



SØER 2019

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 417

2021



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

SØER 2019

NOVANA

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 417

2021

Liselotte Sander Johansson
Martin Søndergaard
Peter Mejlhede Andersen

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. 417
Kategori:	Rådgivningsrapporter
Titel:	Søer 2019
Undertitel:	NOVANA
Forfattere:	Liselotte Sander Johansson, Martin Søndergaard, Peter Mejlhede Andersen
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Bioscience
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Januar 2021
Redaktion afsluttet:	Januar 2021
Faglig kommentering:	Torben Linding Lauridsen
Sproglig kvalitetssikring:	Anne Mette Poulsen
Kvalitetssikring, DCE:	Signe Jung-Madsen
Ekstern kommentering:	Miljøstyrelsen. Kommentarerne findes her: http://dce2.au.dk/pub/komm/SR417_komm.pdf
Finansiel støtte:	Miljøministeriet
Bedes citeret:	Johansson, L.S., Søndergaard, M. & Andersen, P.M. 2021. Søer 2019. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 68 s. - Videnskabelig rapport nr. 417 http://dce2.au.dk/pub/SR417.pdf Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapporten giver en status for udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer, der overvåges i det nationale overvågningsprogram for søer. Derudover beskrives udviklingen overordnet for udvalgte kemiske parametre og for fytoplankton. Søerne, som indgår i kontrolovervågningen af tilstand, viser en generel forbedring siden 1989, men i 148 søer, som er undersøgt to gange de seneste 12 år, er koncentrationen af fosfor, kvælstof og klorofyl øget signifikant. Status for fytoplankton i 18 søer, som indgår i kontrolovervågning af udvikling, viser stor variation i biovolumen og taksonomisk sammensætning. Der ses kun få ændringer i disse i perioden 2004-2019. Miljøfarlige forurenende stoffer undersøgt i sedimentet, viser overskridelser i nogle af de 54 undersøgte søer i forhold til de fastsatte miljøkvalitetskrav, mens miljøkravet for kviksølv i fisk overskrides i stort set alle søer. Fødevarekravet for kviksølv i fisk overholdes dog i alle søer, bortset fra én.
Emneord:	Søer, miljøtilstand, overvågning, vandområdeplaner, NOVANA
Layout:	Grafisk Værksted, AU Silkeborg
Foto forside:	Martin Søndergaard
ISBN:	978-87-7156-551-5
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	68
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf): http://dce2.au.dk/pub/SR417.pdf
Supplerende oplysninger:	NOVANA er et program for en samlet og systematisk overvågning af både vandig og terrestrisk natur og miljø. NOVANA erstattede 1. januar 2004 det tidligere overvågningsprogram NOVA-2003, som alene omfattede vandmiljøet.

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	7
Summary	12
1 Undersøgelsesprogrammet	17
1.1 Historik	17
1.2 Parametre i overvågningen	18
1.3 Søtyper i henhold til vandrammedirektivet	19
1.4 Kontrolovervågning	20
1.5 Operationel overvågning, 413 søer	22
1.6 Kortlægning af habitatnaturtyper i søer	23
2 Kontrolovervågning af søernes tilstand	24
2.1 Generel tilstand	25
2.2 Vandkemi	25
2.3 Fytoplankton	36
2.4 Vegetation, status	46
2.5 Fisk, status	48
3 Fytoplankton i KU-søerne 2004-2018	49
3.1 Status	49
3.2 Udvikling	50
4 Miljøfarlige forurenende stoffer i kontrolovervågningen 2017-2019	53
4.1 Metaller	54
4.2 Aromatiske kulbrinter	55
4.3 Phenoler	55
4.4 Polyaromatiske kulbrinter (PAH)	56
4.5 Blødgørere	57
4.6 Organotinforbindelser	58
4.7 Sammenfatning	58
5 Kviksølv i fisk i kontrolovervågningen 2017-2019	59
6 Referencer	61
Bilag 1. Datagrundlag og metoder	64
Bilag 2. Fytoplankton 2004-2019	66

[Tom side]

Forord

Denne rapport udgives af DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, Aarhus Universitet (DCE), som et led i den landsdækkende rapportering af det Nationale program for Overvågning af VAndmiljøet og NATuren (NOVANA). NOVANA er fjerde generation af nationale overvågningsprogrammer, som med udgangspunkt i Vandmiljøplanens Overvågningsprogram blev iværksat i efteråret 1988. Nærværende rapport omfatter data til og med 2019.

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

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

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

Denne rapport er udarbejdet af Fagdatacenter for Ferskvand. MST har haft mulighed for at kommentere udkast til rapporten. Rapporten er baseret på data indsamlet af MST.

Dette års rapport er som udgangspunkt en opdatering af tidligere års rapport om søer med data indsamlet i 2019. Den seneste rapport er Søer 2018 (Johansson m.fl. 2019). Ikke alle indsamlede data bliver rapporteret hvert år, men først når der er et tilstrækkeligt datagrundlag for rapportering. I år indgår der statusbeskrivelser af vandkemiske og -fysiske og biologiske nøgleparametre i de søer, som indgår i kontrolovervågning af søer (KT-søerne) for perioden 2014-2019. Derudover præsenteres fytoplanktondata i søer, som indgår i kontrolovervågningen af udvikling (KU-søerne) for perioden 2004-2018. Rapporten beskriver udviklingen i den overordnede tilstand for vandkemiske- og fysiske forhold samt for fytoplankton, men forholder sig ikke til mål- og tilstandsvurderinger i henhold til fx EU-direktiver. Disse vurderinger vil fremgå af vandområdeplaner og Natura 2000-planer.

Data fra overvågning af arter og naturtyper er ikke med i dette års rapport. Resultaterne blev senest afrapporteret i 2019 i forbindelse med Danmarks rap-

portering til EU i medfør af habitatdirektivets artikel 17 og fuglebeskyttelsesdirektivets artikel 12. Dette er rapporteret selvstændigt som DCE's bidrag til Miljø- og Fødevareministeriets rapportering til EU (Fredshavn m.fl. 2019).

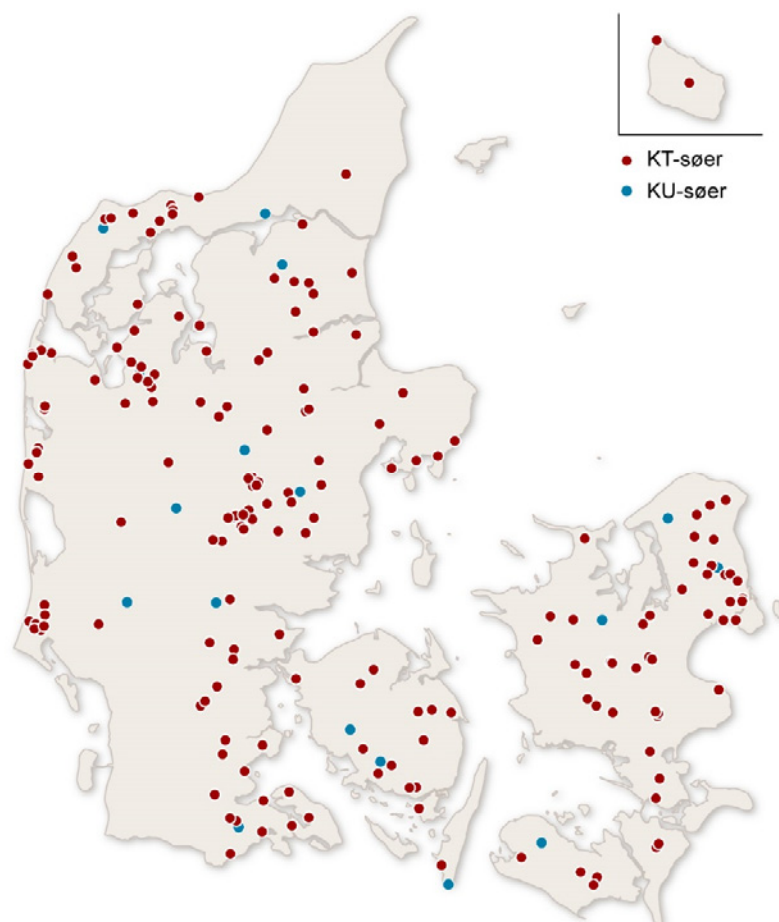
Konklusionerne i denne rapport sammenfattes med konklusionerne fra de øvrige fagdatacenter-rapporter i 'Vandmiljø og natur 2019', som udgives i et samarbejde mellem DCE, GEUS og MST. 'Vandmiljø og natur 2019' afventer, at der foreligger rapporter fra alle fagdatacentre, og da rapporten fra fagdatacenter for landovervågning samt dele af rapporten om vandløb afventer afklaring af problemer med nedbørsmålinger og dermed mulighed for at opgøre den samlede stoftransport, vil 'Vandmiljø og natur 2019' også afvente dette.

Sammenfatning

Overvågningsprogrammet

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

Figur 1. Geografisk placering af søerne, der overvåges jf. vandrammedirektivet, og som beskrives i denne rapport. Disse omfatter 18 KU-søer (blå) og 180 KT-søer (røde). KT=kontrolovervågning af søernes tilstand, KU=kontrolovervågning af søernes udvikling.



Kontrolovervågningen af søer jf. vandrammedirektivet inddeles i to typer: overvågningen af den generelle tilstand i søer (repræsenteret ved de såkaldte KT-søer, som omfatter 180 søer >5 ha, hvor hver sø bliver undersøgt hvert sjette år), samt overvågningen af udviklingen i søer (de såkaldte KU-søer, der omfatter 18 søer >5 ha). I KU-søerne bliver vandkemiske og -fysiske parametre målt hvert andet år, vegetation bliver undersøgt to gange i en seksårig periode og fytoplankton, fisk og sedimentkemi hvert sjette år. Den operationelle overvågning, der er rettet mod søer, som er i risiko for ikke at opfylde natur- og miljømålet for deres tilstand, omfatter i perioden 2016-2021 ca. 413 søer (heri er ikke medregnet

de søer i kontrolovervågningen, som også overvåges operationelt). Søerne i det operationelle program indgår ikke i dette års rapport.

I tabel 1 er der givet en oversigt over søerne (antal og prøvetagningsår), der er repræsenteret i denne rapport. For data fra KT-søerne skal det bemærkes, at den seksårige periode fra 2014-2019, hvorfra der præsenteres resultater, ikke følger den officielle overvågningsperiode, som strækker sig over årene 2016-2021. For KT-søerne vises den aktuelle status for udvalgte fysiske/kemiske parametre samt for fytoplankton-, vegetations- og fiskeundersøgelser. Derudover gives der en overordnet beskrivelse af udviklingen inden for vandkemiske resultater og for fytoplanktondata i KT-søerne. For KU-søerne præsenteres en overordnet status og udvikling i fytoplanktonets biovolumen og taksonomiske sammensætning for perioden 2004-2018.

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

	Antal søer	Undersøgt i
Overvågning jf. vandrammedirektivet (søer >5 ha)		
Kontrolovervågning af tilstand (KT)	180	2014-2019
Kontrolovervågning af udvikling (KU) ¹⁾	18	2004-2018

¹⁾Kun fytoplankton vises i denne rapport, og tre af søerne har kun været med i programmet siden 2011.

I forhold til implementeringen af vandrammedirektivet og udarbejdelsen af vandområdeplaner arbejdes der i Danmark med 11 forskellige søtyper, der inddeles i forhold til middelvanddybde (dyb, lavvandet), kalkholdighed (kalkrig, kalkfattig), brunfarvning (brunvand, ikke brunvand) og saltholdighed (fersk, brak). Præsentationen af data i denne rapport følger i de fleste tilfælde denne inddeling.

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

Kontrolovervågning af søernes tilstand

De 180 KT-søer, der indgår i overvågning af søernes tilstand, 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 søarealet er 23 ha) og lavvandede (medianværdien for middeldybden er 1,6 m). Endvidere er søerne gennemgående næringsrige med en medianværdi for koncentrationen af totalfosfor på 0,094 mg/l og totalkvælstof på 1,6 mg/l. Tilsvarende er søerne gennemgående uklare med en medianværdi for sigtddybde på 1,1 m og et klorofylindhold med en median på 38 µg/l. Alle værdier er beregnet på baggrund af sommergennemsnit i de enkelte søer.

Vandkemi

Der findes vandkemiske data fra ni af de 11 søtyper, der opereres med i henhold til vandrammedirektivet (se tabel 1.1). 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 sommertotalfosfor og -kvælstof er på henholdsvis 0,174 og 1,83 mg/l). Medianen af henholdsvis klorofylkoncentrationen og sigtddybden er på samme niveau for søtype

9 og 11: 52-57 µg/l og 0,8-0,9 m. For søtype 15 indikerer nogle af parametrene en dårligere tilstand, men denne type er kun repræsenteret med to søer.

Ser man på de enkelte KT-søer, hvor der er tilstrækkeligt datamateriale til at vurdere udviklingen, har der, samlet set, siden 1989 generelt været en positiv udvikling. Denne tendens var tydeligst i de første 10 år af perioden, mens udviklingen i de seneste 20 år har været mindre entydig. Hvis man ser på alle KT-søerne som en helhed og sammenligner de seneste to seksårige perioder (2008-2013 og 2014-2019), ses en signifikant stigning i søernes indhold af to-talkvælstof, totalfosfor og klorofyl. De mest markante ændringer ses for næringsstofferne; for sigtddybde ses der ingen signifikant ændring.

Fytoplankton

Fytoplanktons biovolumen og sammensætning i KT-søerne afhænger i høj grad af søtypen. Blandt de mest almindelige søtyper (9, 10, 11) er medianværdien af det samlede biovolumen i sommerperioden (maj-september) for alle søerne dog ret ensartet; omkring 10 mm³/l for type 9, 10 og 11. Blandt de resterende søtyper varierer sommerbiovolumenet en del, og datagrundlaget er ringere, men de mindste værdier ses i de mest nærings- og kalkfattige søtyper. Gennemsnitligt dominerer blågrønalgerne for søerne som helhed om sommeren og især for søtyperne 9, 11, 13 og 15. For type 10 er sammensætningen mere alsidig, og kiselalgerne og furealgerne ligger på samme niveau som blågrønalgerne. For de resterende typer dominerer forskellige grupper, oftest den heterogene gruppe "øvrige". En analyse af de dominerende taxa på tværs af alle søer viser bl.a., at slægten *Cryptomonas* og *Rhodomonas lacustris* er de hyppigst fundne taxa, og at mange af de mest forekommende arter har præference for specifikke søtyper.

For 87 søer, der er undersøgt i perioden 2014-2019, er det muligt at undersøge udviklingen i fytoplanktonbiovolumenet (målt om sommeren) i forhold til den forrige seksårige periode, 2008-2013. For det totale biovolumen og set på tværs af alle søer er der ikke nogen signifikant ændring. For de enkelte algegrupper forekommer der en mindre reduktion i furealgernes biovolumen på tværs af søerne og for søtype 10. For gruppen "øvrige" er der ligeledes en mindre reduktion i biovolumen i søtype 9 og 10, mens der for gruppen grøn-alger ses en stigning i søtype 11.

Ved en sammenstilling af medianværdier for fytoplanktons biovolumen langs en næringsstofgradient er søerne opdelt i tre søtypegrupper – 1: brakke, kalkrige, lavvandede, ikke-brunvandede og brunvandede søer, 2: ferske, kalkrige, dybe, ikke-brunvandede søer og 3: ferske, kalkrige, lavvandede, ikke-brunvandede og brunvandede søer. Her er det generelle billede som forventet, nemlig at der sker en forøgelse af det totale biovolumen med stigende koncentrationer af totalfosfor og totalkvælstof. Sommerbiovolumenet i denne gruppering er generelt højest i de brakke søer (1) og lavest i de ferske/kalkrige/lavvandede søer (3).

Vegetation

Resultaterne for undervandsvegetationen, der er præsenteret ved fire parametre (planternes dækningsgrad, det plantefyldte vandvolumen, planternes dybdegrænse og antallet af arter), varierer meget inden for de enkelte søtyper. Dækningsgraden varierer fra 0 (laveste dækning i søer med planter er 1,4 %) til 88 %. Det plantefyldte volumen i søer med planter varierer mellem 0,04 og 60 %, og dybdegrænsen i den mest almindelige dybe søtype (søtype 10) varierer mellem 0,8 og >20 m i søer med planter. Også artsantallet (antal taxa) er meget varierende; det højeste antal er 39.

Fisk

Præsentation af resultaterne for fiskeundersøgelserne omfatter parametrene CPUE (catch per unit effort, dvs. fangst pr. net pr. nat) målt i både antal og vægt, procentandelen af henholdsvis rovfisk og karpefisk og fiskenes gennemsnitlige individstørrelse, opgjort i vægt. Medianværdierne af CPUE målt som både antal og vægt er højest i søer af type 9, hvor den udgør henholdsvis 137 fisk pr. net og 4,7 kg pr. net. Medianværdien af procentandelen af både rovfisk og karpefisk ligger meget tæt på hinanden i de to mest almindelige søtyper; i type 9 udgør de henholdsvis 32 og 51 % og i type 10 henholdsvis 30 og 49 %. Den gennemsnitlige individbiomasse er højere i type 9 (median: 31 g) end i type 10 (median: 23 g).

Fytoplankton i KU-søerne 2004-2018

Fytoplanktons biovolumen målt i sommerperioden og sammensætning i de 18 KU-søer, som er undersøgt i årene 2017-2018, viser stor variation. Det samlede sommerbiovolumen varierer mellem 0,55 og 51,84 mm³/l, og der er en klar tendens til stigende værdier med stigende koncentration af totalfosfor. Andelen af de forskellige algegrupper varierer også en del, men det overordnede billede er, at flere grupper deler dominansen ved de mest næringsfattige søer, mens der typisk er dominans af få grupper (blågrønalger, grønalger og evt. furealger) i de mere næringsrige søer.

En analyse af udviklingen i KU-søerne for perioden 2004-2018 viser, at det totale sommerbiovolumen kun er ændret signifikant i Arreskov Sø, hvor der er sket en reduktion. I en del af søerne er der sket en ændring i en-flere af de enkelte algegruppers volumen, men der ses ikke noget entydigt mønster.

Miljøfarlige forurenende stoffer i kontrolovervågningen 2017-2019

I perioden 2017-2019 er der indsamlet sedimentprøver fra 54 KT-søer og fra alle 18 KU-søer til analyse af op til 54 miljøfarlige forurenende stoffer (MFS). Stofferne inddeles i seks grupper: metaller, aromatiske kulbrinter, phenoler, polyaromatiske hydrocarboner (PAH), blødgørere og organotinforbindelser.

Med få undtagelser er alle de undersøgte stoffer inden for grupperne metaller, aromatiske kulbrinter og PAH fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen i sedimentet i de fleste af de i alt 54 undersøgte søer, men i meget varierende koncentrationer. Organotinforbindelser er påvist i 8-82 % af søerne og blødgørere i 2-61 %, mens forekomsten af de enkelte stoffer inden for gruppen phenoler varierede mellem 0 og 8 % blandt søerne.

Der er fundet koncentrationer, der er højere end miljøkvalitetskravene for vanadium og methylnaphthalener, i mere end halvdelen af de undersøgte søer. Bly og naphthalen er fundet i koncentrationer, der er højere end miljøkvalitetskravene, i enkelte af de undersøgte søer. Alkylphenoler er ikke fundet i koncentrationer, der er højere end miljøkvalitetskravene.

Kviksølv i fisk 2017-2019

Kviksølvindholdet i fisk er undersøgt ved at måle indholdet i muskelvæv fortrinsvis hos aborre med en længde på 20-25 cm. De undersøgte søer er stort set de samme søer (54 stk.), som er undersøgt for MFS i sedimentet. Indholdet af kviksølv (målt i mg/kg) i fiskene er varierende, men fiskene fanget i de kalkfattige søer har det højeste kviksølvindhold.

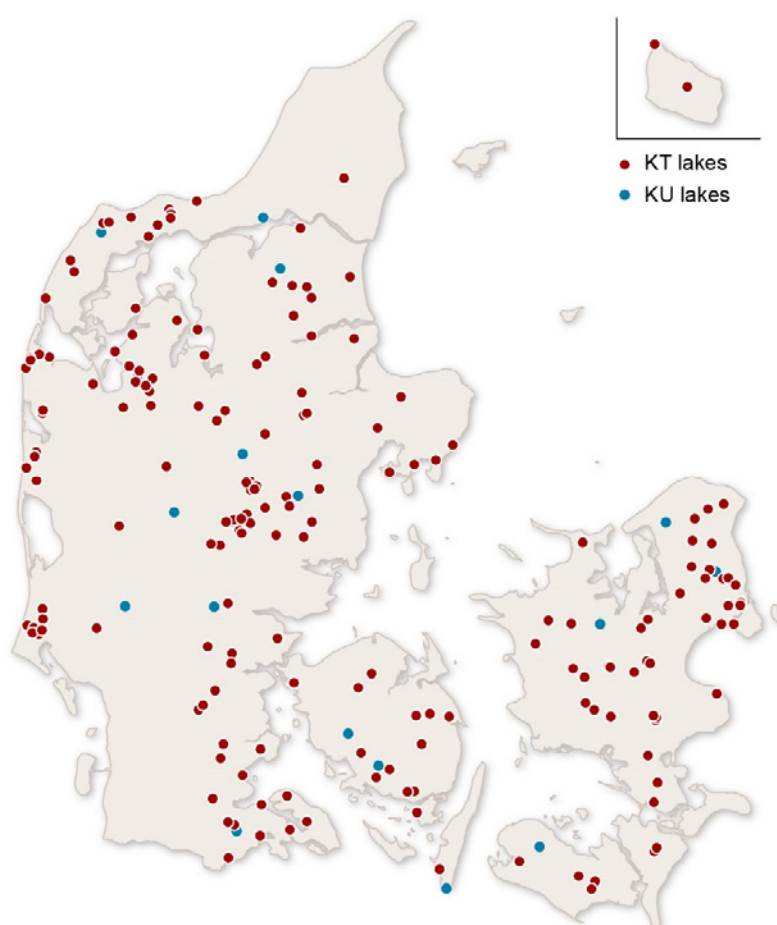
For alle prøver, bortset fra en enkelt, oversteg kviksølvkoncentrationen vandrammedirektivets miljøkvalitetskrav. Fødevarekravet blev oversteget i en enkelt prøve.

Summary

The monitoring programme

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

Figure 1. Geographical location of the lakes monitored according to the Water Framework Directive described in this report. These include 18 KU lakes (blue) and 180 KT lakes (red). KT = surveillance monitoring of the state of the lakes, KU = surveillance monitoring of the development of the lakes.



