppigste er, som for de øvrige typer af overvågning, søtype ni (lavvandede, kalkrige, ikke brunvandede, ferske søer).

Tabel 7.1. Fordelingen af søerne i det operationelle program på de enkelte søtyper. For definition af søtyperne se afsnit 2.

Søtype	Antal søer
1	5
2	6
5	24
9	144
10	54
11	45
12	2
13	59
14	1
15	22

En samlet beskrivelse af de morfologiske, vandkemiske og vegetationsmæssige forhold i de ni søtyper er givet i tabel 7.2. I figur 7.2 er medianværdien for en række af de morfologiske og vandkemiske parametre vist for de enkelte søtyper.

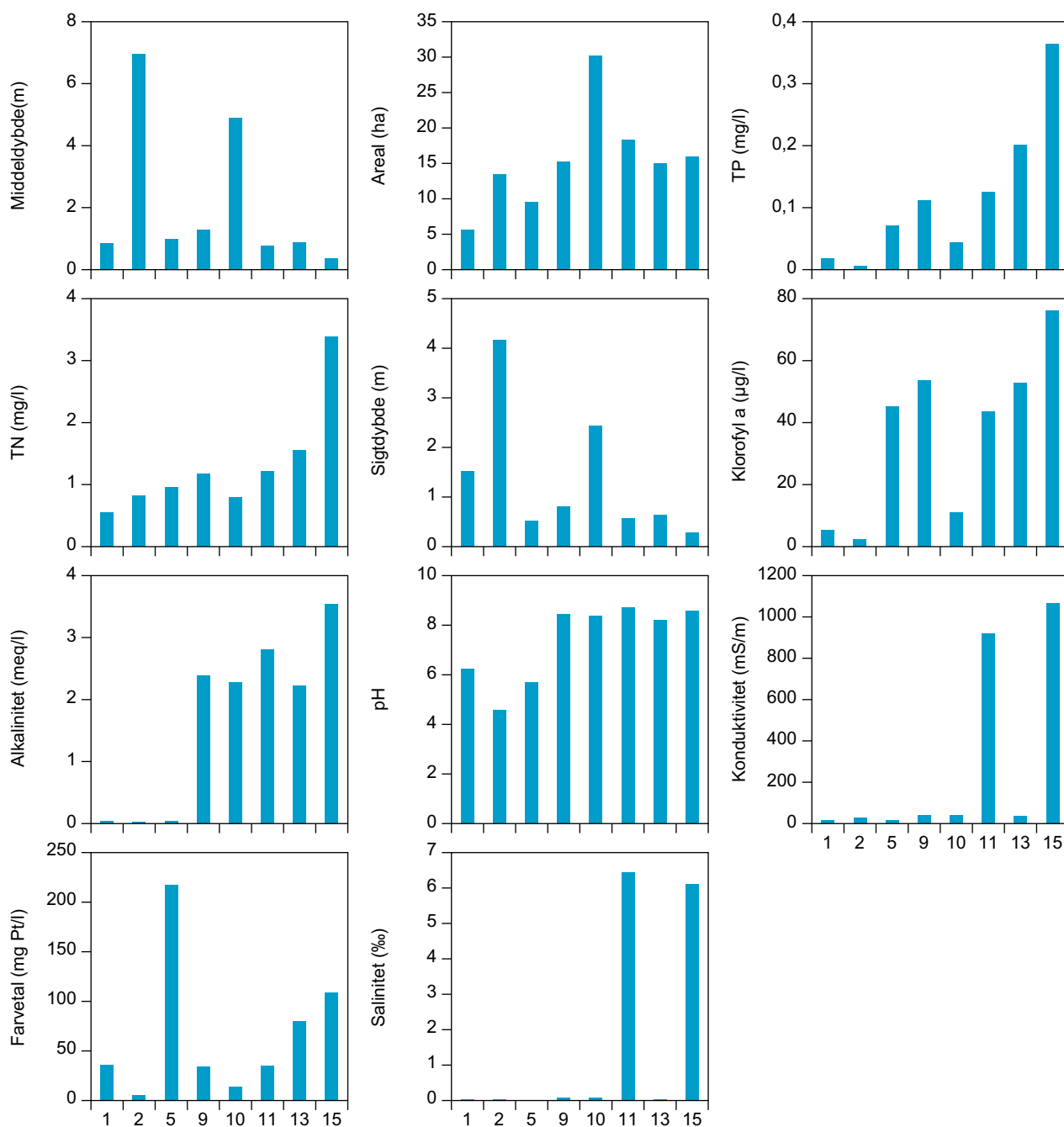
Inddelingen i søtyper sker på baggrund af forskelle i vanddybde, alkalinitet, brunfarvning og saltholdighed (se afsnit 2). Denne inddeling afspejler sig også tydeligt i nogle af parametrene vist i figur 7.2 (middelvanddybde, alkalinitet, konduktivitet og farvetal). Blandt søtyperne inden for samme afgrænsning kan der dog også være forskel. Eksempelvis blandt de tre brunvandede søtyper, hvor søtype 5 generelt er mere brunvandet end søtype 13 og 15.

De største søer findes generelt blandt søtype 10, hvor medianværdien er på 30 ha, mens ingen af de øvrige søtyper har en medianværdi over 20 ha. Især søtype 1 udmærker sig mest ved små søer, men der må tages forbehold for det lille antal søer i denne søtype.

Den mest næringsrige søtype, både hvad angår fosfor og kvælstof, er søtype 15, og det er også her, der ses det højeste indhold af klorofyl *a* og den laveste sigtdybde. Også de to øvrige brunvandede søtyper (søtype 5 og 13) har et forholdsvis højt indhold af næringsstoffer, højt indhold af klorofyl *a* og lav sigtdybde.

De mest næringsfattige søtyper er søtype 1 og 2, og det er også her, at de laveste koncentrationer af klorofyl *a* ses. Sigtdybden er højest i søtype 2 efterfulgt af søtype 10. Den relative lave sigtdybde i søtype 1 kan skyldes, at dette er en lavvandet søtype, hvor sigtdybden når bunden.

I tabel 7.2 er der også givet en oversigt over undervandsplanterne og deres dækningsgrad, plantefyldte volumen, dybdegrænse og antal arter i de enkelte søtyper. Nogle af søtyperne er kun repræsenteret ved få søer og kan ikke anvendes til at udtale sig om søtyperne generelt. Tabellen illustrerer også den store variation, der er blandt de målte plantevariable inden for alle søtyperne.



Figur 7.2. Oversigt over sigtdybde, morfologiske og vandkemiske parametre i de operationelt overvågede søer. Der er angivet medianværdier. Kun de otte søtyper med mindst 5 søer er taget med. Se også tabel 6.1.

Tabel 7.2. Oversigt over kemiske og biologiske data fra de 419 søer (sommerværdier), der indgik i den operationelle overvågning i perioden 2011-2015, fordelt på de enkelte søtyper. Hvis der er data for flere år, indgår søen med den seneste undersøgelse. *) Lindholm Kridtgrav.

Type 1 (lavvandet, lavalkalin, ufarvet, fersk)	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	0,9	0,9	0,7	1,0	2
Maksimumsdybde (m)	1,9	1,9	1,9	2,0	2
Søareal (ha)	5,7	5,7	5,0	6,4	2
Totalfosfor (mg P/l)	0,035	0,018	0,010	0,114	5
Totalkvælstof (mg N/l)	0,80	0,55	0,30	1,83	5
Sigtdybde (m)	1,5	1,5	0,7	2,3	5
Klorofyl a (µg/l)	15,6	5,4	3,4	58,2	5
Alkalinitet (meq/l)	0,08	0,04	0,00	0,18	5
pH	6,0	6,2	5,2	6,8	5
Farvetal (mg Pt/l)	29	36	12	44	5
Suspenderet stof (mg/l)	7	2	2	27	5
Konduktivitet (mS/m)	16	15	10	28	5
Relativt plantedækket areal (%)	66,8	77,5	40,9	82,0	3
Relativt plantedækket volumen (%)	28,4	14,5	13,4	57,4	3
Plantedybdegrænse (m)	2,3	2,5	1,5	3,0	3
Antal arter af undervandsplanter	4,7	4,0	4,0	6,0	3
Type 2 (dyb, lavalkalin, ufarvet, fersk)	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)			4,9	9,0	2
Maksimumsdybde (m)			9,7	12,0	2
Søareal (ha)			7,8	19,2	2
Totalfosfor (mg P/l)	0,013	0,005	0,004	0,038	6
Totalkvælstof (mg N/l)	1,03	0,82	0,51	2,10	6
Sigtdybde (m)	4,6	4,2	2,2	8,6	6
Klorofyl a (µg/l)	6,4	2,5	1,1	22,1	6
Alkalinitet (meq/l)	0,06	0,02	0,02	0,20	6
pH	5,0	4,6	3,0	7,8	6
Farvetal (mg Pt/l)	8	5	1	25	6
Suspenderet stof (mg/l)	2	2	1	5	6
Konduktivitet (mS/m)	36	29	10	99	6
Relativt plantedækket areal (%)	32,0	28,0	0,5	72,3	6
Relativt plantedækket volumen (%)	6,8	2,6	0,0	24,5	6
Plantedybdegrænse (m)	4,9	4,8	0,4	10,0	6
Antal arter af undervandsplanter	4,2	2,0	2,0	11,0	6
Type 5 (lavvandet, lavalkalin, farvet, fersk)	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,1	1,0	0,3	2,8	17
Maksimumsdybde (m)	2,5	1,8	0,3	8,0	20
Søareal (ha)	16,7	9,6	5,0	78,0	20
Totalfosfor (mg P/l)	0,117	0,071	0,034	0,398	24
Totalkvælstof (mg N/l)	1,08	0,95	0,78	2,12	24
Sigtdybde (m)	0,6	0,5	0,2	1,1	24
Klorofyl a (µg/l)	54,9	45,1	3,8	244,0	24
Alkalinitet (meq/l)	0,06	0,04	-0,03	0,20	24
pH	5,7	5,7	4,1	7,4	22
Farvetal (mg Pt/l)	264	218	79	1001	24
Suspenderet stof (mg/l)	13	8	2	54	24
Konduktivitet (mS/m)	14	15	6	28	22
Relativt plantedækket areal (%)	12,3	8,6	0,0	69,1	13
Relativt plantedækket volumen (%)	3,3	1,1	0,0	17,5	13
Plantedybdegrænse (m)	0,9	0,7	0,2	1,8	11
Antal arter af undervandsplanter	8,4	10,0	1,0	20,0	11