The surveillance monitoring of lakes according to the WFD is divided into two types: monitoring of the general state of lakes (represented by the so-called KT lakes, comprising 180 lakes >5 ha, where each lake is investigated every six years) and monitoring of the development of lakes (the so-called KU lakes, comprising 18 lakes >5 ha). In the KU lakes, water chemistry and physical parameters are measured every second year, vegetation is studied twice in a six-year period, and phytoplankton, fish and sediment chemistry are recorded every six years. Within the 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, a total of 413 lakes >5 ha were investigated (not including the KT and KU lakes also being monitored operationally) during the period 2016-2021. The lakes in the operational programme are not included in this year's report.

Table 1 provides an overview of the lakes (number and sampling year) represented in this report. For data from the KT lakes, it should be noted that the six-year period from 2014-2019, from which results are presented, does not follow the official monitoring period, which covers the years 2016-2021. For the KT lakes, the current status of selected physical/chemical parameters is shown besides results on phytoplankton, vegetation and fish studies. In addition, a general description is given of the development in the field of water chemical results and phytoplankton data in the KT lakes. For the KU lakes, a general status and the development in the biovolume and taxonomic composition of phytoplankton are presented for the period 2004-2018.

Table 1 Survey of the number of lakes from which data are shown in this report. Year of investigations is also given.

	Number of lakes	Investigated in
Monitoring according to the Water Framework Directive (lakes > 5 ha)		
Surveillance monitoring monitoring of environmental state (KT)	180	2014-2019
Surveillance monitoring monitoring of development (KU) ¹⁾	18	2004-2018

¹⁾ Only phytoplankton is shown in this report, and three of the lakes have only been part of the programme since 2011.

In connection with implementing the Water Framework Directive and preparing River Basin Management Plans, Denmark is working with 11 different lake types that are defined by water depth (deep, shallow), alkalinity (high alkalinity / low alkalinity), browning (brown water, non-brown water) and salinity (fresh, brackish). The presentation of the data in this report mainly follows this classification.

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

Surveillance monitoring of lake environmental state

The 180 KT lakes that are included in the monitoring of lake environmental state were originally selected randomly, taking into account geographical stratification, and as such constitute a representative sample of the Danish lakes > 5 hectares. The majority of lakes are relatively small (the median value for lake area is 23 ha) and shallow (the median value for mean depth is 1.6 m). Furthermore, the lakes are generally nutrient-rich with a median value of total phosphorus of 0.094 mg/l and total nitrogen of 1.6 mg/l. Similarly, the lakes are generally turbid with a median value of Secchi depth of 1.1 m and a chlorophyll content with a median of 38 µg/l. All values are calculated on the basis of the summer average in the individual lakes.

Water chemistry

Water chemistry data are available from nine of the 11 lake types under the Water Framework Directive (see Table 1.1). Some of these types are only represented by very few lakes. The four most common lake types (9, 10, 11 and 13) constitute a total of 91% of all the KT lakes. Among these, lake type 11 (high alkalinity, non-brown water, shallow and saline) is the most nutrient-

rich (median summer total phosphorus and nitrogen concentrations are 0.174 and 1.83 mg/l, respectively). The medians of chlorophyll concentration and Secchi depth are at the same level for lake type 9 and 11: 52-57 µg/l and 0.8-0.9 m. For lake type 15, some of the parameters indicate a poorer condition, but this type is only represented by two lakes.

Overall, there has been a positive development since 1989 in the individual KT lakes for which there is sufficient data material to assess the development. This trend was most evident in the first ten years of the period, while the development in the past 20 years has been less clear. If you look at all the KT lakes together and compare the last two six-year periods (2008-2013 and 2014-2019), a significant increase in the lakes' content of total nitrogen, total phosphorus and chlorophyll is seen. The most significant changes have occurred for nutrients; there is no significant change in Secchi depth.

Phytoplankton

The biovolume and composition of phytoplankton in the KT lakes depend to a large extent on the lake type. Among the most common types of lakes (9, 10, 11), the median value of the total biovolume in the summer period (May-September) is, however, quite uniform, approx. 10 mm³/l for types 9, 10 and 11. For the remaining lake types, the summer biovolume varies notably, and the data base is poorer, but the smallest values are seen for the most nutrient-poor and low alkalinity lake types. On average, blue-green algae dominate the lakes in the summer, especially lake type 9, 11, 13 and 15. For lake type 10, the composition is more versatile and diatoms and dinoflagellates are at the same level as blue-green algae. As for the remaining lake types, different groups dominate, usually the heterogeneous group "others". An analysis of the dominant taxa across all lakes shows, among other things, that the genera *Cryptomonas* and *Rhodomonas lacustris* are the most frequently found taxa and that many of the most dominant species have a preference for specific lake types.

For 87 lakes examined during the period 2014-2019, it is possible to study and compare the development in the phytoplankton biovolume (measured in summer) with the previous six-year period, 2008-2013. For the total biovolume and for all lakes, there is no significant change. For the individual algae groups, there is a slight reduction in the biovolume of dinoflagellates across the lakes and for lake type 10. For the group "others", there is also a slight reduction in biovolumes in lake type 9 and 10, while the group "green algae" exhibits an increase for lake type 11.

For comparing median values for phytoplankton biovolume along a nutrient gradient, the lakes are divided into three groups: 1: brackish/alkaline/shallow / brown water and non-brown water 2: fresh water/alkaline/deep / non-brown water and 3: fresh water/alkaline/shallow / brown water and non-brown water. As expected, there is an increase in total biovolume with increasing concentrations of total phosphorus and total nitrogen. The summer biovolume is generally highest in the brackish lakes (1) and lowest in the fresh water / high alkalinity / shallow lakes (3).

Vegetation

The results for the submerged vegetation, represented by four parameters (plant coverage, plant-filled water volume, plant growth depth and species number), vary greatly within the individual lake types. Thus, coverage varies from 0 (lowest coverage in lakes with plants is 1.4%) to 88%. The plant-filled volume in lakes with vegetation varies between 0.04 and 60%, and the growth

depth in the most common deep lake type (lake type 10) varies between 0.8 and >20 metres in lakes with vegetation. The number of species (number of taxa) also varies markedly, the highest number is 39 species.

Fish

The presentation of the results of the fish investigations includes the parameters CPUE (catch per unit effort, i.e. catches per net per night), measured in terms of both number and weight, the percentage of predatory fish and cyprinids and the average individual size of the fish. The median values of CPUE, measured as both number and weight, are highest in lakes of type 9, where it constitutes, respectively, 137 fish per net and 4.7 kg per net. The median values of the percentage share of predatory fish and cyprinids are very close to each other in the two most common lake types (type 9 and type 10), accounting for 30-32% and 49-51%, respectively. The average individual biomass is higher in lake type 9 (median: 31 g) than in type 10 (median: 23 g).

Phytoplankton in the KU lakes 2004-2018

The biovolume of phytoplankton measured in the summer period and its composition in the 18 KU lakes, studied in the period 2017-2018, show great variations. The total summer biovolume varies between 0.55 and 51.84 mm³/l, and there is a clear trend towards higher values with increasing concentrations of total phosphorus. The proportions of the different algae groups also vary markedly, but the overall picture is that several groups are dominant in the most nutrient-poor lakes, while a few groups (blue-green algae, green algae and, sometimes, dinoflagellates) typically dominate in the more nutrient-rich lakes.

An analysis of the development in the KU lakes for the period 2004-2018 shows that the total summer biovolume has only changed significantly in Lake Arreskov, where there has been a reduction. Some of the lakes experienced a change in the volume of one-more individual algae groups, but there is no clear pattern.

Environmentally hazardous substances in the surveillance monitoring 2017-2019

In the period 2017-2019, sediment samples from 54 KT lakes and from all 18 KU lakes were collected for analysis of up to 54 environmentally hazardous substances (EHS). The pollutants are divided into six groups: metals, aromatic hydrocarbons, phenols, polyaromatic hydrocarbons (PAH), plasticisers and organotine compounds.

With a few exceptions, all the substances studied within the groups metals, aromatic hydrocarbons and PAH have been found in concentrations above the detection limit in the sediment in most of the 54 lakes studied, but in very varying concentrations. Organotine compounds have been detected in 8-82% of the lakes and plasticisers in 2-61%, while the presence of the individual substances in the phenols group varies between 0 and 8% among the lakes.

Concentrations higher than the environmental quality requirements are recorded for vanadium and methylnaphthalenes in more than half of the lakes studied. Lead and naphthalene are found in concentrations that are higher than the environmental quality standards in some of the lakes studied. Alkylphenols are not found in concentrations higher than the environmental quality requirements.

Mercury in fish 2017-2019

The mercury content in fish is studied by measuring the content of muscle tissue, primarily in perch with a length of 20-25 cm. The lakes studied are virtually the same lakes (54) that were studied for EHS in the sediment. The content of the mercury (measured in mg / kg) in the fish varies, but the fish caught in the low alkalinity lakes have the highest mercury content.

For all samples, except for one, the mercury concentration exceeded the environmental quality requirements of the WFD. The food requirement was exceeded in a single sample.

1 Undersøgellesprogrammet

1.1 Historik

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

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

Samtidig med at antallet af de intensivt undersøgte søer i 2004 blev reduceret, blev der inddraget væsentligt flere søer i et mere ekstensivt program. I dette program blev undersøgelserne i de enkelte søer foretaget med lavere frekvens, både årligt og i overvågningsperioden som helhed. Det ekstensive program dækkede indtil 2008 tre størrelseskategorier af søer: >5 ha (Ekstensiv-1 søer), 0,1-5 ha (Ekstensiv-2 søer) og 0,01-0,1 ha (Ekstensiv-3 søer) og omfattede i gennemsnit i perioden 2004-2007 årligt ca. 60 søer i hver størrelsesgruppe. Fra 2008 overgik søerne <5 ha i det daværende ekstensive program til en anden del af overvågningen – de fleste til den del af overvågningen, der foretages jf. habitatdirektivet (se nedenfor). I 2010, hvor overvågningen blev opdelt i *kontrolovervågning* og *operationel overvågning* (se nedenfor), blev 180 søer >5 ha fra den ekstensive overvågning videreført i *kontrolovervågningen af tilstand*, hvor hver sø bliver undersøgt i en seksårig turnus (dvs. 30 søer pr. år). Fra 2015 blev den årlige undersøgelsesfrekvens i hver af disse søer reduceret fra syv årlige prøvetagninger til fem, som foregår i perioden maj-september. I det ekstensive program blev algerne indikeret ved klorofylkoncentrationen, og først i 2011 blev fytoplanktonundersøgelser inkluderet i *kontrolovervågningen af tilstand*.

Fra 2008 blev omfanget af overvågningen af søer <5 ha ændret. Udvalgte søer i størrelsesklassen 1-5 ha undersøges nu i det operationelle program, og søer med et areal på 0,01-5 ha (størstedelen i Natura 2000-habitatområder) undersøges i forbindelse med overvågningen af habitatnaturtyper i søer i henhold til habitatdirektivet (Den Europæiske Union 1992). Samtidig overgik overvågningen af naturtyper i søer fra programmet for overvågning af arter og natur til søprogrammet.

Fra og med 2011 trådte en ny seksårig NOVANA-periode i kraft, som nu er videreført i den indeværende NOVANA-periode, der dækker årene 2016-2021. De væsentligste behov for overvågning af søer gennemføres nu med udgangspunkt i de to EU-direktiver vandrammedirektivet (Den Europæiske Union 2000) og habitatdirektivet (Den Europæiske Union 1992). Således omfatter overvågningen fra og med 2010 dels en *kontrolovervågning* og dels en *operationel overvågning* af søer.

Kontrolovervågningen, som omfatter i alt 198 søer, har til formål at ”tilvejebringe dokumentation for søernes tilstand, den generelle udvikling i søerne samt vurdere naturlige eller menneskeskabte langtidsændringer. Desuden skal den medvirke til, at fremtidige overvågningsprogrammer kan udformes effektivt” (Naturstyrelsen 2011).

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

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

1.2 Parametre i overvågningen

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

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

Søernes bufferkapacitet og forsuringsstatus kan beskrives ved måling af alkalinitet (kalkholdighed) og pH, som sammen med bl.a. totaljern kan indgå i beskrivelsen af næringsstoffdynamikken i søerne. Herudover indgår også ilt- og temperaturprofiler, ledningsevne, farvetal samt sigtddybde i en beskrivelse af de fysiske forhold i søvandet. Nogle af disse parametre anvendes også i forbindelse med fastlæggelse af søtype jf. vandrammedirektivet (se afsnit 1.3).

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

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

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

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

I afsnit 1.4-1.6 gives en kort beskrivelse af de enkelte overvågningstyper i søerne. En komplet beskrivelse af overvågningsprogrammet for søer i NOVANA 2017-2021 findes i Miljøstyrelsen (2017).

1.3 Søtyper i henhold til vandrammedirektivet

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

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

Søtype	Alkalinitet	Farvetal	Saltholdighed	Middeldybde
1	Kalkfattig	Ikke brunvand	Fersk	Lavvand
2	Kalkfattig	Ikke brunvand	Fersk	Dyb
5	Kalkfattig	Brunvand	Fersk	Lavvand
6	Kalkfattig	Brunvand	Fersk	Dyb
9	Kalkrig	Ikke brunvand	Fersk	Lavvand
10	Kalkrig	Ikke brunvand	Fersk	Dyb
11	Kalkrig	Ikke brunvand	Saltholdig	Lavvand
12	Kalkrig	Ikke brunvand	Saltholdig	Dyb
13	Kalkrig	Brunvand	Fersk	Lavvand
14	Kalkrig	Brunvand	Fersk	Dyb
15	Kalkrig	Brunvand	Saltholdig	Lavvand

1.4 Kontrolovervågning

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

Samlet udgør de 198 søer >5 ha, som er omfattet af kontrolovervågningen i henhold til vandrammedirektivet, ca. 1/3 af alle danske søer i denne størrelsesgruppe (tabel 1.3).

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

Kontrolovervågning	Antal søer pr. år (gennemsnit)	Antal søer i en seksårig periode
Økologisk og kemisk tilstand		
Tilstand (søer >5 ha)	30	180
Udvikling (søer >5 ha)	9	18 ¹⁾
Naturtyper		
Vandhuller (0,01-1 ha)	35	210
Småsøer (1-5 ha)	35	210

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

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

Programtype	Areal (hektar)	Antal søer	% af alle	Turnus (år)
Kontrolovervågning, udvikling	7-4000	18	33	2 ¹⁾
Kontrolovervågning, tilstand	3-1730	180		6

¹⁾Vandkemiske parametre. Sedimentkemiske og biologiske parametre undersøges med lavere frekvens.

1.4.1 Kontrolovervågning af udvikling (søer >5 ha), 18 søer

For at kunne give en detaljeret beskrivelse af tilstand og udvikling af udvalgte søtyper gennemføres der en intensiv overvågning af i alt 18 søer. Disse søer benævnes KU-søer (Kontrolovervågning af Udvikling). Femten af disse søer var indtil 2010 en del af ”Det intensive program” og har således gennemgået kemiske undersøgelser i søvandet hvert år i perioden 1989-2014, herefter hvert andet år. De fysiske og kemiske undersøgelser omfatter i alt 17 vandkemiske og fysiske parametre (se den fulde liste i Miljøstyrelsen 2017). Den årlige prøvetagningsfrekvens for de vandkemiske og fysiske parametre er 19 (to gange pr. måned i april-oktober, resten af året månedlige prøver). I udvalgte KU-søer måles til- og fraførsel af vand, og der foretages analyser af totalkvælstof, totalfosfor og totaljern i søens til- og afløb. Disse målinger foretages med en årlig frekvens på 12-22, afhængigt af afstrømningsmønstret. På baggrund af dette kan næringsstoffdynamikken beskrives detaljeret. De enkelte søers sediment undersøges for totalfosfor, totaljern, tørstof og glødetab hvert sjette år, vegetation og bentiske kiselalger undersøges hvert tredje år, mens planteplankton (12 prøver pr. år), fisk og bunddyr undersøges hvert sjette år. Miljøfarlige forurenende stoffer (se Miljøstyrelsen 2017) undersøges i KU-søer i sediment og biota (fisk) hvert sjette år. En af de tre søer (Ulvedybet), som blev en del af kontrolovervågningen af udvikling i 2011, har tidligere indgået i

”Det intensive program”, og to søer (Keldsnor og Tranemose) har været inkluderet i andre dele af overvågningsprogrammet, men disse tre søer indgår, pga. afbrudt tidsserie eller uensartet prøvetagning, ikke i analyser af den generelle udvikling i denne rapport.

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

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

1.4.2 Kontrolovervågning af tilstand (søer >5 ha), 180 søer

Til overvågning af de danske søers generelle økologiske og kemiske tilstand gennemføres der undersøgelser i gennemsnitligt 30 søer >5 ha pr. år, dvs. i alt 180 søer, over en seksårig periode. Disse søer benævnes KT-søer (Kontrolovervågning af Tilstand). Udvalgelsen af dem er geografisk stratificeret, og de væsentligste danske søtyper, herunder brakvandssøer, er omfattet. En del af disse søer indgår tillige i det operationelle program. KT-søerne var i NOVANA 2004-2009 inkluderet i ”Det ekstensive program” eller ”Det intensive program” for de større søer (>5 ha). En stor del af KT-søerne er således undersøgt mindst tre gange i løbet af overvågningsperioden (1989-2019). Mange af dem er undersøgt otte gange eller mere, hvilket gør det muligt at beskrive udviklingen i hver af disse søer med statistisk sikkerhed.

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

Ud over vandkemiske og biologiske undersøgelser undersøges sediment, biota (fisk) og vand for miljøfarlige forurenende stoffer i 70 udvalgte KT-søer.

1.4.3 Kontrolovervågning af habitatnaturtyper i søer

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

Tabel 1.4. Oversigt over de seks danske habitatnaturtyper i søer anvendt i forbindelse med overvågning jf. habitatdirektivet. Se nærmere beskrivelse i habitatnøglen og habitatbeskrivelserne, der findes på MST's hjemmeside. Hvis en sø ikke tilhører nogen af de nævnte typer, registreres den med "type" 3100.

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

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

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

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

1.5 Operationel overvågning, 413 søer

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

Søerne er udvalgt efter følgende kriterier (Naturstyrelsen 2011):

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

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

1.6 Kortlægning af habitatnaturtyper i søer

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

Til brug ved kortlægning af habitatnaturtyper i søer >5 ha anvendes de data, der indgår i overvågningen jf. vandrammedirektivet, hvilket vil sige, at der ikke indsamles yderligere data. Naturtypen for søer >5 ha bestemmes i henhold til Miljøstyrelsens habitatnøgle og habitatbeskrivelser.

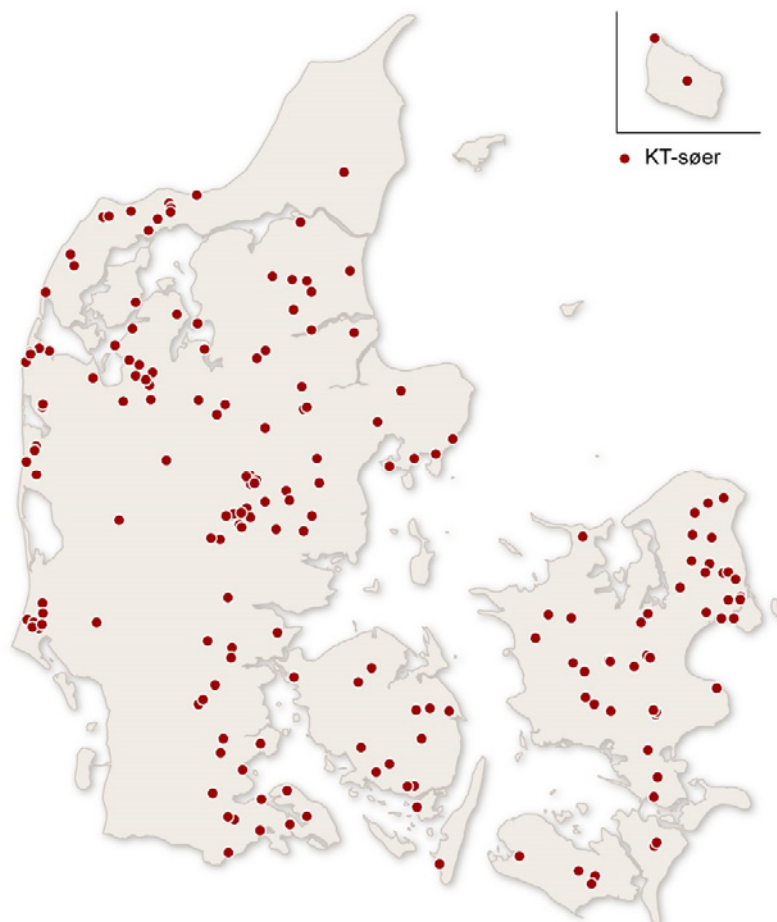
2 Kontrolovervågning af søernes tilstand

Overvågning af de danske søers generelle økologiske og kemiske tilstand omfatter i alt 180 søer (KT-søer) >5 ha, der overvåges over en seksårig periode. Den indeværende overvågningsperiode omfatter årene 2016-2021. I dette afsnit præsenteres en overordnet status over alle 180 KT-søer med resultater for udvalgte kemiske og biologiske parametre for perioden 2014-2019, dvs. resultater fra den seneste undersøgelse i hver sø. Enkelte søer er repræsenteret med resultater, der stammer fra undersøgelser foretaget før 2014, da de ikke er undersøgt i perioden 2014-2019. Figur 2.1 viser placeringen af de 180 søer. Præsentationen af data omfatter undersøgelser af vandkemi, fytoplankton, vandplanter og fisk.

Analyserne af totalkvælstof og totalfosfor var fejlbehæftede i 2016. Derfor indgår de to parametre ikke i rapportering af data fra 2016. Der kan også være fejl i analyser af totalfosfor og totalkvælstof i perioden 2007-2015, så derfor må tolkning af disse data indtil videre tages med forbehold. I skrivende stund arbejdes der fortsat på en afklaring af, hvordan fejlanalyserne endeligt skal håndteres. (Larsen m.fl. 2018, Larsen m.fl. 2020).

Ud over beskrivelsen af resultater opnået i 2014-2019 gives der et overblik over udviklingen i vandkemiske og -fysiske nøgleparametre i en del af de KT-søer, hvortil der findes et tilstrækkeligt datagrundlag. Endvidere er der foretaget en overordnet sammenligning mellem perioderne 2008-2013 og 2014-2019, f.s.v. angår vandkemiske og -fysiske undersøgelser og undersøgelser af fytoplankton.

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



2.1 Generel tilstand

I tabel 2.1 er der givet en samlet oversigt over udvalgte morfometriske, kemiske/fysiske og biologiske parametre for de 180 KT-søer. Søerne omfatter syv forskellige søtyper, hvoraf type 9 og 10 (se tabel 1.1) er de to hyppigst repræsenterede. Søernes areal spænder fra en nedre grænse på 5 ha op til 1730 ha. Størstedelen er lavvandede søer (medianen for middeldybde er 1,6 meter og gennemsnittet 2,4 meter), men også dybe søer med en maksimaldybde på op til 31 meter forekommer. Flertallet af søerne har et forholdsvis højt klorofylindhold (median af sommergennemsnit er 38 µg/l) og en relativt lav sigtdybde (median af sommergennemsnit er 1,1 m).

Som gennemsnit har undervandsplanterne en dækningsgrad på knap 20 % og et plantefyldt volumen på knap 8 %. Halvdelen af søerne har en dækningsgrad på 12 % eller derunder, men det dækker over søer, hvor der ingen undervandsplanter er (dækningsgrad = 0), til søer, hvor søbunden er stort set totalt dækket af planter (dækningsgrad = 88 %) (tabel 2.1). Den gennemsnitlige dybdegrænse for undervandsplanterne er 2,4 m. Det skal bemærkes, at denne dybdegrænse kan være begrænset af søens totaldybde.

Den gennemsnitlige fangst af fisk i de biologiske oversigtsgarn er hhv. 143 stk. pr. garn og knap 4 kg pr. garn. Der er store variationer blandt de 180 søer, idet værdierne ligger i intervallerne 0- 678 fisk pr. garn for antallet og 0-16 kg for vægten (tabel 2.1).

Tabel 2.1. Oversigt over morfometriske samt vandkemiske nøgleparametre (sommer-værdier) for de 180 KT-søer i perioden 2014-2019 (enkelte er undersøgt i 2013).

Resultater for totalfosfor og totalkvælstof fra 2016 er udeladt (se tekst). I 15 af søerne findes der ikke planter. Disse søer indgår ikke i resultater vedr. dybdegrænse.

	Gns.	Median	Min.	Maks.	Antal søer
Søareal (ha)	97,4	22,8	4,9	1729,8	180
Middeldybde (m)	2,4	1,6	0,3	13,7	180
Maksimumsdybde (m)	5,3	3,0	0,7	30,9	180
Totalfosfor (mg/l)	0,166	0,094	0,006	1,363	157
Totalkvælstof (mg/l)	1,73	1,57	0,38	5,33	157
Klorofyl a (µg/l)	57	38	2	389	180
Sigtdybde (m)	1,4	1,1	0,2	6,7	179
Farvetal (mg Pt/l)	39	26	3	586	180
Undervandsplanter, dækningsgrad (%)	19,7	12,0	0,0	88,0	180
Undervandsplanter, plantefyldt vol. (%)	7,9	2,5	0,0	60,2	180
Undervandsplanter, dybdegrænse (m)	2,4	1,8	0,3	21,5 ¹⁾	165
Undervandsplanter, antal arter	10,6	9	0	39	180
Fisk, CPUE-antal (antal/net)	143	101	0	678	180
Fisk, CPUE-vægt (kg/net)	3,89	3,45	0,00	16,12	180

¹⁾Tornfrøet hornblad i Fussing Sø.

2.2 Vandkemi

2.2.1 Vandkemi, status

I tabel 2.2 er 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 1). En del af søtyperne er kun repræsenteret ved ganske få søer (1-4 søer i søtyperne 1, 2, 6 og 15), og det er derfor usikkert at give en generel vurdering af disse søtyper.

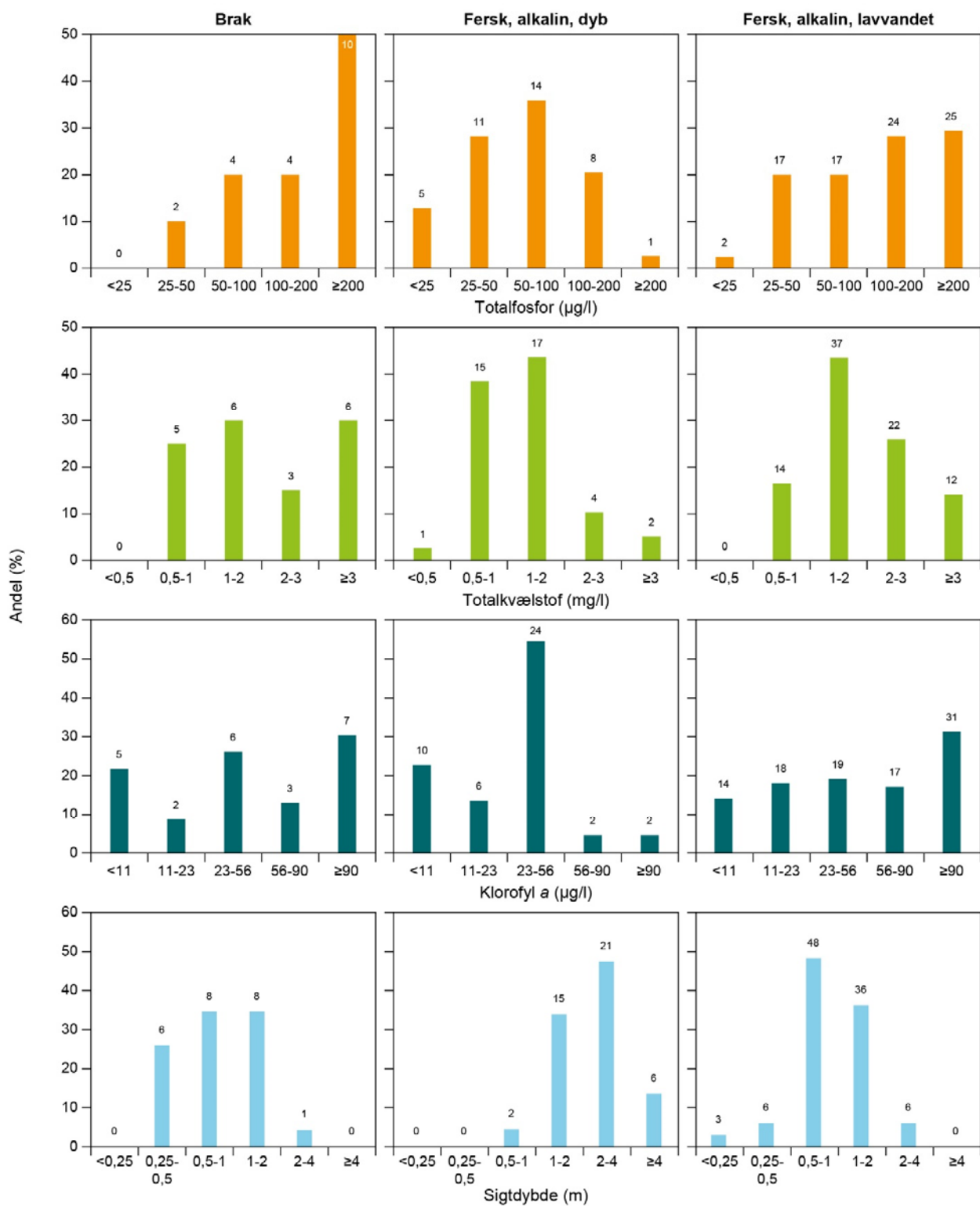
Tabel 2.2. Oversigt over sigtddybe og vandkemiske data fra de 180 KT-søer (sommerværdier) fordelt på ni søtyper, som er undersøgt i perioden 2014-2019 (enkelte er undersøgt i 2013). Hvis der er data for flere år, indgår søen kun med det seneste års målinger.

Søtype	Totalfosfor (mg P/l)					Totalkvælstof (mg N/l)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	0,021	0,022	0,012	0,029	4	0,57	0,58	0,42	0,70	4
2	0,006	0,006	0,006	0,006	1	0,38	0,38	0,38	0,38	1
5	0,095	0,099	0,049	0,136	6	1,39	1,46	0,79	1,79	6
6	0,093	0,093	0,032	0,154	2	1,09	1,09	0,68	1,50	2
9	0,191	0,129	0,025	0,994	74	1,95	1,84	0,66	5,33	74
10	0,077	0,057	0,012	0,333	39	1,30	1,08	0,48	4,03	39
11	0,281	0,174	0,030	1,224	18	2,16	1,83	0,73	5,03	18
13	0,210	0,075	0,023	1,363	11	1,80	1,55	0,81	3,67	11
15	0,349	0,349	0,035	0,663	2	2,76	2,76	0,62	4,90	2

Søtype	Klorofyl a (µg/l)					Sigtddybe (m)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	N
1	7	8	2	11	4	2,3	1,7	0,9	4,9	4
2	4	4	4	4	1	6,7	6,7	6,7	6,7	1
5	50	42	5	121	7	0,7	0,7	0,3	1,4	7
6	22	22	14	30	2	1,3	1,3	0,3	2,3	2
9	68	57	4	389	86	1,0	0,9	0,2	2,7	85
10	31	26	3	125	44	2,5	2,1	0,8	5,4	44
11	66	52	3	241	21	1,0	0,8	0,3	2,8	21
13	69	22	9	282	13	0,8	0,7	0,2	1,7	13
15	122	122	4	241	2	1,1	1,1	0,4	1,9	2

Blandt de fire mest almindelige søtyper (søtype 9, 10, 11 og 13) er søtype 11 (kalkrig, ikke brunvand, lavvand og saltholdig) den mest næringsrige med en medianfosforkoncentration på 0,174 mg/l og en mediankvælstofkoncentration på 1,83 mg/l. Medianværdierne for klorofyl *a* og sigtddybe for type 9 og 11 ligger tæt på hinanden; henholdsvis 52-57 µg/l og 0,8-0,9 meter. Den mest næringsfattige blandt de fire hyppigst forekommende søtyper er søtype 10 (kalkrig, ikke brunvand, fersk og dyb), hvor medianfosforkoncentrationen er på 0,057 mg/l og medianklorofylindholdet på 26 µg/l.

For at koncentrere datamængden er de mest almindelige søtyper i figur 2.2 delt ind i tre søtypegrupper: brakke, kalkrige, lavvandede, ikke-brunvandede og brunvandede søer (søtype 11 og 15), ferske, kalkrige, dybe, ikke-brunvandede søer (søtype 10) og ferske, kalkrige, lavvandede, ikke-brunvandede og brunvandede søer (søtype 9 og 13). De kalkfattige (lavalkaline) søer (type 1,2,5 og 6) er dermed udeladt i denne figur. Herefter er søernes fordeling på fem-seks kategorier af næringsstofkoncentrationer, klorofylindhold og sigtddybe (i alle tilfælde som gennemsnit) vist. Også her fremgår det, at de brakke søer generelt er de mest næringsrige, hvor næsten alle søer har et højt indhold af totalfosfor (18 ud af 20 har et fosforindhold over 0,05 mg/l) og klorofyl *a* (16 ud af 20 søer har et klorofylindhold over 23 µg/l), mens gruppen af de dybe, kalkrige søer generelt er de mindst næringsrige med et lavere indhold af klorofyl *a* og en højere sigtddybe (vær dog opmærksom på, at denne kan være begrænset af søens dybde i de øvrige to grupper). Blandt de lavvandede, kalkrige søer er der relativt mange i de højeste fosfor- og klorofylkategorier, men for kvælstofkoncentrationer og sigtddybe er der flest søer i midten af spektret.



Figur 2.2. Den procentuelle fordeling af søer opdelt i tre søtypegrupper – se tekst. Inden for hver søtypegruppe er søerne fordelt på fem-seks kategorier (sommern gennemsnit) af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl a og sigtdybde. Tallet over de enkelte søjler angiver det absolutte antal af søer i hver kategori.

2.2.2 Vandkemi, udviklingstendenser

I mange af KT-søerne er der, siden overvågningsprogrammet påbegyndtes, nu opnået så lange tidsserier, at det er muligt at vurdere og teste udviklingstendenser for de enkelte søer. I henhold til den statistiske test (Mann-Kendall, se bilag 1), der anvendes, skal der foreligge data for otte år for at kunne foretage denne vurdering. For perioden 1989-2019 opfylder 63 KT-søer dette kriterium, og inden for de seneste 20 år er antallet af søer 26 (25 for totalfosfor og totalkvælstof). Resultaterne af disse analyser kan ses i tabel 2.3 og 2.4. Hovedparten af søerne med lange tidsserier udgøres af søtype 9- og søtype 10-søer, der samlet set for de to tidsperioder (1989-1999 og 2000-2019) udgør henholdsvis 55 søer ud af de 63 søer og 20 søer ud af de 26 søer.

I knap halvdelen af KT-søerne med lange tidsserier ses statistisk signifikante ændringer på 0,1-10 % signifikansniveau, hvis udviklingen betragtes over de seneste 31 år. I de fleste tilfælde er der tale om ændringer i ”den rigtige retning”, dvs. næringsstof- og klorofylindhold er reduceret, mens sigtddybden er øget (tabel 2.3 og 2.4 og figur 2.3). Indholdet af totalfosfor er således reduceret i 30 søer og kun øget i én sø, mens indholdet af totalkvælstof er reduceret i 36 og ligeledes øget i én sø. I overensstemmelse hermed er klorofylindholdet reduceret i 33 søer og øget i to af dem, mens sigtddybden er øget i 36 søer og mindsket i to søer.

Hvis der kun ses på udviklingen i de seneste 20 år, er næringsstof- og klorofylindhold og sigtddybden uændret i flertallet af søerne (tabel 2.3, tabel 2.4 og figur 2.3). Således er næringsstofindholdet ikke ændret signifikant i 14-16 af de 25 søer, men reduceret i 8-10 søer, mens klorofylindholdet er uændret i 19 søer og sigtddybden uændret i 18 af de 26 søer, og for begge parametre ses positive tendenser i syv søer. Læg dog mærke til, at ændringerne har forskelligt statistisk signifikansniveau.

De procentvise andele af søer, hvor totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* og sigtddybde er henholdsvis reduceret, uændret eller forøget for de to perioder 1989-2019 og 2000-2019 ses i figur 2.3.

Tabel 2.3. Udviklingen (sommergenomsnit) i indholdet af totalfosfor og totalkvælstof i perioden 1989-2019 samt for perioden 2000-2019 i de KT-søer, som er undersøgt i mindst otte år. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Type angiver søtype anvendt i vandområdeplanerne (tabel 1.1). Antal år angiver, hvor mange år der er data fra.

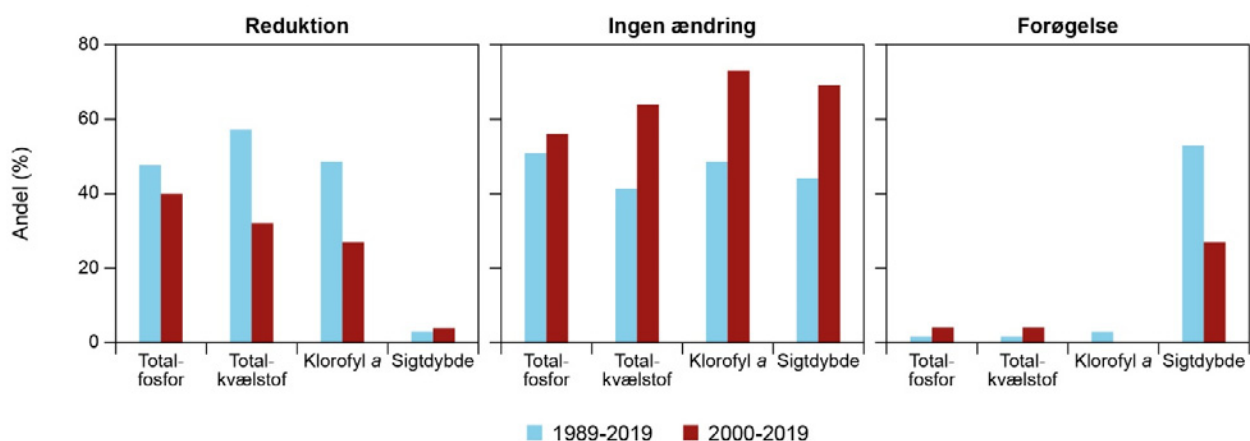
Sønr.	Sønavn	Type	Antal år 1989-2019	Total- fosfor	Total- kvælstof	Antal år 2000- 2019	Total- fosfor	Total- kvælstof
1200003	LEGIND SØ	9	8	0	0			
1400006	MADUM SØ	1	12	0	+			
1500013	UDBYOVER SØ	9	13	0	---			
1600002	FERRING SØ	11	18	--	0	8	0	0
1600006	KILEN	11	14	---	--			
1600037	SKØR SØ	1	8	0	0			
1800014	KLEJTRUP SØ	9	17	0	-			
1800018	FUSSING SØ	10	8	0	0			
2000026	STUBBERGÅRD SØ	9	8	0	0			
2100014	STIGSHOLM SØ	9	9	0	0			
2100264	KARL SØ	9	8	0	--			
2100276	TORUP SØ	10	18	0	---	10	0	0
2100282	HALD SØ	10	22	----	0	12	-	+
2100293	ØRNSØ	10	18	----	----			
2101053	VEDSØ, NONBO BASSIN	10	8	---	--			
2300013	TILLERUP SØ	9	8	0	0			
2500020	HAMPEN SØ	10	14	0	--			
2500039	RØRBÆK SØ	10	17	----	----			
2500043	NØRRESØ, v/RINGKØBING	9	8	0	--			
2500076	ENSØ	9	9	0	0			
2600013	LADING SØ	9	12	0	0	8	0	0
3000005	HOLM SØ	1	22	0	-	11	0	0
3000088	ÅL PRÆSTESØ	13	9	0	--			
3200005	FÅRUP SØ	10	19	--	----	8	0	--
3400006	DONS NØRRESØ	9	15	---	---			
3400010	SKÆRSØ	9	16	-	-			
3600005	SØGÅRD SØ, JYLLAND	9	22	----	----	11	-	---
3700016	RYGBJERG SØ	10	8	0	0			
3700017	STEVNING DAM	9	13	----	--			
3800005	JELS NEDERSØ	10	7-8	0	-			
3800006	JELS OVERSØ	9	13	--	---			
4100003	KETTINGNOR	11	11-12	0	--	8	0	0
4100056	KRUSÅ MØLLESØ	9	7-8	0	0			
4200001	HOSTRUP SØ	9	12	0	0	9	0	0
4400005	HJULBY SØ	9	9	-	--			
4400009	VOMME SØ	10	10	0	0			
4500006	DALLUND SØ	9	12	--	0			
4500007	LANGESØ	10	17	----	----	8	0	--
4500008	NØRRESØ, FYN	9	15	+	-	8	+++	0
4600005	SØBO SØ, FYN	10	14	0	-			
4700008	HVIDKILDE SØ	9	14	0	0	8	0	0
4700011	OLLERUP SØ	9	9	-	0			
5000001	BAGSVÆRD SØ	9	23	----	----	12	---	--
5000025	BASTRUP SØ	10	18	0	0	8	0	0
5000026	LYNGBY SØ	9	10	--	0	9	0	0
5200005	ØSTRUP-GUNDSØMAGLE SØ	9	23	----	----	12	----	--
5200013	SØNDER SØ	10	17	----	--	8	-	0
5300018	DAMHUSSØEN	9	20-21	---	0	11	0	0
5300025	PEBLINGESØ	9	22-23	----	---	15	---	--

5300027	SKT. JØRGENS SØ SYDBASSIN	10	19-20	---	----	12	0	0
5300036	GENTOFTE SØ	9	8	---	0			
5300041	VALLENSBÆK SØ	9	8	0	--			
5500001	SKARRESØ	9	7-8	0	0			
5500002	TISSØ	10	24	0	---	13	--	-
5700020	TYSTRUP SØ	10	20	----	---	9	-	0
5800001	BORUP SØ	9	19	----	----	8	--	--
6000010	HULEMOSE SØ	9	8	0	0			
6100001	VIRKET SØ	10	10	---	--			
6100002	MØLLE SØ	10	8	0	0			
6200002	NAKSKOV INDREFJORD	11	8	---	0			
6400001	HEJREDE SØ	9	18	----	-	8	--	0
6400003	RØGBØLLESØ	9	15	----	0			
6400004	MARIBO SØNDERSØ	9	21	0	--	10	0	0
I alt +/+/+/+/+/+				1	1		1	1
I alt -/--/--/----				30	36		10	8

Tabel 2.4. Udviklingen (sommergennemsnit) i indholdet af klorofyl a og sigtdybde i perioden 1989-2019 i de KT-søer, som er undersøgt i mindst otte år. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. 0 angiver, at der ikke har været nogen signifikant ændring. Type angiver søtype anvendt i vandområdeplanerne (tabel 1.1). Antal år angiver, hvor mange år der er data fra.

Sønr,	Sønavn	Type	Antal år 1989-2019	Klorofyl	Sigtdybde	Antal år 2000-2019	Klorofyl	Sigtdybde
1200003	LEGIND SØ	9	9	0	0			
1400006	MADUM SØ	1	12	0	--			
1500013	UDBYOVER SØ	9	10-13	---	+			
1600002	FERRING SØ	11	17-18	--	0	8	0	0
1600006	KILEN	11	15	--	++++			
1600037	SKØR SØ	1	8	0	0			
1800014	KLEJTRUP SØ	9	17	0	0			
1800018	FUSSING SØ	10	8	--	0			
2000026	STUBBERGÅRD SØ	9	8	0				
2100014	STIGSHOLM SØ	9	10-12	0	0			
2100016	LYNGSØ	9	8	0	0			
2100264	KARL SØ	9	8	0	0			
2100276	TORUP SØ	10	19	0	0	11	0	0
2100282	HALD SØ	10	22	----	++	12	--	++
2100293	ØRNSØ	10	18	--	0			
2101053	VEDSØ, NONBO BASSIN	10	8	0	++			
2300013	TILLERUP SØ	9	8-9	+	+			
2500020	HAMPEN SØ	10	15	---	0			
2500039	RØRBÆK SØ	10	18	----	++	8	0	0
2500043	NØRRESØ, v/RINGKØBING	9	8	0	0			
2500076	ENSØ	9	9	0	0			
2600013	LADING SØ	9	12	0	++	8	0	0
3000005	HOLM SØ	1	20-22	--	0	11	0	--
3000088	ÅL PRÆSTESØ	13	9-10	---	++			
3200005	FÅRUP SØ	10	19	---	++++	8	0	0
3400006	DONS NØRRESØ	9	15	----	+++			
3400010	SKÆRSØ	9	15-16	0	0			
3600005	SØGÅRD SØ, JYLLAND	9	22	----	++++	11	0	++
3700016	RYGBJERG SØ	10	9	0	0			
3700017	STEVNING DAM	9	13	----	+++			
3800005	JELS NEDERSØ	10	8-9	+	--			
3800006	JELS OVERSØ	9	13	--	++			
4100003	KETTINGNOR	11	11-13	0	++	8	0	0
4100008	VARNÆS SKOV SØ	11	8	0	0			
4100056	KRUSÅ MØLLESØ	9	8-9	-	++			
4200001	HOSTRUP SØ	9	12	0	0	9	0	0
4400002	FJELLERUP SØ	9	10	0	0			
4400005	HJULBY SØ	9	11	---	+			
4400009	VOMME SØ	10	11	0	+			
4500006	DALLUND SØ	9	15	-	+			
4500007	LANGESØ	10	18	0	++++	9	0	0
4500008	NØRRESØ, FYN	9	18	0	+++	8	0	0
4600005	SØBO SØ, FYN	10	18	0	+++			
4700008	HVIDKILDE SØ	9	19	0	++	9	0	0
4700011	OLLERUP SØ	9	13	---	++			
4800003	GURRE SØ	9	8	0	0			
5000001	BAGSVÆRD SØ	9	23	---	+++	12	0	++
5000025	BASTRUP SØ	10	18	-	++	8	0	0
5000026	LYNGBY SØ	9	10	0	0	9	0	0

5200005	ØSTRUP-GUNDSØMAGLE SØ	9	23	----	++++	12	--	++
5200013	SØNDER SØ	10	17	----	+++	8	0	++
5300018	DAMHUSSØEN	9	21	0	+	11	0	0
5300025	PEBLINGESØ	9	23	---	++++	15	--	++
5300027	SKT. JØRGENS SØ SYDBASSIN	10	19-21	--	+++	12-14	0	0
5300036	GENTOFTE SØ	9	8	0	0			
5300041	VALLENSBÆK SØ	9	8	-	0			
5500001	SKARRESØ	9	8-10	0	0			
5500002	TISSØ	10	24	-	++++	13	-	0
5700020	TYSTRUP SØ	10	21	0	+	10	--	0
5800001	BORUP SØ	9	19	----	++++	8	---	+++
5800004	KIMMERSLEV SØ	10	8	--	+++			
6000010	HULEMOSE SØ	9	8	0	0			
6100001	VIRKET SØ	10	10	-	0			
6100002	MØLLE SØ	10	8	0	0			
6200002	NAKSKOV INDREFJORD	11	8	0	0			
6400001	HEJREDE SØ	9	18	----	++++	8	0	0
6400003	RØGBØLLESØ	9	20	-	0			
6400004	MARIBO SØNDERSØ	9	22	----	++++	11	-	0
I alt +/+/+/+/++++				2	36		0	7
I alt -/-/-/-----				33	2		7	1



Figur 2.3. Andelen af KT-søer med mindst otte års data, hvor indholdet af totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl *a* samt sigtdybde statistisk set er reduceret, uændret eller øget (10 % signifikansniveau). Der er vist data, som omfatter henholdsvis perioden 1989-2019 (i alt 63 søer) og perioden 2000-2019 år (i alt 26 søer – for totalfosfor og -kvælstof kun 25 søer).