Type 9 (lavvandet, alkalisk, ufarvet, fersk)	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,4	1,3	0,2	3,0	111
Maksimumsdybde (m)	2,7	2,4	0,3	6,3	104
Søareal (ha)	55,6	15,2	3,1	895	114
Totalfosfor (mg P/l)	0,159	0,113	0,014	0,939	144
Totalkvælstof (mg N/l)	1,30	1,17	0,28	5,48	144
Sigtdybde (m)	1,0	0,8	0,2	3,0	143
Klorofyl a (µg/l)	68,5	53,6	3,5	694,6	144
Alkalinitet (meq/l)	2,51	2,39	0,38	5,37	144
pH	8,5	8,5	7,6	9,8	140
Farvetal (mg Pt/l)	36	35	6	86	144
Suspenderet stof (mg/l)	22	15	2	231	144
Konduktivitet (mS/m)	46	40	19	114	138
Relativt plantedækket areal (%)	22,9	10,5	0,0	92,1	90
Relativt plantedækket volumen (%)	11,6	2,9	0,0	87,0	90
Plantedybdegrænse (m)	1,9	1,7	0,4	7,5	78
Antal arter af undervandsplanter	8,7	7,0	1,0	32,0	78
Type 10 (dyb, alkalisk, ufarvet, fersk)	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	5,9	4,9	1,0	22,0	45
Maksimumsdybde (m)	12,7	10,0	2,3	45 ^{*)}	41
Søareal (ha)	142,3	30,2	2,1	1660	45
Totalfosfor (mg P/l)	0,070	0,045	0,008	0,386	54
Totalkvælstof (mg N/l)	0,92	0,80	0,20	2,58	54
Sigtdybde (m)	2,9	2,4	0,7	7,2	54
Klorofyl a (µg/l)	22,1	11,0	2,5	106,5	54
Alkalinitet (meq/l)	2,32	2,28	0,63	4,72	54
pH	8,4	8,4	7,5	9,5	53
Farvetal (mg Pt/l)	16	14	2	39	54
Suspenderet stof (mg/l)	6	5	1	29	54
Konduktivitet (mS/m)	43	40	16	86	53
Relativt plantedækket areal (%)	16,6	10,4	0,0	63,8	34
Relativt plantedækket volumen (%)	3,9	0,8	0,0	30,9	34
Plantedybdegrænse (m)	4,3	4,2	0,7	12,0	33
Antal arter af undervandsplanter	11,5	11,0	2,0	44,0	33
Type 11 (lavvandet, alkalisk, ufarvet, brak)	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,2	0,8	0,2	8,9	30
Maksimumsdybde (m)	2,2	1,5	0,5	14,1	31
Søareal (ha)	140,1	18,4	4,9	1618	32
Totalfosfor (mg P/l)	0,200	0,126	0,025	1,400	45
Totalkvælstof (mg N/l)	1,38	1,22	0,60	3,68	45
Sigtdybde (m)	0,7	0,6	0,1	2,0	45
Klorofyl a (µg/l)	53,0	43,6	3,9	193,7	45
Alkalinitet (meq/l)	2,91	2,81	0,96	4,58	45
pH	8,6	8,7	7,1	9,4	45
Farvetal (mg Pt/l)	36	36	13	61	45
Suspenderet stof (mg/l)	33	22	4	200	45
Konduktivitet (mS/m)	1155	922	44	4650	44
Salinitet (‰)	0,200	0,126	0,025	1,400	45
Relativt plantedækket areal (%)	22,5	8,7	0,0	81,4	28
Relativt plantedækket volumen (%)	14,9	4,5	0,0		28
Plantedybdegrænse (m)	1,1	0,9	0,2	4,0	26
Antal arter af undervandsplanter	5,8	5,0	1,0	14,0	26

Type 12 (dyb, alkalisk, ufarvet, brak)	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)			3,3	3,5	2
Maksimumsdybde (m)			3,1	7,6	2
Søareal (ha)			7,0	7,3	2
Totalfosfor (mg P/l)			0,080	0,084	2
Totalkvælstof (mg N/l)			0,87	0,90	2
Sigtdybde (m)			0,8	0,8	2
Klorofyl a (µg/l)			48,1	56,6	2
Alkalinitet (meq/l)			3,83	3,91	2
pH			8,4	8,4	2
Farvetal (mg Pt/l)			15	22	2
Suspenderet stof (mg/l)			16	17	2
Konduktivitet (mS/m)			259	468	2
Salinitet (‰)			0,080	0,084	2
Relativt plantedækket areal (%)					
Relativt plantedækket volumen (%)					
Plantedybdegrænse (m)					
Antal arter af undervandsplanter					
Type 13 (lavvandet, alkalisk, farvet, fersk)	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	1,0	0,9	0,3	2,6	38
Maksimumsdybde (m)	2,2	1,9	0,6	7,8	39
Søareal (ha)	56,3	15,0	3,7	530	40
Totalfosfor (mg P/l)	0,318	0,201	0,020	3,273	59
Totalkvælstof (mg N/l)	1,98	1,56	0,70	7,11	59
Sigtdybde (m)	0,7	0,6	0,2	2,6	58
Klorofyl a (µg/l)	80,4	52,8	4,8	511,6	59
Alkalinitet (meq/l)	2,34	2,23	0,34	6,08	59
pH	8,2	8,2	7,1	9,6	57
Farvetal (mg Pt/l)	96	81	57	406	59
Suspenderet stof (mg/l)	24	14	2	116	59
Konduktivitet (mS/m)	53	39	13	554	56
Relativt plantedækket areal (%)	24,3	14,0	0,0	77,1	31
Relativt plantedækket volumen (%)	15,2	6,5	0,0	51,5	31
Plantedybdegrænse (m)	1,1	1,0	0,2	5,2	29
Antal arter af undervandsplanter	10,7	8,0	1,0	37,0	29
Type 14 (Dyb, alkalisk, farvet, fersk)	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)			4,5		1
Maksimumsdybde (m)			8,8		1
Søareal (ha)			7,9		1
Totalfosfor (mg P/l)			0,044		1
Totalkvælstof (mg N/l)			1,46		1
Sigtdybde (m)			1,6		1
Klorofyl a (µg/l)			36,5		1
Alkalinitet (meq/l)			3,49		1
pH			8,2		1
Farvetal (mg Pt/l)			88		1
Suspenderet stof (mg/l)			8		1
Konduktivitet (mS/m)			56		1
Salinitet (‰)			0,044		1
Relativt plantedækket areal (%)			5,7		1
Relativt plantedækket volumen (%)			1,0		1
Plantedybdegrænse (m)			3,7		1
Antal arter af undervandsplanter			8,0		1

Type 15 (lavvandet, alkalisk, farvet, brak)	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Middeldybde (m)	0,6	0,4	0,2	1,0	9
Maksimumsdybde (m)	1,3	0,7	0,5	3,1	7
Søareal (ha)	31,9	13,3	5,2	117	10
Totalfosfor (mg P/l)	0,847	0,364	0,060	4,320	22
Totalkvælstof (mg N/l)	4,08	3,39	1,38	12,67	22
Sigtdybde (m)	0,4	0,3	0,1	1,0	22
Klorofyl a (µg/l)	133,0	76,0	17,2	586,9	21
Alkalinitet (meq/l)	3,92	3,54	2,04	7,65	22
pH	8,6	8,6	7,5	9,8	22
Farvetal (mg Pt/l)	111	109	62	177	22
Suspenderet stof (mg/l)	104	47	8	1047	22
Konduktivitet (mS/m)	1144	1067	89	3898	21
Salinitet (‰)	0,847	0,364	0,060	4,320	22
Relativt plantedækket areal (%)	26,2	17,4	0,0	76,3	15
Relativt plantedækket volumen (%)	16,9	9,6	0,0	71,9	15
Plantedybdegrænse (m)	0,7	0,5	0,1	2,3	15
Antal arter af undervandsplanter	5,5	4,0	1,0	17,0	15