De ovenfor beskrevne resultater indikerer, som det også er vist tidligere for KU-søerne (se f.eks. Johansson m.fl. 2019), at de største ændringer i søernes tilstand er sket i løbet af 1990'erne. For at få et billede af ændringerne inden for de seneste 12 år er resultaterne i KT-søerne, samlet set, for den seneste seksårige periode (2014-2019) sammenlignet med den forrige seksårige periode (2008-2013). Langt størstedelen af KT-søerne er undersøgt for vandkemiske parametre og sigtdybde i begge perioder. Resultaterne ses i figur 2.4 og tabel 2.5.

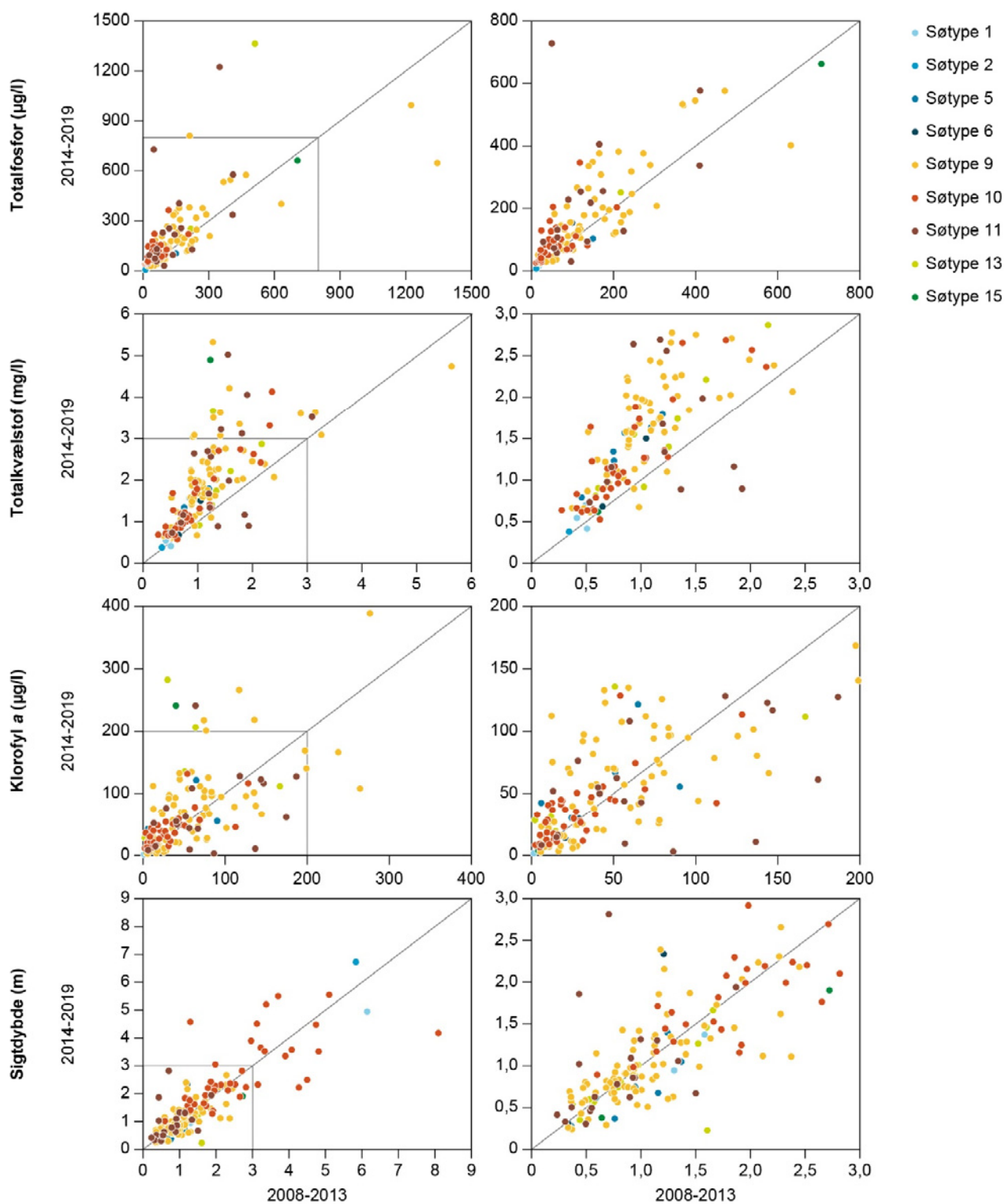
Ved sammenligning af sommergennemsnitsværdier af totalfosfor- og totalkvælstofkoncentrationerne i hver sø mellem de to perioder er der, totalt set, sket en markant stigning i koncentrationerne af begge næringsstoffer, specielt hvad angår kvælstof. I størstedelen af søerne ligger koncentrationerne højere i perioden 2014-2019 end i perioden 2008-2013. Forskellene er testet statistisk

ved en parret t-test, og resultaterne ses i tabel 2.5. Heraf fremgår det, at der for alle søerne under ét er sket en signifikant stigning for både totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl. For sigtddybde ses der ikke nogen signifikant ændring, hverken en reduktion eller en forøgelse. De relativt ensartede resultater for sigtddybden i de to perioder ses også i figur 2.4, hvor de fleste punkter fordeler sig omkring 1:1 linjen.

Hvis man opdeler søerne i søtyper, ses det, at forøgelsen i kvælstofkoncentrationen for både type 5, 9, 10, 11 og 13 er signifikant, tydeligst for typerne 5, 9 og 10, hvor p-værdien er $<0,001$. For fosforkoncentrationen er der signifikans for type 10 og type 11, dog ikke så tydeligt som for kvælstof, idet p-værdien er henholdsvis 0,023 og 0,047. Ændringen i klorofylkoncentrationen er ikke signifikant for nogen af søtyperne, når søerne deles op i disse.

Der kan være flere årsager til den generelle stigning i næringsstofkoncentrationerne siden 2008. Disse omfatter ændringer i udledningen af stofferne i søens opland, klimatiske ændringer, der påvirker næringsstoftilførslen, samt ændringer i vekselvirkningerne mellem søens fysisk-kemiske og biologiske forhold, hvor det er velkendt, at ændringer i de biologiske forhold kan have stor indvirkning på næringsstofkoncentrationerne. Det virker dog usandsynligt, at dette ville komme til udtryk i en generel tendens. Endelig skal de omtalte fejlanalyser (se begyndelsen af dette afsnit), som er konstateret i perioden 2007-2017, tages med i betragtningerne. En eventuel korrektion (se Larsen m.fl. 2020), som i de fleste tilfælde vil lede til en forøgelse af næringsstofkoncentrationerne, forventes dog ikke at kunne udligne hele forskellen.

Bedømt ud fra forskellen i klorofylkoncentrationerne mellem de to seksårige perioder ser det ikke ud til, at de stigende næringsstofkoncentrationer kommer til udtryk i tilsvarende ændringer i algerne biomasse. Dette bekræftes af sammenligning af fytoplanktons biovolumen for de to perioder (se afsnit 2.3.2), hvor der indgår data fra 87 søer.



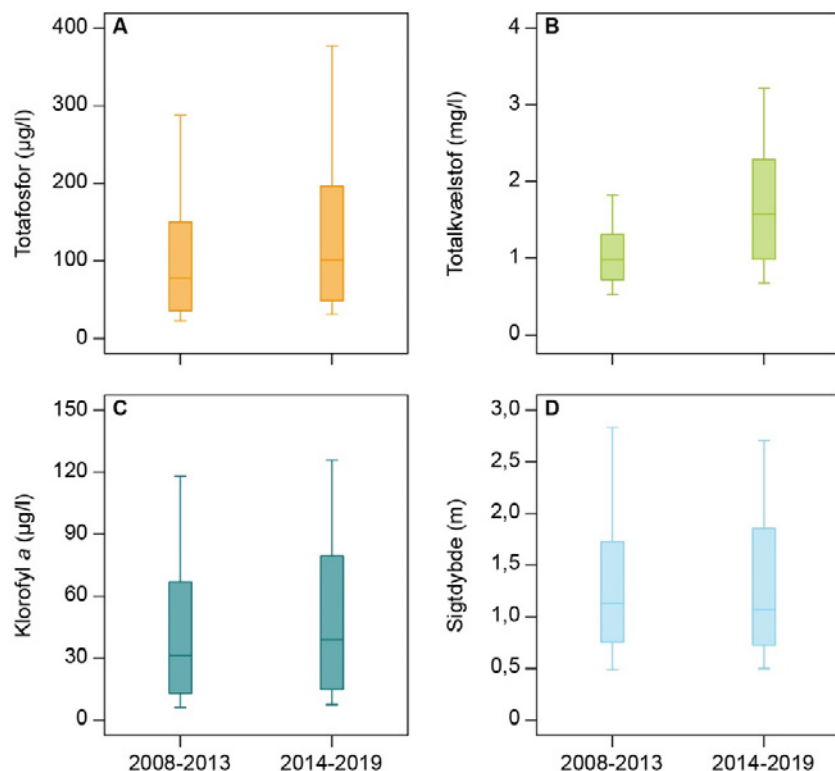
Figur 2.4 Sammenligning af sommergennemsnit af totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* samt sigtdybde fordelt på søtyper. Hvert punkt repræsenterer én sø. Hvis den enkelte sø er undersøgt mere end én gang i den samme periode, er den seneste måling anvendt. Til højre vises forstørrelse af de laveste værdier. Linjen angiver 1:1 værdier, dvs. punkter på denne linje viser status quo.

Tabel 2.5. Resultat af parret t-test (p-værdier) ved sammenligning af sommergennemsnit af kemiske nøglevariable og sigtddybde for de søer, der blev undersøgt i begge perioder: 2008-2013 og 2014-2019. Signifikante forskelle ($p < 0,05$) er angivet med gråt. (+) angiver, at værdien er øget fra 2008-2013 til 2014-2019, mens (-) angiver reduceret værdi. Antallet af søer kan variere på tværs af parametrene, f.eks. er data for totalfosfor og totalkvælstof fra 2016 ikke inkluderet – se tekst.

Søtype	Antal søer	Totalfosfor	Totalkvælstof	Klorofyl	Sigtddybde
1	3	0,64	0,46	0,90	0,19
2	1	-	-	-	-
5	7	0,190	<0,001 (+)	0,252	0,077
6	2	0,435	0,453	0,556	0,517
9	83	0,088	<0,001 (+)	0,088	0,900
10	41	0,023 (+)	<0,001 (+)	0,318	0,427
11	20	0,047 (+)	0,01 (+)	0,590	0,245
13	12	0,213	0,03 (+)	0,117	0,238
15	2	0,481	0,498	0,501	0,301
Alle søer	172	<0,001 (+)	<0,001 (+)	0,033 (+)	0,373

Sammenligningen af de kemiske parametre og sigtddybden mellem de to perioder kan også illustreres ved boxplots, som vist i figur 2.5. Som for de øvrige præsentationer i denne rapport er resultaterne baseret på sommergennemsnit i de enkelte søer. Både median, 10, 25, 75 og 90 %-fraktillerne for totalfosfor, totalkvælstof og klorofyl *a* er højere i perioden 2014-2019 end i perioden 2008-2013, men forskellen er tydeligst for totalkvælstof. For kvælstof er det værd at bemærke, at 75 %-fraktilen i perioden 2008-2013 er mindre end medianen i perioden 2014-2019. Det betyder, at mindst 75 % af søerne i 2008-2013 havde en lavere kvælstofkoncentration end højst 50 % af søerne i perioden 2014-2019. Der er ikke en tilsvarende forskel f.s.v. angår sigtddybden. Boxplottene tjener som et visuelt supplement til graferne i figur 2.4. og data har i denne sammenhæng ikke gennemgået en statistisk test.

Figur 2.5. Boxplots, der illustrerer forskellen i henholdsvis totalfosfor, totalkvælstof, klorofyl *a* og sigtddybde mellem de to seksårige perioder 2008-2013 og 2014-2019. Hver box med whiskers viser median, 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler.



2.3 Fytoplankton

I dette afsnit præsenteres data fra de fytoplanktonundersøgelser, der er foretaget i perioden 2004-2019 i de 180 KT-søer, som følges over en turnusperiode på seks år. Udviklingen i fytoplanktonsamfundet er vurderet ved at sammenligne data fra de søer, som er undersøgt i hver af de to seneste seksårs-perioder. Som for vandkemi er disse seksårs-perioder ”skæve” i forhold til de officielle programperioder, hvor den igangværende programperiode omfatter årene 2016-2021.

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

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

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

2.3.1 Fytoplankton, status

Samlet biovolumen og dominerende grupper

Mængden af fytoplankton opgøres oftest i enheden ”biovolumen”. Dette er begrundet i metoden for opgørelsen, hvor der ud fra en-flere målte dimensioner og en taxonspecifik volumenformel sammen med tætheden af det pågældende taxon beregnes et samlet biovolumen pr. vandvolumen, oftest mm³/l. En nærmere forklaring findes i Johansson og Søndergaard (2011). I tabel 2.6 er der givet en oversigt over det samlede biovolumen af alger og de enkelte algegrupperes biovolumen i de 180 KT-søer, der er undersøgt i perioden 2014 til 2019 (omfatter dog fire søer, som senest er undersøgt i 2013 og én i 2011). Som det ses, er der blandt de 180 søer meget store forskelle i det samlede biovolumen, hvor der er minimumsværdier ned til 0,07 mm³/l og

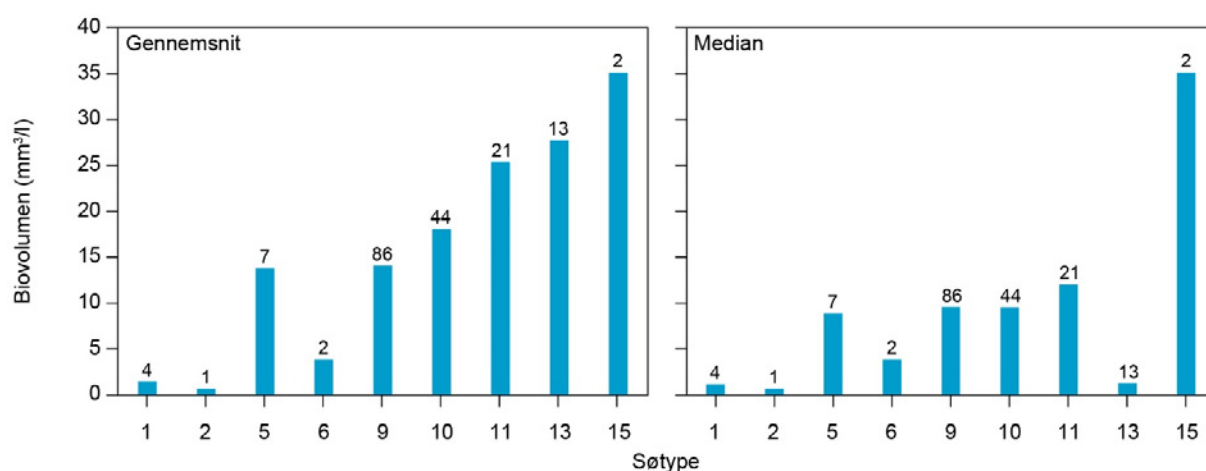
Tabel 2.6. Samlet sommergennemsnitlig biovolumen (mm^3/l) og de enkelte algegrupperes biovolumen i de 180 KT-søer, der er undersøgt i perioden 2014-2019. Den nederste række viser, hvor stor en gennemsnitlig procentuel del af det samlede biovolumen de enkelte grupper udgør

	Total-biovolume	Blågrøn-alger	Rekyl-alger	Fure-alger	Gul-alger	Kisel-alger	Øje-alger	Grøn-alger	Øvrige
N=180									
MIN	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0
MAX	305,58	301,82	6,20	106,30	5,26	164,31	5,76	39,89	17,78
GNS	17,13	8,82	0,44	1,71	0,13	4,15	0,08	1,34	0,46
MEDIAN	8,68	0,93	0,24	0,10	0,004	0,49	0	0,27	0,05
GNS (%)		51,48	2,55	9,99	0,74	24,25	0,46	7,82	2,71

maksimumsværdier op til $306 \text{ mm}^3/\text{l}$. Blandt grupperne er det især blågrøn-alger, der kan opnå et højt biovolumen, men også furealger og kiselalger kan opnå betydelige værdier. Medianværdierne er for nogle af grupperne meget lavere end gennemsnitsværdierne. Det antyder, at nogle (i nogle tilfælde kun få) søer med meget højt biovolumen, trækker gennemsnittet op.

Biovolumen og sammensætning i forskellige søtyper

Det sommergennemsnitlige biovolumen opgjort som gennemsnit og medianværdi af de enkelte 180 KT-søer, der er undersøgt i perioden 2014 til 2019 i de forskellige søtyper, er vist i figur 2.6. Som det fremgår, er der store forskelle både i gennemsnittet og medianværdier, hvor det laveste biovolumen ses i søtype 1 og søtype 2, der er de kalkfattige, ikke brunvandede, ferske og henholdsvis lavvandede og dybe søer. Værdierne for begge disse to søtyper baserer sig dog på meget få søer, og selv om de lave værdier stemmer godt overens med, hvad man ville forvente i disse næringsrigsfattige søtyper, må de tages med forbehold. De højeste biovolumener ses i søtype 15 (kalkrig, brunvandet, saltholdig, lavvandet), men også her indgår kun enkelte søer.

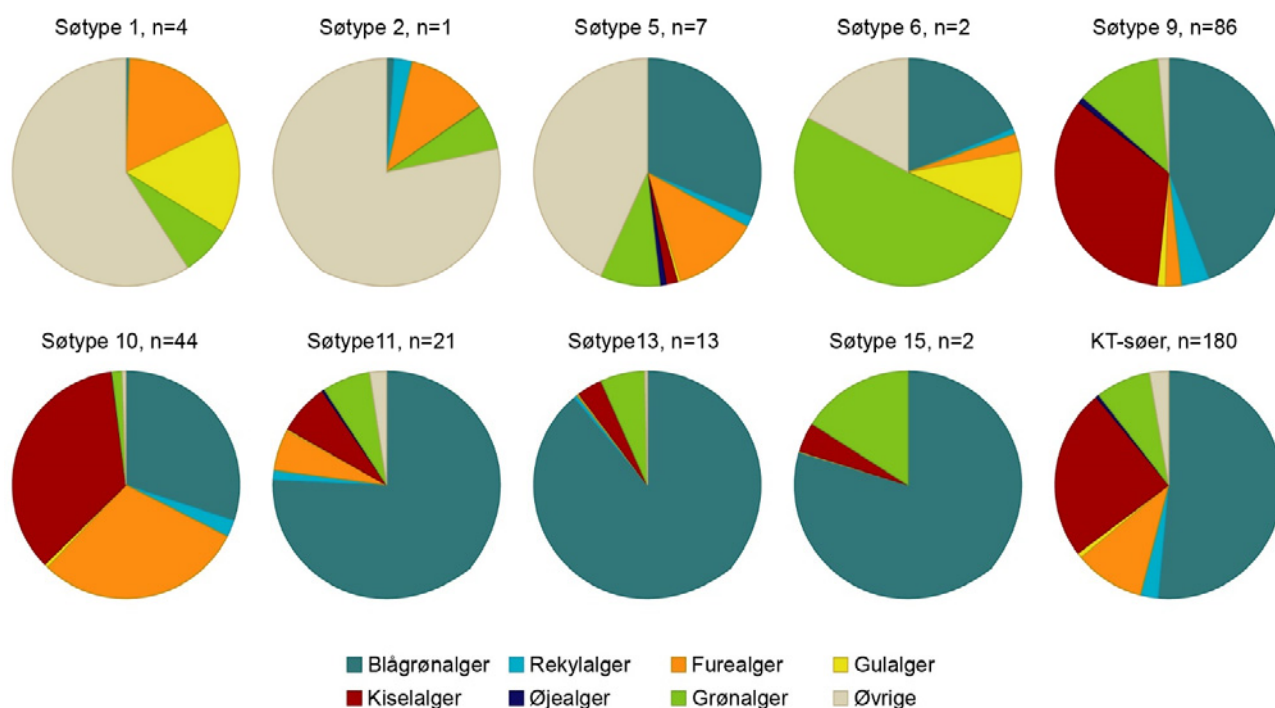


Figur 2.6. Det totale biovolumen (mm^3/l) af fytoplankton vist for søtyperne anvendt i forbindelse med vandrammedirektivets søtyper. Til venstre er det totale biovolumen vist som gennemsnit af de enkelte søers sommergennemsnit og til højre som medianværdi. Værdierne over søjlerne angiver antallet af søer, som indgår i beregningen.