8 Klima og afstrømning

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

Temperaturen påvirker direkte en række processer i søerne, og forskelle i temperaturniveauet og sæsonforløbet kan derfor være en medvirkende årsag til forskelle i den generelle miljøtilstand mellem de enkelte år. Også de øvrige klimatiske faktorer påvirker i højere eller mindre grad søernes tilstand og udvikling. Kendskab til variationer i de klimatiske forhold er således nødvendig, når resultaterne fra søovervågningen skal tolkes. Der kan også være tale om mere generelle og vedvarende klimaforandringer i eksempelvis temperatur og nedbørsmønster, som kan påvirke søernes tilstand.

Klimadata er tilvejebragt via DMI's GRID-data (<http://novana.dmi.dk/novana>). Det vil sige temperatur- og vinddata er baseret på data fra 20x20 km kvadrater, de såkaldte Grid-værdier, mens månedsnedbøren er baseret på 10x10 km grids. For alle parametre er grids'ne "klippet" med kystlinjen og derefter beregnet for arealet inden for kystlinjen. Det bemærkes, at de anvendte nedbørsværdier ikke er korrigeret for faktorer såsom højde over terrænet, vind og "wetting" (vanddråber, der afsættes på regnmålerens sider, hvorfra de fordamper uden at blive registreret). Disse faktorer vil kunne have indflydelse på de faktiske værdier. For datagrundlag og beregningsmetoder af ferskvandsafstrømningen henvises til Thodsen m.fl. (2016).

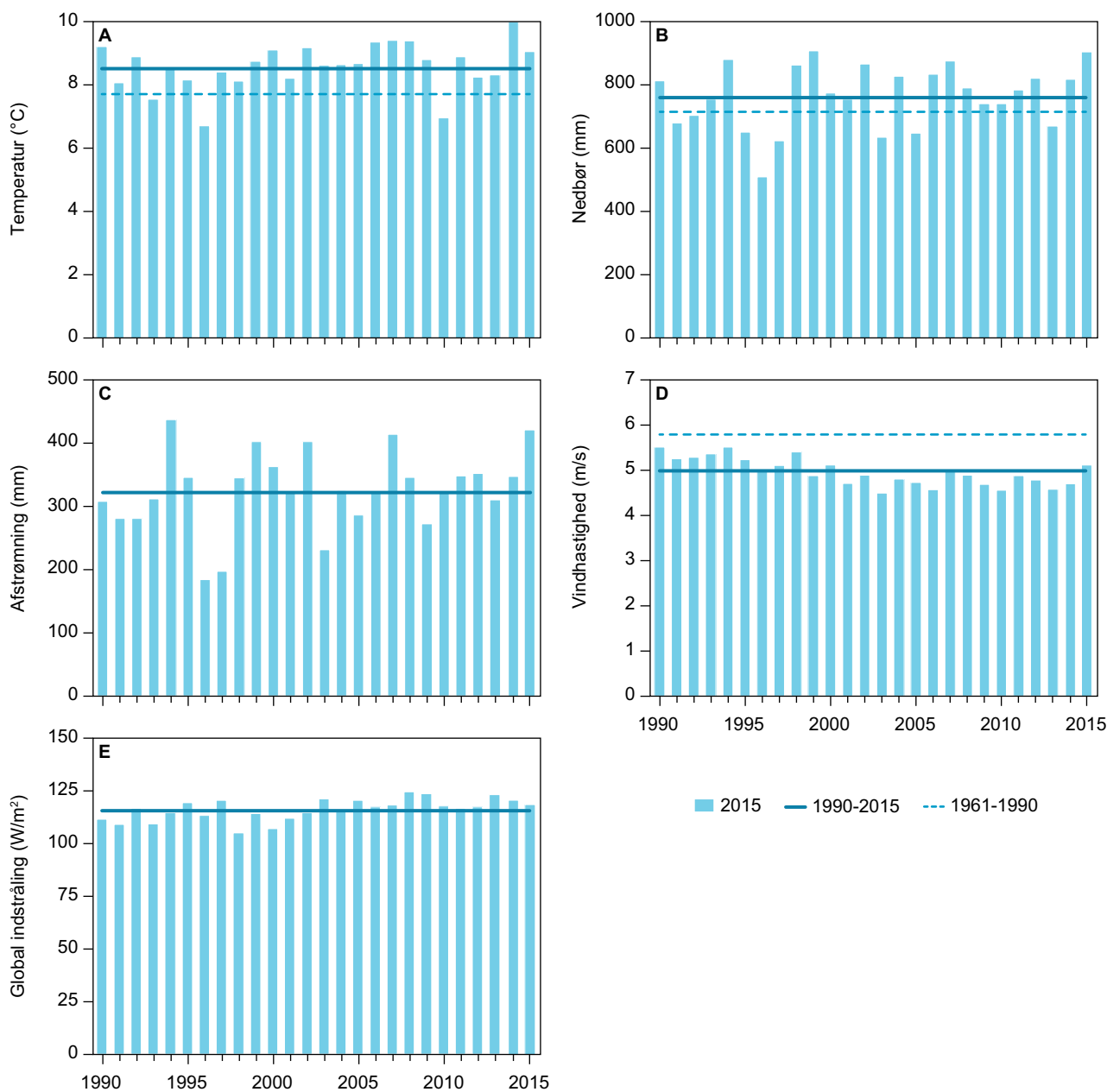
I nærværende kapitel gives der en kort oversigt over de klimatiske forhold i 2015 sammenlignet med perioden 1990-2014 samt "normalperioden", der er defineret som årene 1961 til 1990.

8.1 Temperatur og global indstråling

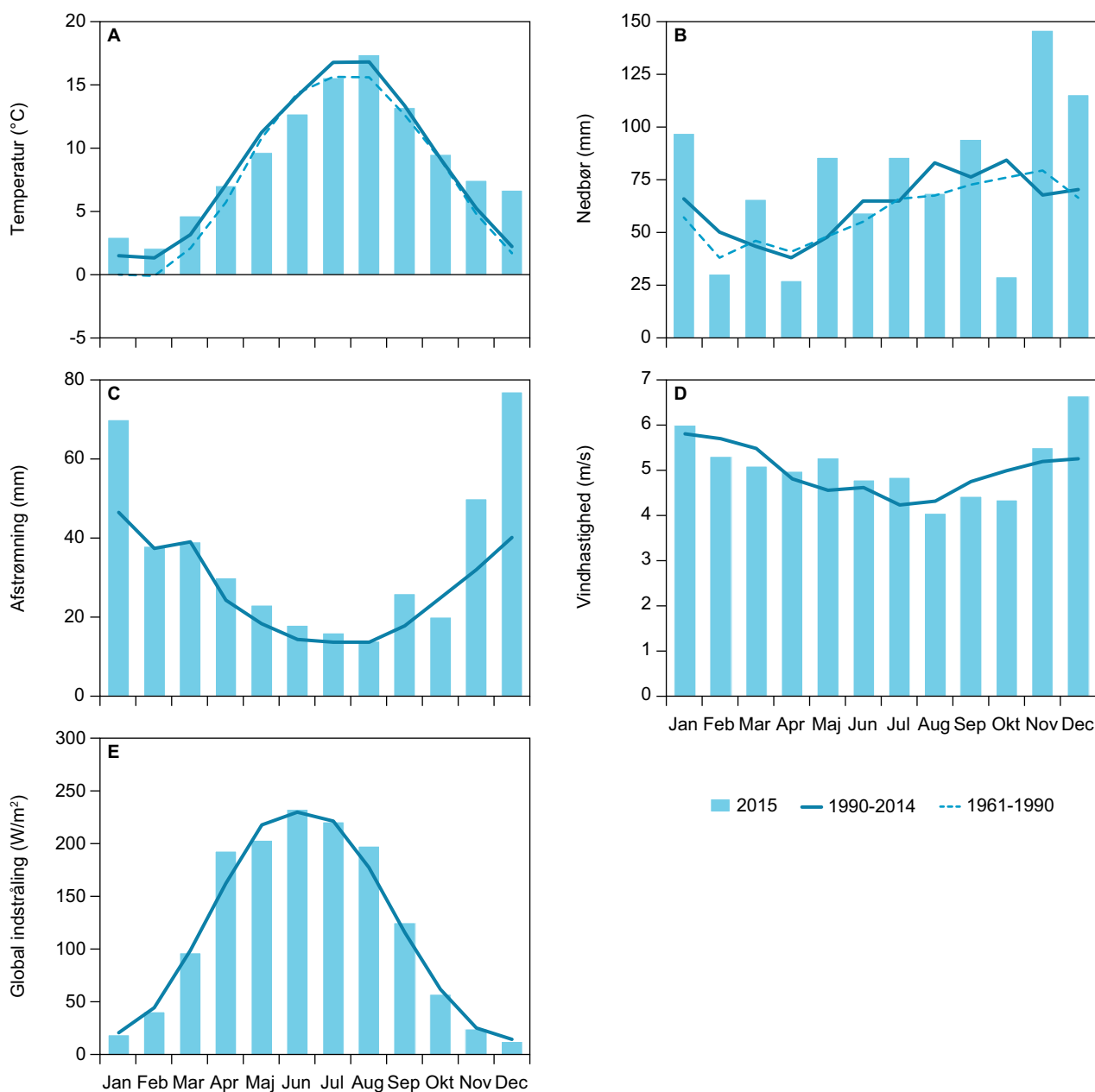
Årsmiddeltemperaturen for hele Danmark var i 2015 på 9,07 °C, hvilket var ½ grad højere end gennemsnittet for perioden 1990-2014 (figur 8.1A). Temperaturen var 1,37 højere end gennemsnittet for perioden 1961-1990. Temperaturen om vinteren var markant højere end normalen for perioden 1990-2014 (figur 8.2A).