For den gennemsnitlige værdi ses også et stort biovolumen for søtype 13 (se tabel 1.1 for søtyper), men ikke for medianværdien, hvilket tyder på, at nogle få søer med meget højt biovolumen trækker gennemsnittet op. Søtyperne 9, 10 og 11 har også gennemgående et højt biovolumen både som gennemsnit og medianværdi. Det er fra disse søtyper, at det største datamateriale stammer, og gennemsnits- og medianværdierne er derfor ikke så påvirkede af enkelte søer. I bilag 2 er der tabeller, som blandt andet viser minimum, gennemsnit, median og maksimum fra de enkelte søtyper.

Figur 2.7 viser sammensætningen af fytoplanktonet inddelt i algegrupper for KT-søerne samlet og for de enkelte søtyper i perioden 2014-2019. Også denne figur afspejler store forskelle mellem de forskellige søtyper. For søerne samlet (øverste lagkage, til venstre) domineres det sommergennemsnitlige biovolumen af blågrønalger, der udgør lidt over halvdelen af det samlede biovolumen, mens kiselalgerne udgør omkring 25 %. Den resterende del udgøres især af furealger og grønalger.

Ser man på de enkelte søtyper individuelt, ser billedet for sammensætningen i næsten alle tilfælde noget anderledes ud. Søtype 9 er den type, der ligner sammensætningen for søerne, samlet set, mest, men det er også fra denne type, de fleste data findes (86 ud af 180 søer), så det er ikke overraskende. De fire kalkfattige (lav-alkaline) søtyper (søtype 1, søtype 2, søtype 5 og søtype 6) er kendetegnet ved, at "øvrige" udgør en stor del af det samlede biovolumen. "Øvrige" udgøres især af alger fra klassen Raphidophyceae (slimalger), der blandt andet omfatter slægten *Gonyostomum*. Denne slægt kan optræde i store mængder, og for badende kan den give en fedtet fornemmelse på huden (se fx Rebild Kommunes hjemmeside). Fra Sverige er det rapporteret, hvordan slægten *Gonyostomum* har bredt sig i de senere år, hvilket blandt andet tillægges stigende temperaturer (Rengefors m.fl., 2020). I søtype 1 udgør gulalger, der også oftest ses i næringsfattige søer, en væsentlig del af det samlede biovolumen. I søtype 11, søtype 13 og 15 udgør blågrønalger langt hovedparten af biovolumen, ikke mindst i søtype 13, hvor de er totalt dominerende.



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

Dominerende arter/taxa

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

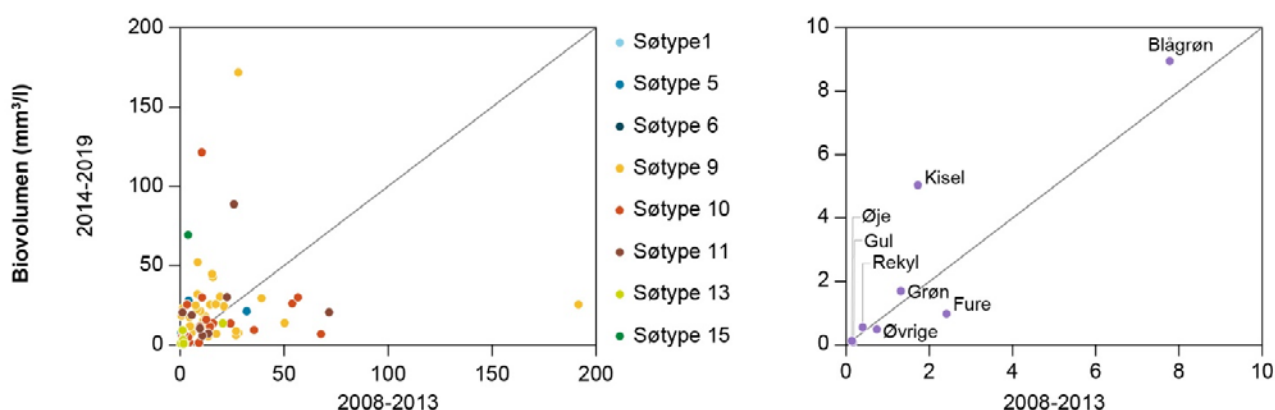
Tabellen giver også et indblik i, hvordan den taksonomiske detaljeringsgrad ved beregningen af biovolumen varierer meget, når man kommer ned under klasseniveau. Eksempelvis indberettes data fra to grupper af furealger: thekate (pansrede) og athekate (nøgne). I andre indberetninger anvendes en helt overordnet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

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

Algegruppe	Taxa/art	Søtype									Antal søer
		1	2	5	6	9	10	11	13	15	
Blågrønalger	Microcystis					x	x				43
	Chroococcales	x		x		x		x	x	x	78
	Aphanizomenon flos-aquae					x	x				25
	Dolichospermum flos-aquae						x		x		28
	Dolichospermum					x			x		30
Rekylalger	Cryptomonas	x	x	x	x	x	x	x	x	x	155
	Rhodomonas lacustris	x	x	x		x	x	x	x	x	141
	Cryptomonadales	x	x	x		x	x	x	x		61
	Cryptophyceae	x				x		x	x		23
	Rhodomonas lens						x	x			4
Furealger	Ceratium hirundinella		x			x	x		x		65
	Thekate furealger	x		x		x	x	x			46
	Ceratium furcoides						x				17
	Gymnodinium			x							9
	Athekate furealger	x		x		x		x	x		24
Gulalger	Ochromonas			x	x	x	x	x	x	x	35
	Chrysophyceae	x		x		x	x			x	12
	Uroglena					x		x			10
	Dinobryon cylindricum	x									1
	Chromulina	x		x	x			x	x	x	25
Kiselalger	Biddulphiales				x	x	x	x	x	x	82
	Asterionella formosa						x		x		64
	Fragilaria crotonensis						x			x	34
	Stephanodiscus/cyclotella	x		x		x		x	x		31
	Aulacoseira					x	x				19
Øjealger	Trachelomonas		x			x	x	x			13
	Euglena			x		x	x	x	x		28
	Colacium							x			1
	Trachelomonas volvocina					x					2
	Discoplastis spathirhyncha					x					2
Grønalger	Chlorococcales		x	x		x	x	x	x	x	71
	Scenedesmus					x		x	x	x	73
	Spirogyra					x					2
	Sphaerocystis/eutetramorus					x					15
	Oocystis			x							37
Øvrige	Gonyostomum semen	x	x	x	x		x		x		11
	Flagellat	x	x	x		x	x	x	x		71
	Plantae størrelsesopdelte	x		x		x	x	x	x		19
	Chrysochromulina parva					x	x	x			54
	Flagellat heterotrof					x					18

2.3.2 Fytoplankton – udviklingstendenser

Udviklingen i KT-søernes biovolumen og sammensætning af fytoplankton er vurderet på baggrund af data fra 87 søer, som blev undersøgt i begge de to perioder 2008-2013 og 2014-2019. Grunden til, at der ikke indgår det samme antal søer som ved de tilsvarende analyser for vandkemi er, at fytoplanktonanalyser som nævnt i kapitel 1 først blev inkluderet i kontrolovervågningen i 2011. Overordnet set er der tale om beskedne ændringer, hvor der på materialet som helhed både er søer, som ligger over og under 1:1 linjen, når de to perioder sammenlignes (figur 2.8). Der er en tendens til, at biovolumenet i søerne generelt ligger lidt højere i perioden 2014-2019, og i enkelte søer er der sket en markant ændring, men som helhed er der ikke nogen signifikant forskel (tabel 2.8). Hvis man ser på alle søerne under ét, er det kun blandt furealgerne, at der ses en signifikant ændring på 5 %-signifikansniveau, hvor biovolumenet er lavere i perioden 2014-2019 sammenlignet med perioden 2008-2013.



Figur 2.8. Udviklingen i fytoplanktonets biovolumen ved sammenligning af perioden 2008-2013 (x-akse) og perioden 2014-2019 (y-aksen) i de 87 KT-søer, som er undersøgt i begge perioder. Punkter tæt på 1:1-linjen viser ringe forskel mellem de to perioder.

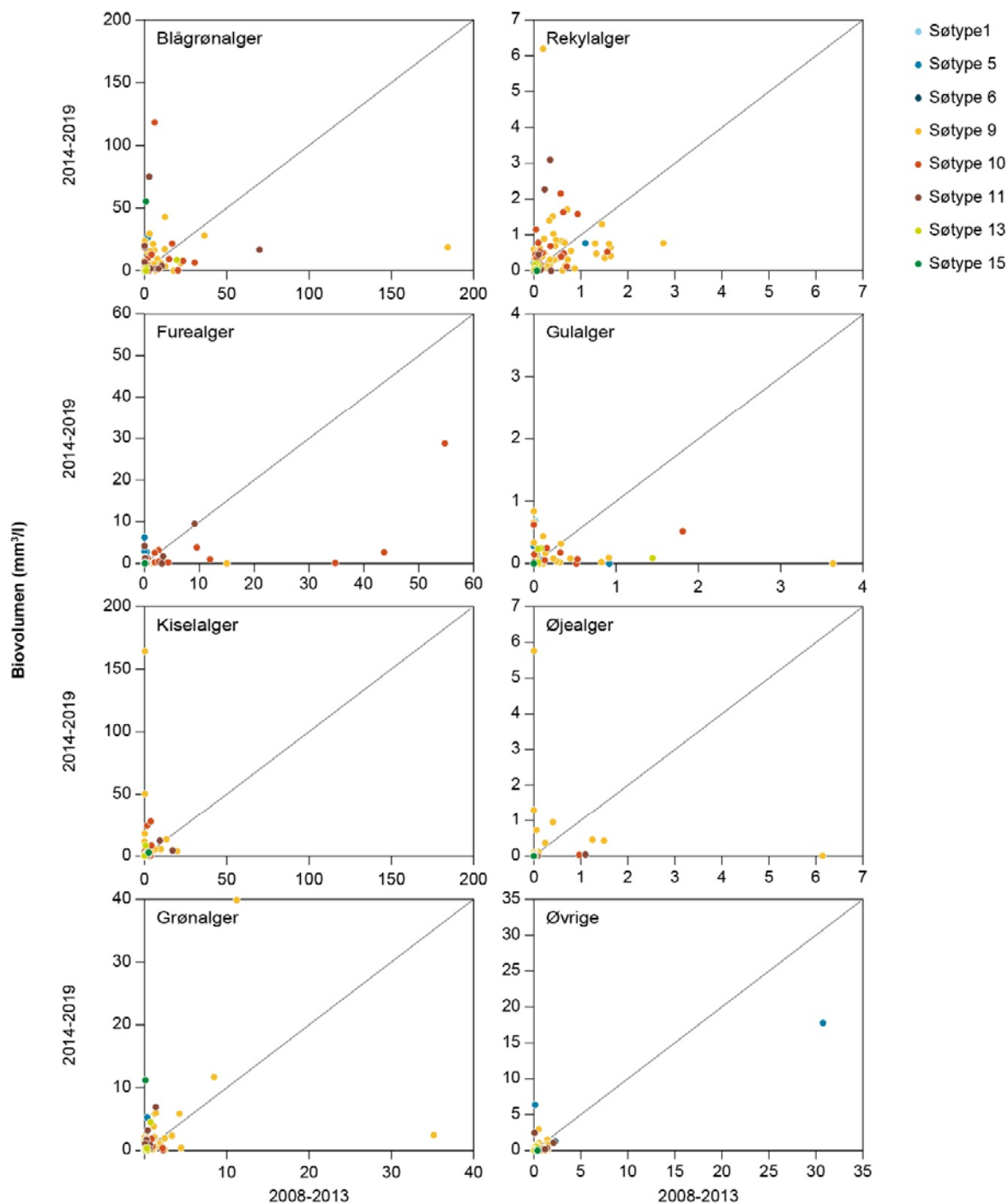
Venstre: Det sommergennemsnitlige totale biovolumen (mm^3/l) af fytoplankton for hver enkelt sø (søtyperne er vist med forskellige farver).

Højre: Det gennemsnitlige biovolumen på tværs af søer, fordelt på grupper.

Tabel 2.8. Resultat af parret t-test (p-værdier) ved sammenligning af fytoplanktonbiovolumen i mm^3/l (sommergennemsnit) for de 87 søer, som blev undersøgt i begge perioder 2008-2013 og 2014-2019. Vist for alle søer samlet samt for de enkelte grupper og opdelt i søtyper (svarende til figur 2.8). "-" angiver, at biovolumenet er reduceret fra den første til den sidste periode, mens "+" angiver en forøgelse.

Søtyper	Antal søer	Total biovolumen	Blågrøn-alger	Rekyl-alger	Fure-alger	Gul-alger	Kisel-alger	Øje-alger	Grøn-alger	Øvrige
Alle	87	0,35	0,68	0,12	0,05 (-)	0,14	0,11	0,88	0,48	0,17
1	2	0,61	0,50	0,40	0,24	0,50	0,49		0,16	0,48
5	5	0,29	0,37	0,67	0,12	0,58	0,32	0,32	0,47	0,69
6	1									
9	43	0,57	0,68	0,69	0,34	0,27	0,19	0,94	0,92	0,04 (-)
10	20	0,99	0,59	0,07	0,04 (-)	0,32	0,09	0,36	0,37	0,01 (-)
11	9	0,60	0,68	0,17	0,87		0,43	0,31	0,03 (+)	0,64
13	6	0,96	0,36	0,0706	0,78	0,50	0,31	0,29	0,38	0,89
15	1									

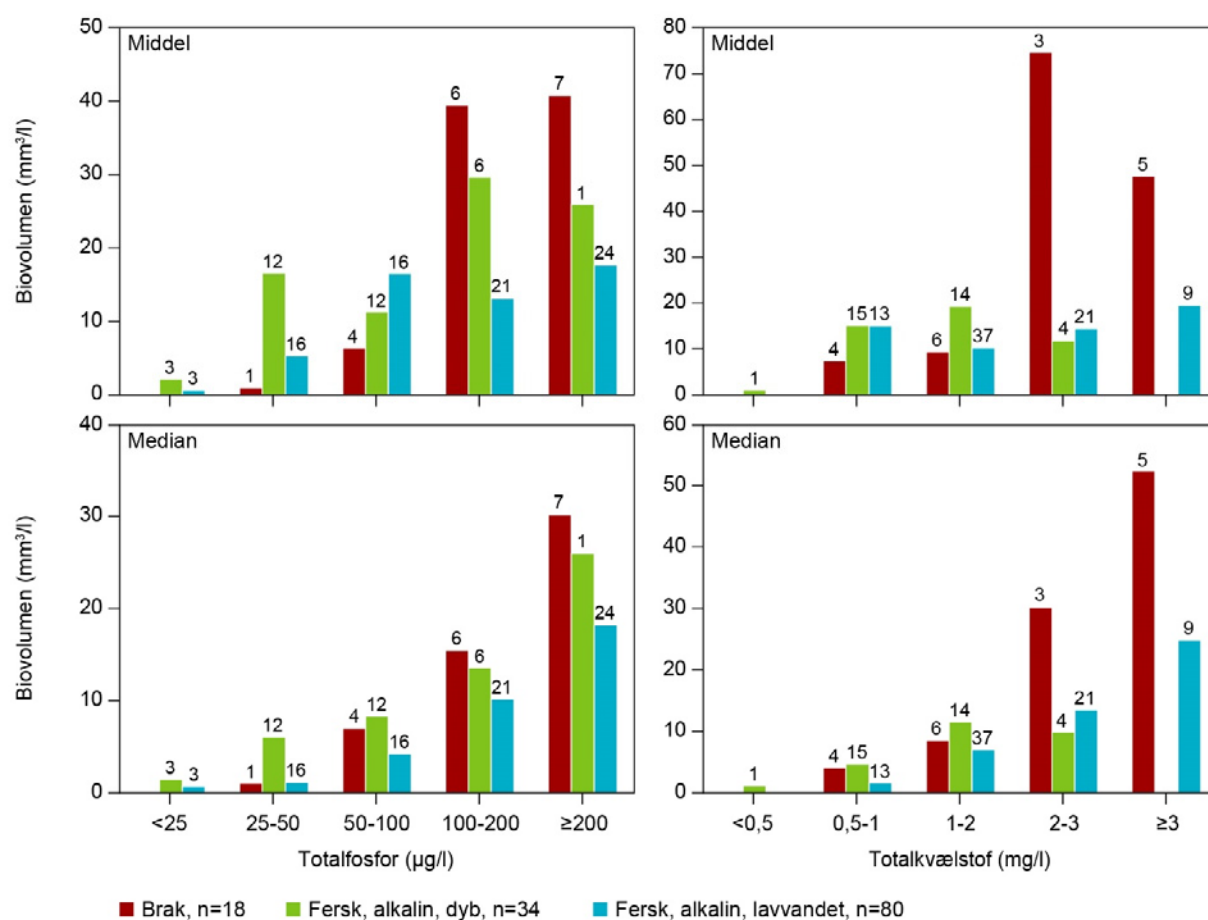
Sammenligning af de enkelte algegrupperes biovolumen i KT-søerne mellem de to perioder er vist i figur 2.9. Det generelle billede er også her, at der kun er tale om mindre ændringer, selv om der blandt nogle af søerne ses store forskelle mellem de to undersøgelsesperioder. Eksempelvis er der, blandt nogle af søerne med en stor andel af furealger, store reduktioner fra 2008-2013 til 2014-2019, mens der blandt nogle af rekylalgerne ses store forøgelser fra 2008-2013 til 2014-2019. Blandt blågrønalgerne er der både søer, hvor biovolumen er reduceret, og nogle, hvor biovolumen er øget markant fra den første til den anden periode. I flere af søerne, hvor gulalgerne har haft et biovolumen på omkring 1 mm³/l eller derover, er der sket en tilbagegang. I den statistiske test er der for enkelte søtyper statistiske forskelle for furealger, grønalger og ”øvrige” (tabel 2.8).



Figur 2.9 Ændringer i algegruppernes biovolumen (mm³/l) i de 87 KT-søer mellem de to undersøgelsesperioder (2008-2013 vist på x-akse og 2014-2019 på y-akse, så værdier over 1:1-linjen viser en forøgelse). De forskellige søtyper jf. vandrammedirektivets inddeling er vist med forskellige farver.

2.3.3 Fytoplankton – sammenstillinger

I dette afsnit er data vedr. fytoplanktonets biovolumen og sammensætning i KT-søerne sammenstillet med øvrige data fra søerne. For at koncentrere datamængden og dermed gøre det muligt bedre at vurdere ændringer langs eksempelvis en næringsstofgradient er søtyperne slået sammen til kun tre søtypegrupper: brakke, kalkrige, lavvandede, ikke-brunvandede og brunvandede søer (søtype 11 og 15), ferske, kalkrige, dybe, ikke-brunvandede søer (søtype 10) og ferske, kalkrige, lavvandede, ikke-brunvandede og brunvandede søer (søtype 9 og 13). De kalkfattige (lavalkaline) søer (type 1,2,5 og 6) er dermed udeladt i figur 2.10 og figur 2.11. Samlingen af flere søtyper under et kan være med til at mudre billedet noget, eksempelvis for gruppe 3, der indeholder både brunvandede og ikke brunvandede søer.



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

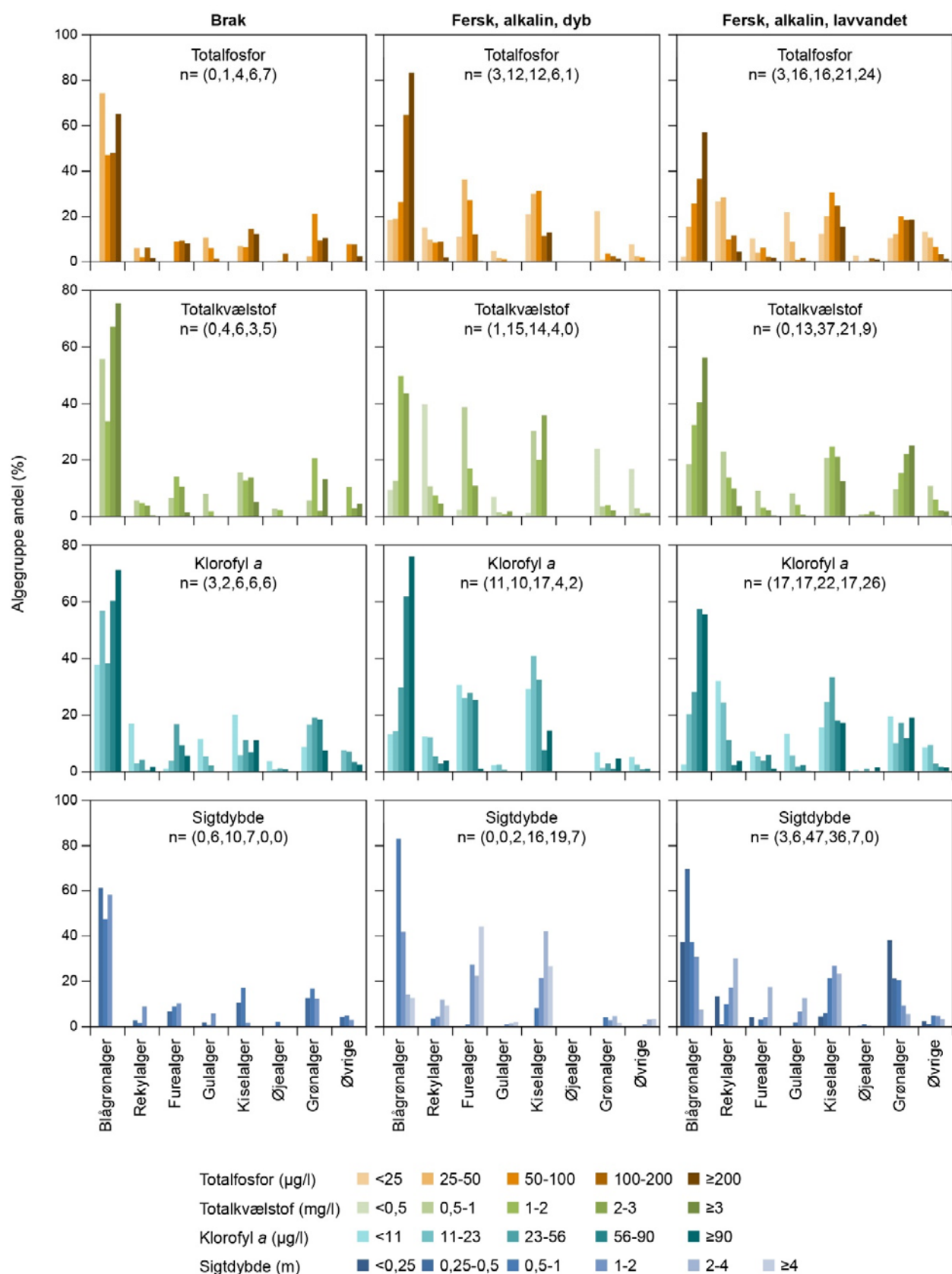
I figur 2.10 er vist, hvordan sommerbiovolumen som gennemsnit og medianværdier af fytoplankton ændres langs en næringsstofgradient (totalfosfor- og totalkvælstofkategorier) for de tre søtypegrupper. I forhold til det gennemsnitlige biovolumen kommer den forventede effekt af øget fosforindhold til udtryk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

for alle tre søtypegrupper. For medianværdierne er der også her effekter af øget kvælstofindhold i især brakvandstyper, men også i nogen grad i den ferske, kalkrige, lavvandede søtypegruppe.

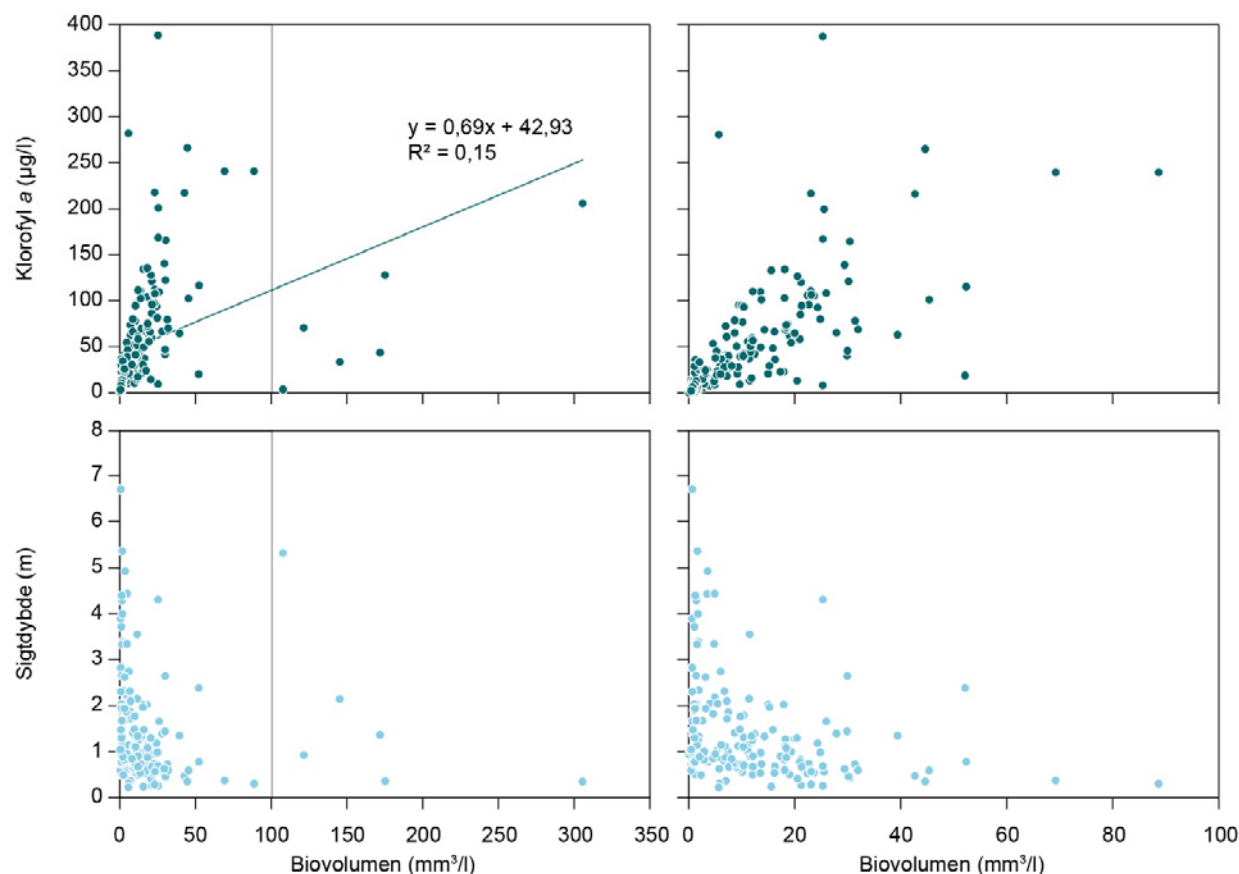
I figur 2.11 vises de enkelte algegrupperes andel af det samlede biovolumen langs gradienter i næringsstofindhold, klorofyl *a* og sigtddybde. Det overordnede billede er – som også vist tidligere – at blågrønalger udgør en stor andel af det samlede biovolumen. Dette gælder for alle tre søtypegrupper, men især de brakke typer, og ændringer i denne gruppes biovolumen ses både i forhold til indhold af næringsstoffer, klorofyl *a* og sigtddybde. Andelen af blågrønalger øges generelt ved øget indhold af både fosfor og kvælstof, men i brakvandsøerne udgør de en betydelig andel selv i de laveste kategorier af fosfor og kvælstof. Samme billede ses i forhold til gradienter af klorofyl *a* og sigtddybde (med omvendt fortegn). Blandt de andre algegrupper udgør især kiselalger en betydelig andel af det samlede biovolumen. Kiselalgernes andel reduceres med øget fosforindhold i de alkaline (kalkrige), ferske, dybe søer, men ikke i tilsvarende grad i de lavvandede søer. I forhold til en gradient af sigtddybde ses som forventet generelt det modsatte billede, eksempelvis mindsket andel af blågrønalger i de kalkrige, ferske, dybe søer ved øget sigtddybde.

Sammenhængen mellem det totale biovolumen og indhold af klorofyl *a* og sigtddybde for de 180 KT-søer ses i figur 2.12. Som forventet er der en lineær sammenhæng mellem udtryk for fytoplanktonets biovolumen og klorofyl *a*, men sammenhængen er ikke specielt stærk ($r^2=0,15$, se figuren). Dette kan tages som et udtryk for den usikkerhed, der er, både hvad angår klorofylindhold og beregning af biovolumen. Derudover kan klorofylindholdet i den enkelte celle variere på baggrund af forskelle i lys- og næringsstofforhold, hvilket ikke nødvendigvis kommer til udtryk i ændret biovolumen. Selve analysen af klorofylindhold og beregning af biovolumen indebærer også en række usikkerhedsfaktorer. I figuren ses flere ”outliers”, som blandt andet omfatter flere søer med et biovolumen på over 100 mm³/l. En forklaring kan være, at de fleste af disse biovolumener domineres af blågrønalger, hvor det kan være vanskeligt at opgøre biovolumen af især kolonidannende former, samt af mixo- eller heterotrofe taxa, især furealger, hvor biovolumenet formentlig let kan overestimeres i forhold til den aktive og fotosyntetiserende del af cellen.

Relationen mellem biovolumen og sigtddybde er ikke lineær, men nærmere eksponentiel. En høj sigtddybde kan kun opnås i søer med lav biovolumen af fytoplankton. Sigtdybden er sjældent over 2 m, hvis ikke fytoplanktonets biovolumen er under 10 mm³/l. Også i denne relation er der dog tale om store variationer, hvor der, ud over årsagerne nævnt ovenfor, også kan være tale om en betydelig lyssvækkelse (ringe sigtddybde) – ikke kun på grund af stor biovolumen af fytoplankton, men også ved stor grad af sedimentresuspension – eller, som i brunvandede søer, ved højt indhold af humusstoffer. Der kan også være tilfælde, hvor sigtdybden begrænses af søens maksimumsdybde (sigt til bund).



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



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

2.4 Vegetation, status

Kontrolovervågningen af undervandsplanter i perioden 2014-2019 omfattede i alt 180 søer. En oversigt over de fire undersøgte nøgleparametre i hver af de ni søtyper: det plantedækkede areal i procent af søbunden (relativt plantedækket areal - RPA), det plantefyldte volumen i procent af søens vandvolumen (relativt plantefyldt volumen - RPV), planternes maksimale dybdegrænse og antallet af arter er givet i tabel 2.9. 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 2.9. Oversigt over nøgleparametre vedr. undervandsplanter fra de 180 søer fordelt på ni søtyper (se tabel 1.1), som er undersøgt i perioden 2014-2019 (enkelte er undersøgt i 2013). For dybdegrænse indgår kun søer, hvor der fandtes undervandsplanter. Hvis der er data for flere år, indgår søen med de seneste resultater.

Søtype	Relativt plantedækket areal - RPA (%)					Relativt plantefyldt volumen - RPV (%)				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	n	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	45,7	44,6	24,6	68,9	4	5,5	5,3	0,5	10,8	4
2	68,9	68,9	68,9	68,9	1	2,3	2,3	2,3	2,3	1
5	15,5	10,2	0	37,2	7	4,9	4,9	0	12,2	7
6	1,4	1,4	1,4	1,5	2	0,1	0,1	0,04	0,1	2
9	24,3	16,8	0	88,0	86	11,7	5,0	0	60,2	86
10	9,1	5,7	0	75,3	44	0,9	0,3	0	7,9	44
11	16,9	9,9	0	54,5	21	7,6	2,7	0	33,2	21
13	22,8	14,6	0	75,7	13	9,4	5,6	0	40,5	13
15	24,7	24,7	19,5	29,8	2	16,3	16,3	5,1	27,4	2

Søtype	Dybdegrænse (m)					Antal arter				
	Gns.	Median	Min.	Maks.	n	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	2,8	2,3	1,0	5,5	4	9,8	10	7	12	4
2	7,5	7,5	7,5	7,5	1	11	11	11	11	1
5	1,2	1,2	0,4	1,8	6	11,3	9	0	25	7
6	1,6	1,6	0,6	2,5	2	3	3	3	3	2
9	1,8	1,6	0,3	4,2	78	10,3	9	0	39	86
10	4,3	3,6	0,8	21,5	41	10,5	10	0	28	44
11	1,5	1,4	0,5	2,7	19	7,1	5	0	37	21
13	1,2	1,2	0,7	2,4	12	18,6	23	0	31	13
15	1,3	1,3	1,0	1,7	2	16	16	4	28	2

Dybdegrænsen må generelt tolkes med forsigtighed, ikke mindst i de lavvandede søtyper, fordi planterne her eventuelt vil kunne vokse helt ud til søens maksimale dybde. Dermed vil dybdegrænsen begrænses af søens dybde. På samme måde kan man ikke forvente, at RPA eller RPV kan blive særlig højt i dybe søer sammenlignet med lavvandede søer, fordi planterne ikke nødvendigvis 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. Nogle søtyper – eksempelvis de brakke eller de kalkfattige søer – kan heller ikke forventes at være så artsrige, fordi færre arter er tilpasset forholdene i disse søtyper sammenlignet med ferske og kalkrige søer. Det betyder f.eks., at et lavt artsantal ikke nødvendigvis afspejler en dårlig miljøtilstand i søen. Hvis én søtype generelt omfatter flere mindre søer end en anden søtype, kan forskelle i artsantallet således også skyldes forskelle i størrelse.

Generelt varierer de fire målte parametre meget inden for de enkelte søtyper. Både RPA og RPV dækker eksempelvis en gradient i mange af typerne fra 0 (ingen undervandsplanter) og til over 50 %. Antallet af arter varierer mellem 0 og 39 arter. Ved beregning af de statistiske parametre for dybdegrænsen er der kun inddraget de søer, hvor der findes planter. I den mest almindelige dybe søtype (søtype 10) varierer dybdegrænsen mellem 0,8 m og 10 m (i en enkelt sø dog op til 21,5 m).

2.5 Fisk, status

Nøglevariable for fiskebestanden i KT-søerne for perioden 2014-2019 er vist i tabel 2.10. Antallet af fisk og biomassen var generelt lavere i de dybe, ferske, kalkrige søer (type 10) end i de tilsvarende lavvandede søer (type 9), henholdsvis. 28 og 42 % lavere for medianværdien af antal og biomasse. Andelen af både større rovfisk og af karpefisk ligger tæt på hinanden i de to søtyper; medianværdien for rovfisk udgjorde 32 % i type 9 og 30 % i type 10, mens karpefisk udgjorde henholdsvis 51 % og 49 % i de to søtyper. Individbiomassen af fiskene er mindre (opgjort som medianværdi) i type 10 end i type 9.

Tabel 2.10. Oversigt over nøgledata for fisk i 180 KT-søer fordelt på ni søtyper (se tabel 1.1), som er undersøgt i perioden 2014-2019 (enkelte søer er undersøgt i tidligere år). Maskestørrelserne 68 og 85 mm anvendes ikke længere i undersøgelserne, så en evt. fangst i disse er ikke medtaget. Rovfiskenes andel er beregnet som den procentvise andel af gedde+aborre+sandart >10 cm af totalbiomassen. Karpefiskenes andel er beregnet som den procentvise andel af skalle+rudskalle+brasen+hybrider af totalbiomassen. Data er volumenkorregerede i forhold til de enkelte dybdezone, i henhold til den tekniske anvisning (Johansson & Lauridsen 2011). For individbiomassen er fire søer ikke inkluderet, da disse søer var uden fisk. CPUE: Catch Per Unit Effort.

CPUE (antal/net)						CPUE (kg/net)				
Søtype	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	29	28	0	59	4	2,3	2,0	0,0	5,2	4
2	24	24	24	24	1	1,5	1,5	1,5	1,5	1
5	19	0,17	0	57	7	1,1	0,0	0,0	3,2	7
6	15	15	10	20	2	1,0	1,0	0,7	1,3	2
9	185	137	1	678	86	4,9	4,7	0,0	12,5	86
10	131	99	14	410	44	2,9	2,7	0,3	8,0	44
11	118	51	6	276	21	4,0	3,3	0,0	16,1	21
13	77	60	9	233	13	3,3	2,7	0,1	8,1	13
15	85	85	82	88	2	1,5	1,5	1,3	1,7	2
Rovfisk (vægt, %)						Karpefisk (vægt, %)				
Søtype	Gns.	Median	Min.	Maks.	N	Gns.	Median	Min.	Maks.	n
1	65	81	0	98	4	8	0	0	31	4
2	88	88	88	88	1	11	11	11	11	1
5	39	12	0	100	7	16	0	0	82	7
6	78	78	58	99	2	21	21	0	42	2
9	38	32	0	100	86	46	51	0	89	86
10	35	30	4	88	44	49	49	0	87	44
11	23	16	0	98	21	36	36	0	98	21
13	36	43	0	91	13	45	43	0	100	13
15	36	36	0	72	2	48	48	0	96	2
Gennemsnitlig individbiomasse (g/individ)										
Søtype	Gns.	Median	Min.	Maks.	N					
1	78	75	71	87	3					
2	63	63	63	63	1					
5	64	66	42	83	4					
6	71	71	67	75	2					
9	37	31	9	162	86					
10	28	23	10	69	44					
11	86	28	1	1029	21					
13	65	58	2	249	13					
15	18	18	15	20	2					

3 Fytoplankton i KU-søerne 2004-2018

I dette afsnit præsenteres resultaterne af fytoplanktonundersøgelserne i de 18 KU-søer undersøgt i perioden 2004 til 2018. Resultaterne er vist dels som en status for de seneste års målinger (2017-2018), dels som udviklingen over hele perioden siden 2004. Der er ikke anvendt data fra tidligere end 2004, fordi ældre data afventer en endelig kvalitetssikring, som foretages i forbindelse med den afsluttede migrering af fytoplanktondata fra andre databaser til fag-systemet STOQ. Data fra overvågningsprogrammets start i 1989 til 2003 vil efter planen blive afleveret i 2021.

3.1 Status

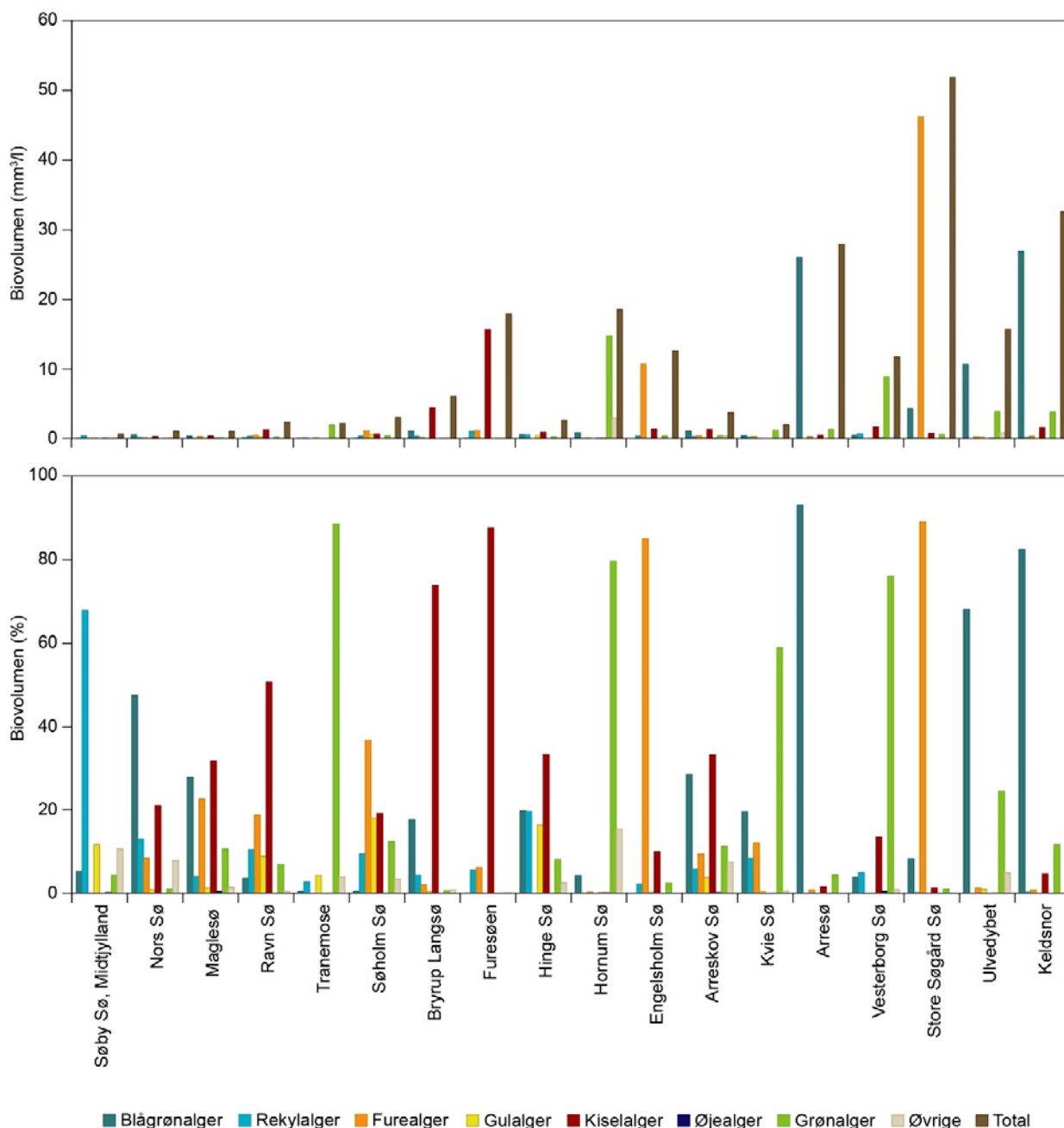
Det generelle billede på tværs af de 18 søer for de seneste undersøgelser foretaget i 2017-2018 ligner det fra KT-søerne. Således er der meget store variationer på tværs af de 18 søer, hvor det totale biovolumen varierer mellem 0,55 og 51 mm³/l, og hvor blågrønalgerne også i disse søer gennemsnitligt udgør den største andel af det samlede biovolumen (tabel 3.1). Dog udgør især furealger og til dels grønalger og kiselalger også betydelige dele. Betragtes medianværdierne, udgør kiselalgerne den største andel af det totale biovolumen, mens blågrønalger her kommer ind på "andenpladsen". Også i KU-søerne er medianværdierne både for det totale biovolumen og blandt de enkelte algegrupper væsentligt lavere end den gennemsnitlige værdi, hvilket peger på, at nogle enkelte søer med høje biovolumener trækker gennemsnittet op.

Tabel 3.1. Samlet sommergennemsnitligt biovolumen (mm³/l) og de enkelte algegruppers biovolumen i de 18 KU-søer undersøgt i perioden 2017-2018. I den nederste række er den procentuelle andel af de enkelte algegrupper vist.

	Total biovolumen	Blågrøn- alger	Rekyl- alger	Fure- alger	Gul- alger	Kisel- alger	Øje- alger	Grøn- alger	Øvrige
N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
MIN	0,55	0	0	0	0	0	0	0,01	0
MAX	51,84	26,91	1,02	46,21	0,53	15,73	0,06	14,80	2,86
GNS	11,85	4,06	0,24	3,41	0,10	1,67	0,01	2,11	0,25
MEDIAN	4,83	0,47	0,19	0,22	0,02	0,63	0	0,39	0,05
GNS (%)		34,29	2,06	28,78	0,81	14,11	0,05	17,77	2,13

Forskellen blandt de 18 søer illustreres også i figur 3.1, der viser biovolumen og de enkelte algegruppers andel for de enkelte søer i 2017-2018. Det mindste biovolumen ses, som forventet, i de mest næringsfattige søer som Søby Sø, Nors Sø og Maglesø, mens de højeste volumener ses i de mest næringsrige søer som Arresø, St. Søgård Sø og Keldsnor.

Andelen af de forskellige algegrupper varierer meget på tværs af søerne. I mange af især de næringsrige søer er der dominans af blågrønalger samt eventuelt furealger eller grønalger. I de mere næringsfattige søer er algesammensætningen generelt noget mere forskelligartet med indslag flere grupper end i de mere næringsrige søer og der er en mere ligelig fordeling blandt disse.



Figur 3.1 Gennemsnitligt sommerbiovolumen af de forskellige algeklasser i de 18 KU-søer målt i perioden 2017-2018. Øverst det totale biovolumen, nederst den procentvise andel af det totale biovolumen for de enkelte algegrupper. Søerne er rubriceret (i læseretningen) efter stigende indhold af totalfosfor (sommergenomsnit) ved seneste måling.