Årsmiddelværdien for den globale indstråling varierer kun lidt fra år til år (figur 8.1E). I 2015 var den marginalt højere end normalen for de forrige 25 år, og dette skyldes primært en lidt højere indstråling i april, juni og august (figur 8.2E).

Vandtemperaturerne i søerne bliver målt 19 gange pr. år i KU-søerne. Hver sø bliver fra 2015 målt hvert andet år sammen med de vandkemiske parametre. Resultaterne herfra bliver afleveret i 2017, da der her foreligger et samlet datasæt for KU-søerne fra 2015-2016.



Figur 8.1. Årsværdier for lufttemperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) for Danmark i 2015. Desuden er gennemsnit for perioderne 1961-1990 (stiplet linje (dog ikke for ferskvandsafstrømning og global indstråling)) og 1990-2015 (linje) indlagt. Data fra hele Danmark.



Figur 8.2. Månedsværdier for temperatur (A), nedbør (B), ferskvandsafstrømning (C), vindhastighed (D) og global indstråling (E) i 2015 samt gennemsnit for perioderne 1961-1990 og 1990-2014 (førstnævnte dog ikke for global indstråling, vindhastighed og ferskvandsafstrømningen). Data fra hele Danmark.

8.2 Nedbør

Ofte er der på årsbasis ikke store forskelle i nedbørsmængden fra år til år, men året 2015 gav 902 mm, hvilket næsten tangerede rekorden fra 1999, som var på 906 mm (figur 8.1B). I hele syv måneder var nedbøren højere end normalen, og især i januar, november og december regnede det usædvanlig meget (figur 8.2B). Derimod var februar, maj og oktober væsentligt mere tørre end normalen.

8.3 Afstrømning

Den arealspecifikke ferskvandsafstrømning er på årsbasis tæt korreleret med nedbørsmængden og var i 2015 på 421 mm, hvilket er blandt de højeste værdier i hele perioden 1990-2015. Afstrømningen var ligesom nedbøren markant højere end normalt i januar, november og december (figur 8.1C og 8.2C).

8.4 Vindforhold

Den gennemsnitlige årlige vindhastighed for hele Danmark varierer ikke meget fra år til år og har de seneste 10 år ligget mellem 4,5 og 5,0 m/s (figur 8.1D). I 2015 lå den på normalen for perioden 1989-2014 (5,0 m/s). Kun december havde en væsentlig højere gennemsnitlig vindhastighed end normalen for perioden 1989-2014 (figur 8.2D).

9 Referencer

Bekendtgørelse nr. 439 af 19/05/2016 om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand

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

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

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

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

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

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

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

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

*Jeppesen, E., Jensen, J.P., Søndergaard, M., Lauridsen, T. & Landkildehus, F. (2000): Trophic structure, species richness and biodiversity in Danish lakes: changes along a phosphorus gradient. *Freshwater Biology* 45: 201-208.*

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

Larsen, S.E., Jensen, C. & Carstensen, J. (2002): Statistisk optimering af monitoringsprogrammer på miljøområdet. Eksempler fra NOVA-2003. 195 s. – Faglig rapport fra DMU, nr. 426.

http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR426.pdf.