3.2 Udvikling

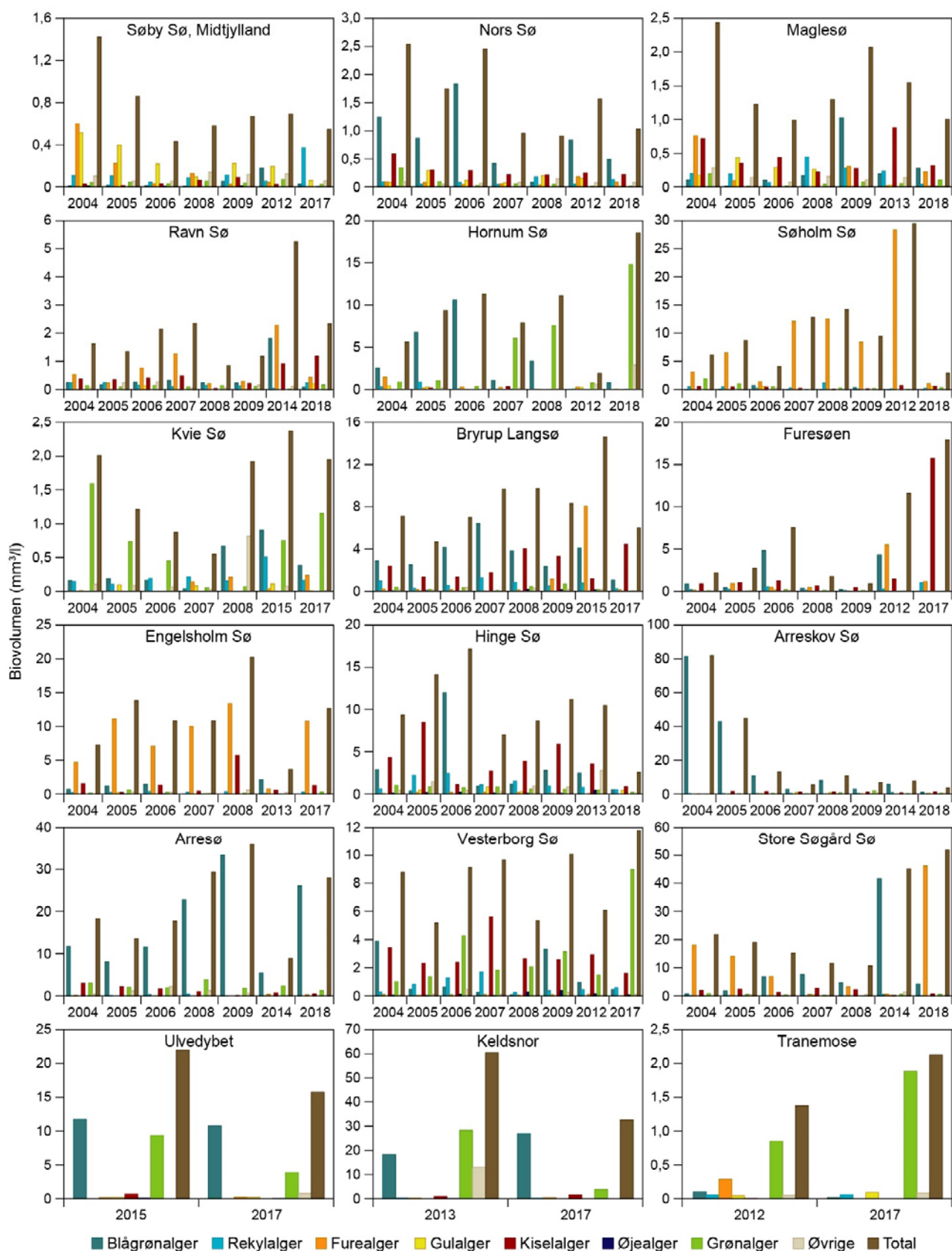
Udviklingen i de 18 KU-søers total biovolumen fra 2004 til 2018 er vist i figur 3.2. Generelt varierer det totale biovolumen en del fra år til år i de enkelte søer. Dette gælder eksempelvis Søholm Sø, hvor der i 2012 var et biovolumen tæt på 30 mm³/l, mens det i 2018 kun var omkring 3 mm³/l. Den store afstand imellem især de to sidste prøvetagningsår gør det dog vanskeligt at sige, om der kun er tale om naturlige variationer fra år til år, eller om der reelt er sket en udvikling. Samme billede, men i modsat retning ses i Hornum Sø, hvor der i 2012 var et biovolumen på omkring 2 mm³/l, mens det ved næste måling i 2018 var over 18 mm³/l.

Et andet eksempel på vanskeligheden ved at vurdere ændringer er Furesøen, hvor der efter to år med meget lave biovolumener i 2008 og 2009 var et meget højere biovolumen i både 2012 og 2017. Selv om de seneste to års målinger viser forøget biovolumen, er det vanskeligt med den store afstand mellem målingerne at vurdere, om der er sket en udvikling ud over en naturlig år-til-år variation. Store år-til-år variationer kan også skyldes tilfældigheder i forhold til, om kortvarige opblomstringer fanges i de månedlige prøvetagninger eller ej. I andre søer understøttes en ændring af flere års målinger som eksempelvis i Arreskov Sø, hvor fytoplanktonbiovolumet er reduceret betydeligt siden 2004. I St. Søgård Sø er der en markant stigning i de seneste to målinger i 2014 og 2018 i forhold til tidligere, men denne stigning er ikke signifikant (se nedenfor) set over hele perioden.

Fytoplanktonsammensætningen i de 18 KU-søer varierer meget over årene, hvor der er en tendens til – som beskrevet ovenfor – at søerne med det største biovolumen har den mest ensartede sammensætning af algegrupper, som typisk består af blågrønalger. I nogle søer kan der ses ændringer som eksempelvis i Søby Sø, hvor andelen af gulalger synes nedadgående. Antallet af måleår er dog endnu for lille til, at den ændring kan testes statistisk. Generelt er der kun tale om statistisk signifikante ændringer blandt få algegrupper for søerne som helhed (tabel 3.2). Den mest signifikante ændring er et reduceret biovolumen af grønalger i Hinge Sø (1 % signifikansniveau). Den eneste sø, hvor der er signifikante ændringer i det totale biovolumen er Arreskov Sø, hvor der er sket en reduktion på 5 % signifikansniveau i perioden 2004-2018. Denne udvikling afspejles også i et reduceret biovolumen af blågrønalger.

Tabel 3.2. Udviklingen (sommergennemsnit) i søernes total biovolumen og biovolumen for algegrupperne i perioden 2004-2018 i de KU-søer, som er undersøgt mindst otte gange (år) i perioden. -/+, --/++, ---/+++, ----/++++ svarer til en reduktion/forøgelse på henholdsvis 10, 5, 1 og 0,1 % signifikansniveau. Hvis der ikke er angivet noget, har der ikke været nogen signifikant ændring i den undersøgte periode..

Sønavn	Blågrøn- alger	Rekyl- alger	Fure- alger	Gul- alger	Kisel- alger	Øje- alger	Grøn- alger	Øvrige	Total biovolumen
HINGE SØ							- - -		
RAVNSØ									
BRYRUP LANGSØ									
ARRESKOV SØ	- -						+	++	- -
SØHOLM SØ									
VESTERBORG SØ			-						



Figur 3.2 Udviklingen i fytoplanktonets totale sommergennemsnitlige biovolumen og i de enkelte algegrupperes biovolumen i de 18 KU-søer vist for perioden 2004-2018. Søerne er rubriceret (i læseretningen) efter stigende indhold af totalfosfor (sommergennemsnit) ved seneste måling. Ulvedybet, Keldsnor og Tranemose har ikke været inkluderet i KU-søerne i hele perioden. Bemærk meget forskellig skala på y-akser.

4 Miljøfarlige forurenende stoffer i kontrol- overvågningen 2017-2019

I perioden 2017-2019 er der indsamlet sedimentprøver fra 54 i kontrolovervågningen, herunder 18 KU-søer til analyse af op til 54 miljøfarlige forurenende stoffer (MFS). En total liste over stofferne og en beskrivelse af undersøgelsesfrekvens m.m. findes i Miljøstyrelsen (2017). Søerne til analyse af MFS i sedimentet er udvalgt blandt de søer, som er omfattet af kontrolovervågningen, og repræsenterer forskellige typer af søer mht. dybde, oplandstype, opholdstid, næringsindhold og areal i forhold til oplandsarealet. Prøverne er udtaget på det dybeste sted i søerne og består af overfladesediment, dvs. de to øverste cm af sedimentet på prøvetagningsstedet.

Det skal understreges, at præsentationen af MFS i denne rapport ikke omfatter alle søer i programmet, og resultaterne kan derfor ikke siges at være repræsentative for Danmark. En fuldstændig status over hele den indeværende overvågningsperiode (2016-2021) er planlagt til at blive afrapporteret i 2022.

Stofferne er fordelt i seks grupper: metaller, aromatiske kulbrinter, phenoler, polyaromatiske hydrocarboner (PAH), blødgørere og organotinforbindelser.

I det følgende gives en overordnet beskrivelse af indholdet af hvert af stofferne i de undersøgte søer. Resultater for perioden vil tillige blive præsenteret i en kommende statusrapport over MFS i vand- og luftmiljøet, der forventes at udkomme primo 2021. Heri vil der kunne læses mere udførligt om de enkelte stofgrupper og om stoffernes forekomst i andre dele af miljøet. Derudover kan der henvises til den tidligere statusrapport, der udkom i 2015 (Boutrup m.fl. 2015).

Fund under detektionsgrænsen

Data er præsenteret med middelværdi, median samt 10 %- og 90 %-fraktiler. I tilfælde af at et stof er fundet i koncentrationer, der er lavere end detektionsgrænsen, er der anvendt 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 af det enkelte stof er beregnet som den procentvise andel af de søer (oftest 54), som er undersøgt for det pågældende stof, og hvor stoffet er fundet i koncentrationer højere end detektionsgrænsen.

Miljøkvalitetskrav

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

4.1 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 vandmiljøet i koncentrationer, der er højere end baggrundsniveauer, og i koncentrationer, hvor de kan udgøre en miljømæssig risiko. De koncentrationer, der måles ved overvågningen, er summen af de naturlige baggrundskoncentrationer og de koncentrationer, der er tilført ved menneskelige aktiviteter (Boutrup m.fl. 2015).

Alle metaller er fundet i koncentrationer, der ligger over detektionsgrænsen, og der er generelt en stor spredning på koncentrationerne (faktor 6-417 mellem minimums- og maksimumsværdier, tabel 4.1). Aluminium forekommer med de højeste koncentrationer (median=6300 mg/kg tørstof), efterfulgt af zink (median=110 mg/kg tørstof). Arsen, chrom, nikkel, vanadium, kobber og bly forekommer med mediankoncentrationer på 7,4-24 mg/kg tørstof, mens cadmium og kviksølv er målt i de laveste koncentrationer, 0,84 og 0,07 mg/kg tørstof.

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

Der er fundet blyindhold højere end MKK i enkelte af de undersøgte søer, mens der i mere end halvdelen af de undersøgte søer er fundet vanadium, der er højere end MKK. Det er, som anført ovenfor, ikke muligt at vurdere, om cadmiumkoncentrationerne i de undersøgte søer er højere end MKK.

Tabel 4.1. Forekomst af metaller i sediment fra 54 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2017-2019. Kviksølv er kun målt i 26 søer. DG=detektionsgrænsen. TS=tørstof.

Enhed: mg/kg TS	Middel	Median	10 %- fraktil	90 %- fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	% fund >DG	DG
Aluminium	8951	6300	2400	18000	740	37000	54	100	10
Arsen	13	7,4	2,2	32	0,24	100	54	100	0,2
Bly	39	24	7,6	85	1,2	200	54	100	0,1
Cadmium	1,1	0,84	0,23	2,2	0,023	5	54	100	0,01
Chrom	14	11	4,7	26	0,94	47	54	100	0,1
Kobber	24	21	8,1	44	0,94	90	54	100	0,2
Kviksølv	0,070	0,074	0,025	0,13	0,025	0,14	26	62	0,05
Nikkel	20	15	4,1	35	1,5	120	54	100	0,1
Vanadium	24	18	9,8	49	1,5	100	54	100	0,3
Zink	138	110	37	270	5,3	530	54	100	1

4.2 Aromatiske kulbrinter

Fra gruppen af aromatiske kulbrinter omfatter overvågningen i søer 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-kemiske egenskaber betyder, at de primært tilføres miljøet via luften og spildevand. (Boutrup m.fl. 2015).

De undersøgte aromatiske kulbrinter er i perioden 2017-2019 fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen i de fleste af de undersøgte søer. Variationen af koncentrationen af de enkelte stoffer er stor, idet minimums- og maksimumsværdierne varierer med op til en faktor større end 500 (dimethylnaphthalener). Dimethylnaphthalener er også den gruppe, som forekommer i de højeste koncentrationer (median=545 µg/kg tørstof), mens de øvrige stoffer forekommer med mediankoncentrationer på 3,4-26 µg/kg tørstof (tabel 4.2).

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

$$0,478 \text{ mg/kg tørstof} * \text{andelen af organisk kulstof}.$$

Andelen af organisk kulstof er her defineret ved procentandelen af totalt organisk kulstof (TOC) af tørstoffet i de enkelte prøver. TOC varierer mellem 0,8 og 25 % og miljøkvalitetskravet svarer således til 0,0038-0,12 mg/kg tørstof. I sammenligning med data i tabel 4.2 svarer dette til 3,8-120 µg/kg tørstof, der som nævnt skal sættes i forhold til summen af alle methylnaphthalener.

For naphthalen er miljøkvalitetskravet 0,138 mg/kg (138 µg/kg) tørstof.

Koncentrationen af naphthalen er højere end MKK i enkelte af de undersøgte søer, mens koncentrationen af methylnaphthalener er højere end MKK i mere end halvdelen af de undersøgte søer.

Tabel 4.2. Forekomst af aromatiske kulbrinter i sediment fra 54 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2017-2019.
DG=detektionsgrænsen. TS=tørstof.

Enhed: µg/kg TS	Middel	Median	10 %- fraktil	90 %- fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	% fund > DG	DG
1-Methylnaphthalen	4,2	3,4	0,70	6,1	0,25	46	54	69	0,5-20
2-Methylnaphthalen	8,8	6,2	0,50	16	0,5	100	54	74	1-20
Dimethylnaphthalener	725	545	48	1800	6	3200	54	100	3
Trimethylnaphthalener	44	26	2,5	120	0,5	230	54	78	1-40
Naphthalen	30	20	6,7	55	1,3	240	54	100	0,8

4.3 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 de undersøgte phenoler er det kun 4-nonylphenol og nonylphenol-monoethoxylater (NP1EO), der i 2-3 søer, svarende til 4-8 % af de undersøgte søer, er fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen (tabel 4.3).

Der er fastsat miljøkvalitetskrav for nonylphenol: 25 mg/kg tørstof *fraktionen af organisk kulstof og octylphenol: 39,3 mg/kg tørstof *fraktionen af organisk kulstof. Som beskrevet i afsnit 4.3 anvendes TOC som mål for fraktionen af organisk kulstof, hvorved dette svarer til miljøkvalitetskrav på henholdsvis 0,2-6,25 og 0,31-9,8 mg/kg tørstof (200-6250 / 310-9800 µg/kg tørstof).

Der er ikke fundet alkylphenoler i koncentrationer, der er højere end MKK, i nogen af de undersøgte søer.

Tabel 4.3. Forekomst af phenoler i sediment fra 20-54 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2017-2019. OBS! 4-n-octylphenol, nonylphenol-diethoxylater, nonylphenol-monoethoxylater og octylphenol er ikke undersøgt i alle 54 søer. DG=detektionsgrænsen. TS=tørstof.

Enhed: µg/kg TS	Middel	Median	10 %- fraktil	90 %- fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	% fund >DG	DG
4-Nonylphenol	0,43	0	0	0	0	22	54	4	0,5-20
4-tert-octylphenol	0	0	0	0	0	0	54	0	0,5-30
4-n-octylphenol	0	0	0	0	0	0	34	0	10
Nonylphenol-diethoxylater (NP2EO)	0	0	0	0	0	0	39	0	10-400
Nonylphenoler	0	0	0	0	0	0	54	0	100-150
Nonylphenol-monoethoxylater (NP1EO)	2	0	0	0	0	40	39	8	10
Octylphenol	0	0	0	0	0	0	20	0	10

4.4 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 (Boutrup m.fl. 2015).

De fleste PAH er fundet over detektionsgrænsen i størstedelen af de undersøgte søer. Undtagelserne er 2-methylpyren og dimethylphenanthren, som findes i hhv. 33 og 22 % af søerne (tabel 4.4). Som for de øvrige stofgrupper ses også her en stor spredning mellem søerne; forholdet mellem minimums- og maksimumsværdierne i perioden 2017-2019 er for de fleste stoffer over 200 og for et enkelt stof benz[a]pyren helt oppe på 1600.

De højeste mediankoncentrationer i perioden 2017-2019 findes for benz(ghi)perylen, flouranthen og benzfluranthen b+j+k (80-140 µg/kg tørstof). De laveste medianværdier ligger under 10 µg/kg tørstof (dimethylphenanthren, 2-methylpyren, acenaphthen, 1-methylpyren, dibenzothiophen og 2-methylphenanthren, tabel 4.4).

Tabel 4.4. Forekomst af polyaromatiske kulbrinter (PAH) i sediment fra 54 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2017-2019. DG=detektionsgrænsen. TS=tørstof.

Enhed: µg/kg TS	Middel	Median	10 %- fraktil	90 %- fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	% fund >DG	DG
1-Methylpyren	8,4	5,5	1	16	0,25	57	54	80	0,5-30
2-Methylphenanthren	12	6,6	1	21	0,25	100	54	65	0,5-200
2-Methylpyren	11	5,0	5	21	5	100	54	33	10-20
Acenaphthen	11	5,4	0,25	28	0,25	54	54	65	0,5-10
Acenaphthylen	19	12	1,5	34	0,25	120	54	91	0,5-20
Antracen	21	13	3,9	39	0,25	140	54	91	0,5-20
Benz(a)anthracen	79	53	6,4	180	0,75	510	54	96	1,5
Benz(a)fluoren	26	16	2,4	56	0,25	190	54	96	0,5-10
Benz(ghi)perylene	140	80	15	290	1	940	54	100	1
Benz[a]pyren	95	56	6,2	170	0,5	800	54	93	1-60
Benzfluranthen b+j+k	268	140	22	600	2,5	1900	54	100	1,5
Benzo(e)pyren	96	52	7,7	200	1	690	54	96	1-20
Crysen/triphenylen	116	76	17	200	2,1	790	54	98	1-50
Dibenz(ah)anthracen	32	19	3,5	66	0,5	200	54	94	1
Dibenzothiophen	13	6,1	1,3	43	0,5	72	54	83	1-20
Dimethylphenanthren	2,4	1,0	0,5	5,4	0,5	12	54	22	1-20
Fluoranthren	180	94	27	330	1,5	1400	54	98	3
Fluoren	19	14	3,8	36	0,25	120	54	94	0,5-20
Indeno(1,2,3-cd)pyren	125	73	13	270	1	800	54	96	2
Perylen	192	73	10	440	1,8	1700	54	98	1-20
Phenanthren	70	46	14	120	1,4	560	54	100	0,6
Pyren	139	78	16	280	1,5	1000	54	98	3

4.5 Blødgørere

Blødgørerne omfatter stoffer fra gruppen af phthalater og en enkelt adipat, der anvendes som blødgørere i plastik, gummi, maling m.m. Blødgørerne har været medvirkende til, at 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 af-dampning til atmosfæren, hvorfra det udvaskes (Boutrup m.fl. 2015).

Tre af de undersøgte blødgørere (benzylbutylphthalat, di(2-ethylhexyl)adipat og dibutylphthalat) er fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen i få søer, svarende til 2-4 % af søerne. DEHP og diisononylphthalat er fundet i henholdsvis 61 % og 30% af de undersøgte søer i koncentrationer på henholdsvis 5-710 og 10-760 µg / kg tørstof (tabel 4.5).

Tabel 4.5. Forekomst af blødgørere i sediment fra 54 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2017-2019. DG=detektionsgrænsen TS=tørstof.

Enhed: µg/kg TS	Middel	Median	10 %- fraktil	90 %- Fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	% fund >DG	DG
Benzylbutylphthalat	0,37	0	0	0	0	20	54	2	10-50
DEHP	88	50	5	200	5	710	54	61	10-150
Di(2-ethylhexyl)adipat	0,74	0	0	0	0	40	54	2	10-30
Dibutylphthalat	0,37	0	0	0	0	10	54	4	10-30
Diisononylphthalat	82	10	10	250	10	760	54	30	20-200

4.6 Organotinforbindelser

Tidligere var de mest udbredte anvendelser af organotinforbindelserne 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).

Organotinforbindelserne er fundet over detektionsgrænsen i 8-82 % af de undersøgte søer i (tabel 4.6). Monobutyltin, som er fundet hyppigt, er fundet i de højeste koncentrationer (0,5-150 µg/kg tørstof, median=7,9). Det næsthyppest forekommende stof inden for denne gruppe er dibutyltin, som er fundet i 23 % af de undersøgte søer med en medianværdi på 1 µg/kg tørstof. Triphenyltin og tributyltin er fundet i 8-10 % af søerne i lave koncentrationer; maksimumkoncentrationen er for begge stoffer på niveau med detektionsgrænserne.

Tabel 4.6. Forekomst af organotinforbindelser i sediment fra 39 søer indeholdt i kontrolovervågningen i perioden 2017-2019.

DG=detektionsgrænsen TS=tørstof.

Enhed: µg/kg TS	Middel	Median	10 %- fraktil	90 %- fraktil	Min.	Maks.	Antal stationer	% fund >DG	DG
Dibutyltin	2	1	0,5	5	0,15	7,9	39	23	0,3-10
Monobutyltin	25	7,9	1,2	92	0,5	150	39	82	1-15
Tributyltin (TBT)	0,3	0	0	1,2	0	5	39	10	1-10
Triphenyltin(TPhT)	0,02	0	0	0	0	0,3	39	8	0,1-1

4.7 Sammenfatning

Med få undtagelser er alle de undersøgte stoffer inden for grupperne metaller, aromatiske kulbrinter og PAH fundet i koncentrationer over detektionsgrænsen i sedimentet i de fleste af de i alt 54 undersøgte søer, men i meget varierende koncentrationer. Organotinforbindelser (kun undersøgt i 39 søer) er påvist i 8-82 % af søerne og blødgørere i 2-61 %, mens forekomsten af phenoler (hvor ikke alle stoffer er undersøgt i 54 søer) varierede mellem 0 og 8 % af søerne.

Der er fundet koncentrationer, der er højere end miljøkvalitetskravene for vanadium og methylnaphthalener i mere end halvdelen af de undersøgte søer. Bly og naphthalen er fundet i koncentrationer, der er højere end miljøkvalitetskravene i enkelte af de undersøgte søer. Alkylphenoler er ikke fundet i koncentrationer, der er højere end miljøkvalitetskravene.

5 Kviksølv i fisk i kontrolovervågningen 2017-2019

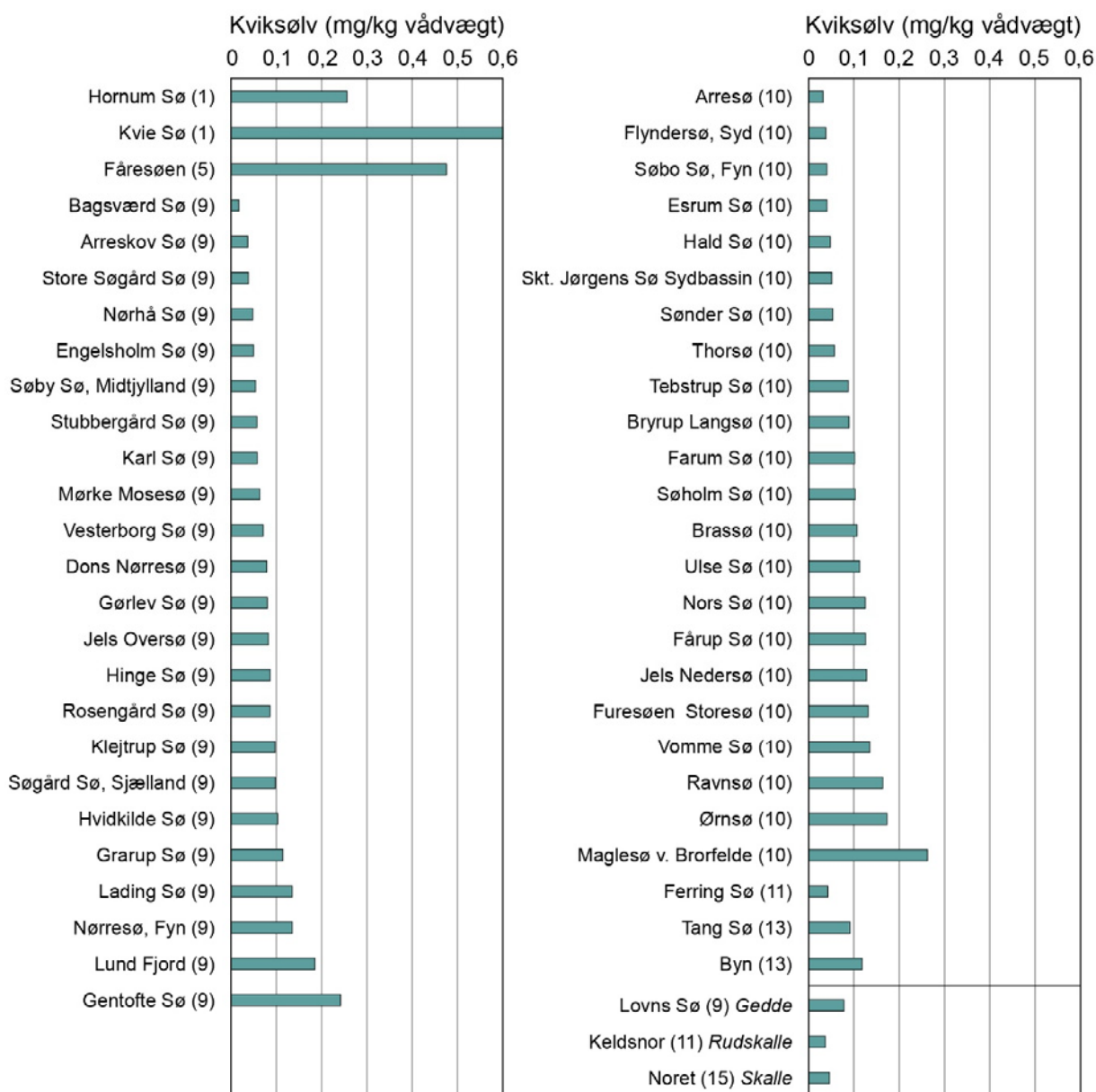
Som et led i undersøgelsen af miljøfarlige forurenende stoffer (MFS) i søer er indholdet af kviksølv i muskelvæv målt hos fisk. Undersøgelsen omfatter fisk fra stort set de samme søer i kontrolovervågningen, hvori der blev undersøgt for MFS i sedimentet (se foregående afsnit). Målingerne foretages fortrinsvis på aborre med en længde på 20-25 cm fanget i forbindelse med fiskeundersøgelserne i NOVANA. Der udtages muskelprøver fra fem forskellige fisk i den enkelte sø. Disse fem prøver blandes, og den puljede prøve analyseres for indholdet af kviksølv. 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, jf. den tekniske anvisning.

Her præsenteres en status over resultaterne af prøver, der er indsamlet og analyseret i 54 søer i kontrolovervågningen af tilstand og udvikling i perioden 2017-2019. En samlet status for alle søer i kontrolovervågningen, der undersøges for MFS, er planlagt til at skulle indgå i rapporteringen i 2022. I 51 af de 54 undersøgte søer er der analyseret prøver fra aborre. I de resterende søer fandtes der ikke aborrer, og analyserne blev derfor foretaget for andre fiskearter – gedde, rudskalle og skalle. Resultaterne er vist i figur 5.1.

Koncentrationerne af kviksølv i de puljede muskelprøver hos aborre ligger mellem 0,017 og 0,601 mg/kg vådvægt. Totalt set ligger middelværdien på 0,114 og medianværdien på 0,089 mg/kg vådvægt. I de tre søer, hvor der henholdsvis er taget prøver af gedde, skalle og rudskalle, er indholdet i de puljede prøver mellem 0,037 og 0,078 mg kviksølv/kg vådvægt. Grundet det begrænsede datasæt omtales resultater for disse arter ikke yderligere.

Langt de fleste prøver er indsamlet i de almindeligste søtyper, type 9 og 10 (ferske, kalkrige / alkaline, ikke-brunvandede søer, se tabel 1.1). Mellem disse to søtyper ser der ikke ud til at være en forskel i indholdet af kviksølv. Det skal bemærkes, at den her anvendte inddeling af søtyper 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 miljøfarlige forurenende stoffer.

I dette datasæt er der kun tre søer, som tilhører gruppen af de lavalkaline/kalkfattige søer (type 1 og 5), og som tidligere observeret (Johansson m.fl. 2018) er det i prøver fra disse søer, at man ser de højeste koncentrationer af kviksølv. Som også omtalt i Johansson m.fl. (2018) kan der på det nuværende grundlag 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 af kviksølv foregår lettere i kalkfattige end i kalkrige søer (Spry & Wiener 1991). Sedimentkemiske og -fysiske forhold (som ikke er undersøgt i denne sammenhæng) kan formodentlig også spille en rolle. Anoxiske forhold i søsedimentet kan forårsage frigivelse af methyalkviksølv, hvilket er observeret under anoxiske forhold i forbindelse med dambrug efter skovrydning (Martin Mørk Larsen, DCE, pers. komm.).



Figur 5.1. Forekomst af kviksølv i muskeltvæv hos aborre (51 søer), gedde (én sø) rudskalle (én sø) og skalle (én sø) fanget i søer i kontrolovervågningen i perioden 2017-2019. Søtypen i henhold til vandrammedirektivet (se tabel 1.1) er angivet i parentes efter hver sø. For hver type er søerne sorteret efter stigende indhold af kviksølv.

I vandrammedirektivet er der sat et miljøkvalitetskrav for biota på 0,02 mg kviksølv / kg vådvægt (bek. nr. 1625 af 19 / 12 / 2017). Dette betyder, at i forhold til EU-kravene ligger alle, bortset fra en enkelt af de analyserede prøver, over miljøkvalitetskravet. Den ene sø, hvorfra prøverne opfylder miljøkvalitetskravet, er Bagsværd Sø, og det skal bemærkes, at prøverne herfra stammer fra fisk, som er betydeligt mindre end det angivne mål i TA'en (som er 25 cm), idet de var mellem 13,7 og 15,7 cm. Det antages, at fiskene i Bagsværd Sø er yngre end fisk fra andre søer og dermed ikke har opkoncentreret så meget kviksølv i vævet. Dermed er resultaterne ikke helt sammenlignelige med de øvrige søer.

Fødevarekravet til kviksølv generelt er 0,5 mg / kg vådvægt (Den Europæiske Union 2006). Alle, på nær en enkelt prøve (fra Kvie Sø – en af de kalkfattige søer – se ovenfor), ligger under dette krav.

6 Referencer

Boutrup, S., Holm, A.G., Bjerring, R., Johansson, L.S., Strand, J., Thorling, L., Brusch, W., Ernstsén, 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>

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.

Den Europæiske union (2006). Kommissionens forordning (EF) Nr. 1881/2006 af 19. december 2006 om fastsættelse af grænseværdier for bestemte forurenende stoffer i fødevarer.

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

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

Johansson, L.S. & Lauridsen, T.L. (2011). Teknisk Anvisning S05. Fiskeundersøgelse i søer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. https://bios.au.dk/fileadmin/bioscience/Fagdatacentre/Ferskvand/S05_Fiskeundersogelser_ver5.pdf.

Johansson, L.S., Søndergaard, M., Landkildehus, F., Kjeldgaard, A., Sortkjær, L. & Windolf, J. (2018). Søer 2016. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 84 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 259. <http://dce2.au.dk/pub/SR259.pdf>

Johansson, L.S., Søndergaard, M., Sørensen, P.B., Nielsen, A., Jeppesen, E., Wiberg-Larsen, P. & Landkildehus, F. (2019). Søer 2018. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 98 s. - Videnskabelig rapport nr. 354. <http://dce2.au.dk/pub/SR354.pdf>

Johansson, L.S. & Søndergaard M. (2017). Teknisk anvisning S14. Planteplankton – oparbejdning af prøver. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. <https://bios.au.dk/fileadmin/bioscience/Fagdatacentre/Ferskvand/S14PlanteplanktonOparbejdningVer2.pdf>

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

Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Søndergaard, M., Thodsen, H. & Blicher-Mathiesen, G. (2020). Forskelle i målt koncentration af totalkvælstof og totalfosfor i ferskvand ved at anvende de to oplukningsmetoder til organisk stof; autoklave- og UV-metode. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 53 s. – Fagligt notat nr. 38. https://dce.au.dk/fileadmin/dce.au.dk/Udgivelser/Notatet_2020/N2020_38.pdf

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

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

Miljø- og Fødevareministeriet (2017). Bekendtgørelse om fastlæggelse af miljømål for vandløb, søer, overgangsvande, kystvande og grundvand. BEK nr. 1625 af 19/12/2017.

Miljøstyrelsen og DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ved Aarhus Universitet, Bak, J., Jensen, J., Larsen M. M. (2017): Manual for vurdering af deposition i Natura 2000 områder, upubliceret.

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

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

Rebild Kommune. <https://rebild.dk/borger/miljoe-klima-og-natur/badesoeer/kvaliteten-af-badevandet>

Rengefors, K., Weyhenmeyer, G.A. & Bloch, I. (2020). Temperature as a driver for the expansion of the microalga *Gonyostomum semen* in Swedish lakes. Harmful Algae 18:65–73.

Spry, D.J. & Wiener, J.G. (1990). Toxicity to fish in low-alkalinity lakes: A critical Review. Environmental Pollution 71, 243-304.

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

Søndergaard, M., Lauridsen, T.L., Johansson, L.S. & Jeppesen, E. (2017). Repeated Fish removal to restore lakes: Case study of Lake Væng, Denmark – two biomanipulations during 30 years of monitoring, *Water* 9 (1). <https://doi.org/10.3390/w9010043>

Bilag 1. Datagrundlag og metoder

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

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

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

Beregning af tidsvægtede gennemsnit

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

Analyse af tidsmæssig udvikling i søerne i kontrolovervågningen

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

Sammenligning af resultater for vandkemi mellem perioderne 2008-2013 og 2014-2019 i KT-søerne

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 Overfladevandsdatabasen (ODA), undergår både automatisk og faglig godkendelse i Miljøstyrelsen og DCE. Der pågår løbende en proces, hvor data i ODA bliver mærket efter denne kvalitetssikring. En beskrivelse af processen kan ses i de datatekniske anvisninger på <http://bios.au.dk/videnudveksling/fagdatacentre/fdcfersk/>.

Bilag 2. Fytoplankton 2004-2019

Status for 180 KT-søer. Absolutte gennemsnitlige sommerværdier (mm³/l) fordelt på søtyper, som er undersøgt i perioden 2014-2019.

Søtype	Statistisk parameter	Totalt biovolumen (mm ³ /l)	Blågrøn-alger (mm ³ /l)	Rekyl-alger (mm ³ /l)	Fureal-ger (mm ³ /l)	Gulal-ger (mm ³ /l)	Kiselal-ger (mm ³ /l)	Øjeal-ger (mm ³ /l)	Grøn-al-ger (mm ³ /l)	Øvrige (mm ³ /l)
1	N	4	4	4	4	4	4	4	4	4
1	MIN	0,07	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
1	MAX	3,56	0,01	0,01	0,79	0,68	0,00	0,00	0,19	3,30
1	GNS	1,48	0,00	0,00	0,26	0,24	0,00	0,00	0,10	0,88
1	STD	1,49	0,01	0,00	0,36	0,32	0,00	0,00	0,07	1,62
1	MEDIAN	1,15	0,00	0,00	0,09	0,13	0,00	0,00	0,11	0,10
2	N	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	MIN	0,68	0,01	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04	0,54
2	MAX	0,68	0,01	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04	0,54
2	GNS	0,68	0,01	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04	0,54
2	STD									
2	MEDIAN	0,68	0,01	0,02	0,08	0,00	0,00	0,00	0,04	0,54
5	N	7	7	7	7	7	7	7	7	7
5	MIN	0,31	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,06
5	MAX	27,87	26,87	0,77	6,24	0,28	1,13	0,78	5,27	17,78
5	GNS	13,79	4,33	0,21	1,70	0,06	0,22	0,12	1,17	5,97
5	STD	10,33	10,00	0,26	2,40	0,10	0,42	0,29	1,87	8,19
5	MEDIAN	8,93	0,05	0,17	0,04	0,01	0,04	0,00	0,27	0,18
6	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2
6	MIN	1,93	0,06	0,00	0,00	0,14	0,00	0,00	0,27	0,06
6	MAX	5,81	1,39	0,06	0,19	0,62	0,00	0,00	3,68	1,26
6	GNS	3,87	0,72	0,03	0,10	0,38	0,00	0,00	1,97	0,66
6	STD	2,74	0,94	0,04	0,14	0,34	0,00	0,00	2,41	0,85
6	MEDIAN	3,87	0,72	0,03	0,10	0,38	0,00	0,00	1,97	0,66
9	N	86	86	86	86	86	86	86	86	86
9	MIN	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9	MAX	171,84	42,77	6,20	12,74	5,26	164,31	5,76	39,89	2,94
9	GNS	14,09	6,23	0,56	0,32	0,16	4,78	0,13	1,71	0,21
9	STD	20,83	9,03	0,89	1,41	0,61	18,56	0,65	4,69	0,43
9	MEDIAN	9,57	1,41	0,34	0,03	0,00	0,64	0,00	0,47	0,03
10	N	44	44	44	44	44	44	44	44	44
10	MIN	0,62	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	MAX	145,22	118,15	2,15	106,30	0,64	141,65	0,34	1,88	0,54
10	GNS	18,09	5,44	0,44	5,36	0,10	6,38	0,01	0,26	0,10
10	STD	30,79	18,04	0,46	17,13	0,18	21,72	0,05	0,40	0,13
10	MEDIAN	9,54	0,32	0,36	0,59	0,02	0,63	0,00	0,07	0,05
11	N	21	21	21	21	21	21	21	21	21
11	MIN	1,22	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00

11	MAX	175,18	172,42	3,10	9,93	0,91	12,40	1,13	8,77	2,91
11	GNS	25,38	19,22	0,35	1,47	0,07	1,84	0,10	1,73	0,61
11	STD	39,73	39,25	0,80	2,92	0,20	3,13	0,26	2,21	0,94
11	MEDIAN	12,06	3,85	0,10	0,17	0,00	0,64	0,00	1,07	0,09
13	N	13	13	13	13	13	13	13	13	13
13	MIN	0,45	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	MAX	305,58	301,82	0,37	0,22	0,24	8,44	0,05	12,98	0,53
13	GNS	27,74	24,66	0,15	0,04	0,05	0,99	0,00	1,75	0,10
13	STD	83,67	83,32	0,10	0,06	0,09	2,35	0,01	3,65	0,17
13	MEDIAN	1,24	0,14	0,13	0,00	0,02	0,07	0,00	0,31	0,01
15	N	2	2	2	2	2	2	2	2	2
15	MIN	1,03	0,76	0,00	0,00	0,00	0,07	0,00	0,02	0,00
15	MAX	69,23	55,13	0,06	0,00	0,11	2,90	0,00	11,20	0,00
15	GNS	35,13	27,95	0,03	0,00	0,05	1,48	0,00	5,61	0,00
15	STD	48,23	38,45	0,04	0,00	0,08	2,00	0,00	7,90	0,00
15	MEDIAN	35,13	27,95	0,03	0,00	0,05	1,48	0,00	5,61	0,00

Status for 180 KT-søer (total biovolumen (mm³/l) ellers gns. %- sommerværdier) fordelt på søtyper, som er undersøgt i perioden 2014-2019.

Søtype	Statistisk parameter	Total biovolumen (mm ³ /l)	Blå-grøn-alger (%)	Rekyl-alger (%)	Fure-alger (%)	Gul-alger (%)	Kisel-Alger (%)	Øje-alger (%)	Grøn-alger (%)	Øvrige (%)
1	N	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
1	MIN	0,07	0,00	0,07	3,91	0,64	0,00	0,00	2,65	4,11
1	MAX	3,56	1,62	0,97	68,07	74,62	0,00	0,00	15,87	92,61
1	GNS	1,48	0,43	0,45	33,51	24,06	0,00	0,00	11,49	30,06
1	STD	1,49	0,79	0,44	33,89	34,51	0,00	0,00	5,99	41,86
1	MEDIAN	1,15	0,05	0,38	31,03	10,50	0,00	0,00	13,73	11,75
2	N	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	MIN	0,68	1,02	2,62	11,51	0,12	0,00	0,03	6,40	78,30
2	MAX	0,68	1,02	2,62	11,51	0,12	0,00	0,03	6,40	78,30
2	GNS	0,68	1,02	2,62	11,51	0,12	0,00	0,03	6,40	78,30
2	STD									
2	MEDIAN	0,68	1,02	2,62	11,51	0,12	0,00	0,03	6,40	78,30
5	N	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00	7,00
5	MIN	0,31	0,00	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00	0,30	0,21
5	MAX	27,87	96,40	3,60	88,85	4,57	15,12	3,31	59,02	84,05
5	GNS	13,79	17,63	1,96	19,25	1,04	3,48	0,59	15,35	40,70
5	STD	10,33	35,11	1,32	32,90	1,66	5,51	1,23	21,12	39,72
5	MEDIAN	8,93	3,49	2,26	0,53	0,14	0,52	0,00	6,01	41,02
6	N	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
6	MIN	1,93	3,24	0,00	0,00	7,13	0,00	0,00	14,00	1,01
6	MAX	5,81	23,86	1,07	10,08	10,70	0,22	0,00	63,36	65,33

6	GNS	3,87	13,55	0,53	5,04	8,92	0,11	0,00	38,68	33,17
6	STD	2,74	14,58	0,76	7,13	2,52	0,15	0,00	34,90	45,48
6	ME-DIAN	3,87	13,55	0,53	5,04	8,92	0,11	0,00	38,68	33,17
9	N	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00	86,00
9	MIN	0,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
9	MAX	171,84	99,40	89,54	89,14	84,93	96,58	22,57	93,47	40,02
9	GNS	14,09	35,04	14,28	4,26	4,12	22,80	0,88	14,67	3,93
9	STD	20,83	35,24	19,91	12,31	11,72	25,36	2,88	19,50	7,33
9	ME-DIAN	9,57	19,96	5,04	0,28	0,03	12,72	0,00	5,75	0,48
10	N	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00	44,00
10	MIN	0,62	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
10	MAX	145,22	97,29	43,13	98,62	11,53	97,54	0,30	36,79	16,76
10	GNS	18,09	27,15	8,41	26,70	1,44	30,54	0,03	3,46	2,27
10	STD	30,79	33,70	11,26	31,28	2,56	32,50	0,08	7,05	3,33
10	ME-DIAN	9,54	4,44	3,86	12,70	0,14	16,03	0,00	1,05	0,89
11	N	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00	21,00
11	MIN	1,22	5,47	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,98	0,00
11	MAX	175,18	98,43	31,13	47,13	16,43	53,00	10,95	72,74	35,94
11	GNS	25,38	52,06	4,28	9,61	2,31	11,24	1,19	14,82	4,50
11	STD	39,73	32,83	8,34	14,62	5,07	14,27	2,82	16,88	8,56
11	ME-DIAN	12,06	53,87	0,58	1,84	0,00	5,02	0,00	10,03	0,58
13	N	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
13	MIN	0,45	0,00	0,12	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
13	MAX	305,58	98,77	28,27	28,99	32,22	92,11	1,01	71,65	65,09
13	GNS	27,74	32,54	8,86	4,75	4,82	16,90	0,10	24,40	7,62
13	STD	83,67	38,13	9,77	9,68	9,04	26,46	0,29	25,56	17,76
13	ME-DIAN	1,24	11,50	3,83	0,00	1,40	4,89	0,00	10,52	0,04
15	N	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00
15	MIN	1,03	74,24	0,00	0,00	0,00	4,18	0,00	2,31	0,00
15	MAX	69,23	79,64	6,00	0,00	10,55	6,89	0,00	16,17	0,00
15	GNS	35,13	76,94	3,00	0,00	5,28	5,54	0,00	9,24	0,00
15	STD	48,23	3,82	4,24	0,00	7,46	1,92	0,00	9,80	0,00
15	ME-DIAN	35,13	76,94	3,00	0,00	5,28	5,54	0,00	9,24	0,00

[Tom side]

SØER 2019

NOVANA

Rapporten giver en status for udvalgte kemiske, fysiske og biologiske miljøindikatorer, der overvåges i det nationale overvågningsprogram for søer. Derudover beskrives udviklingen overordnet for udvalgte kemiske parametre og for fytoplankton. Søerne, som indgår i kontrolovervågningen af tilstand, viser en generel forbedring siden 1989, men i 148 søer, som er undersøgt to gange de seneste 12 år, er koncentrationen af fosfor, kvælstof og klorofyl øget signifikant. Status for fytoplankton i 18 søer, som indgår i kontrolovervågning af udvikling, viser stor variation i biovolumen og taksonomisk sammensætning. Der ses kun få ændringer i disse i perioden 2004-2019. Miljøfarlige forurenende stoffer undersøgt i sedimentet, viser overskridelser i nogle af de 54 undersøgte søer i forhold til de fastsatte miljøkvalitetskrav, mens miljøkravet for kviksølv i fisk overskrides i stort set alle søer. Fødevarekravet for kviksølv i fisk overholdes dog i alle søer, bortset fra én.

ISBN: 978-87-7156-551-5

ISSN: 2244-9981