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

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

Spry, D. J., Wiener, J. G. (1990): Toxicity to Fish in Low-Alkalinity Lakes: A Critical Review. Environmental Pollution 71, 243-304.

Thodsen, H., Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Ovesen, N.B., Rasmussen, J. & Kjeldgaard, A. (2016). Vandløb 2015. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 70 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 206
<http://dce2.au.dk/pub/SR206.pdf>

Bilag 1 Datagrundlag og metoder

Data i denne rapport er baseret på prøvetagninger ved fastlagte stationer i henholdsvis kontrolovervågningen og den operationelle overvågning af søer i NOVANA. For udvælgelse af stationer se afsnit 2. Frekvensen af prøvetagningen for de forskellige parametre fremgår ligeledes af afsnit 2.

Med hensyn til prøvetagningsmetodik for de enkelte parametre (kemiske og fysiske målinger i søvandet, prøvetagning i sediment, fiskeundersøgelser, planteundersøgelser, planktonprøvetagning og -oparbejdning og undersøgelser i naturtypesøer og artsovervågning) henvises der til de tekniske anvisninger for prøvetagning i søovervågningen på Fagdatacenter for ferskvands hjemmeside: <http://bios.au.dk/videnudveksling/til-myndigheder-og-saerligt-interesse-rede/fagdatacentre/fdcfersk/>.

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

Beregning af tidsvægtede gennemsnit

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

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

Analyse af tidsmæssig udvikling i søerne i kontrolovervågningen af udvikling

Der er testet for, om der er afvigelser fra nulhypotesen, dvs. om der gennem de i alt 27 overvågningsår har været en statistisk sikker ændring. Responsvariablen er logaritmetransformeret for at sikre varianshomogenitet. Vi har valgt at acceptere nulhypotesen på 10 % signifikansniveau, hvorfor der i flere tilfælde kun er tale om udviklingstendenser. I præsentationen er der dog foretaget opdeling i fire klasser baseret på testsandsynligheden: <10 %, <5 %, <1 % og <0,1 %. Man

skal være opmærksom på, at denne metode vægter ændringer, der følger en jævn udvikling over en årrække frem for pludselige ændringer.

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

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

Kvalitetssikring

Data, der fra fagsystemerne (Stoq og Fiskbase) overføres til Overfladevands-databasen (ODA), undergår både automatisk og faglig godkendelse i Naturstyrelsen og DCE. Der pågår løbende en proces, hvor data i ODA bliver mærket efter denne kvalitetssikring. En beskrivelse af processen kan f.eks. ses i de datatekniske anvisninger på

<http://bios.au.dk/videnudveksling/til-myndigheder-og-saerligt-interesse-rede/fagdatacentre/fdcfersk>.

SØER 2015

NOVANA

Rapporten giver en status for den nationale søovervågning i perioden 2010-2015, og beskriver udviklingen i udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer siden overvågningens begyndelse i 1989. Atten søer indgår i kontrolovervågning af søers udvikling, og resultaterne fra vegetations- og fiskeundersøgelser indikerer forbedring i mange af søerne. Reduktion i den gennemsnitlige fiskestørrelse kan dog være tegn på, at den generelle temperaturstigning i nogen grad modvirker de positive effekter af reduktionen i næringsstofførslen. Undersøgelser af totalfosfor, jern, tørstof og glødetab i søsedimentet viser kun ændring i et fåtal af søerne. Rapporten giver også en status over tilstanden i 180 søer indeholdt i kontrolovervågning af søers tilstand. Resultaterne af vandkemiske analyser og af biologiske undersøgelser udviser stor variation, men flere af parametrene indikerer forbedring af tilstanden i de mest almindelige søtyper siden perioden 2004-2009. Også her er der stor variation i sedimentindholdet af totalfosfor, jern, tørstof og glødetab. Miljøfremmede stoffer og metaller er undersøgt i sedimentet og kviksølv i fisk er undersøgt i 82 af søerne i kontrolovervågningen. Der er fastsat miljøkvalitetskrav for sediment for enkelte af de undersøgte stoffer, hvoraf der er fundet overskridelse i nogle af søerne. Indholdet af kviksølv i fisk er varierende og overstiger i enkelte tilfælde fødevarekravet, hvorimod Vandrammedirektivets miljøkvalitetskrav er oversteget i størstedelen af de analyserede fisk. Rapporten giver yderligere en overordnet status for tilstanden i de 362 søer, der indgår i den operationelle overvågning, som er i risiko for ikke at opfylde målsætningen. Generelt er spændet for tilstanden af søerne i den operationelle overvågning stort.