



KVÆLSTOFS BETYDNING I DANSKE SØER

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 598

2024



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

KVÆLSTOFS BETYDNING I DANSKE SØER

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 598

2024

Martin Søndergaard
Liselotte Sander Johansson

Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer: Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 598

Kategori: Rådgivningsrapporter

Titel: Kvælstofs betydning i danske søer

Forfattere: Martin Søndergaard og Liselotte Sander Johansson
Institution: Aarhus Universitet, Institut for Ecoscience

Udgiver: Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL: <http://dce.au.dk>

Udgivelsesår: April 2024
Redaktion afsluttet: Marts 2024

Faglig kommentering: Torben Linding Lauridsen
Kvalitetssikring, DCE: Signe Jung-Madsen
Sproglig kvalitetssikring: Anne Mette Poulsen

Ekstern kommentering: Miljøstyrelsen har haft et udkast til kommentering, men havde ingen kommentarer

Finansiel støtte: Miljøstyrelsen

Bedes citeret: Martin Søndergaard og Liselotte Sander Johansson, 2024. Kvælstofs betydning i danske søer. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 28 s. - Videnskabelig rapport nr. 598

Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse

Sammenfatning: Mange af de danske søer omfattet af vandområdeplanerne opfylder ikke kravet om mindst god økologisk tilstand. Hidtil har man forsøgt at forbedre deres tilstand ved at reducere tilførslen af fosfor, fordi fosfor normalt betragtes som det begrænsende næringsstof i søer. Der er imidlertid en stigende erkendelse af, at kvælstof spiller en vigtigere rolle i søerne end tidligere antaget. En indsats over for tilførslen af kvælstof kunne derfor måske også bidrage til at forbedre søers økologiske tilstand. I denne rapport er der gennemført en række indledende analyser, der anvender søernes indhold af uorganiske kvælstofformer og forholdet mellem kvælstof og fosfor til at vurdere kvælstofs betydning. Analyserne viser, at det giver god mening at kigge nærmere på kvælstofs rolle i visse typer af søer og på visse tidspunkter af året.

Emneord: Søer, kvælstof, fosfor, næringsstoffbegrænsning, økologisk tilstand.

Foto forside: Ormstrup Sø i Midtjylland (ofte kvælstofbegrænset).

ISBN: 978-87-7156-862-2
ISSN (elektronisk): 2244-9981

Sideantal: 28

Indhold

Forord	5
Sammenfatning	6
Summary	7
1 Baggrund og formål	8
1.1 Baggrund	8
1.2 Formål	9
2 Metoder og data	10
3 Resultater	12
3.1 Analyser af sommergennemsnit	13
3.2 Analyser af månedsgennemsnit	21
4 Konklusioner og anbefalinger	24
5 Referencer	25
6 Bilag	27
6.1 Eksempler på citater vedr. kvælstofs betydning i søer	27

Forord

Denne rapport beskriver resultaterne af et forprojekt, der har haft til formål at vurdere muligheden for potentiel kvælstofbegrænsning af planteplanktonets vækst i de danske søer omfattet af vandområdeplanerne. Rapporten er udarbejdet af Aarhus Universitet på foranledning af Miljøstyrelsen.

Sammenfatning

Flertallet af de danske søer, som er omfattet af vandområdeplanerne, er ikke i mindst *god økologisk tilstand*, som kravet er jf. EU's vandrammedirektiv. Der er derfor brug for en større indsats og måske også andre typer af indsatser end dem, der hidtil er blevet anvendt, for at forbedre søernes tilstand.

Traditionelt forsøges tilstanden forbedret via reduceret fosfortilførsel for på den måde at begrænse planteplanktonets vækst, men der er efterhånden flere undersøgelser – også udenlandske – der peger på, at kvælstof også kan spille en betydelig rolle. Formålet med dette forprojekt har været at vurdere, om der er baggrund for at undersøge kvælstofs rolle nærmere i de danske søer.

Vurderingen er gennemført ved at anvende og analysere data om fosfor- og kvælstofindhold indsamlet under NOVANA-overvågningsprogrammet. Analyserne har anvendt koncentrationsmålinger af totalfosfor, totalkvælstof og de uorganiske former af kvælstof (nitrat, nitrit, ammonium). Koncentrationen af disse samt forholdet mellem totalkvælstof og totalfosfor (TN/TP) er undersøgt ved forskellige grupperinger af søer for at vurdere, hvor kvælstof potentielt kan være begrænsende. Lavt TN/TP-forhold og lave koncentrationer af uorganiske kvælstoffer vil indikere potentiel kvælstofbegrænsning. Grupperinger af søer er anvendt i forhold søers afløbstype, søvandets opholdstid, søstørrelse, oplandsareal og den søtypologi, der anvendes i vandområdeplanerne.

Analyserne viser meget store variationer i indhold af både fosfor, kvælstof og TN/TP-forholdet og generelt kun få eller svage sammenhænge med en gradient i de anvendte grupperinger. Et eksempel på undtagelser er lavere sommergennemsnitlige koncentrationer af uorganisk kvælstof i søer med lang opholdstid sammenlignet med søer med kort opholdstid. I forhold til søtypologien anvendt i vandområdeplanerne ses desuden lave uorganiske kvælstofkoncentrationer og lavt TN/TP-forhold – især i de brakke søtyper, men også for en del søer blandt den almindelige søtype 9 (lavvandet, kalkrig, fersk, ikke-brunvandet).

Sæsonmæssigt er der store forskelle, hvor der typisk ses de laveste TN/TP-forhold og de laveste koncentrationer af uorganisk kvælstof om sommeren, hvilket antyder, at kvælstof her kan være begrænsende for planteplanktonets primærproduktion. Det gælder for de fleste søtyper og ikke mindst de brakke søer. I søtype 9 er TN/TP-forholdet og uorganisk kvælstof lavt fra juni til september, men især i juli og august.

Analyserne af fosfor- og kvælstofkoncentrationerne i de danske søer peger på, at kvælstof potentielt kan være begrænsende i nogle søtyper og særligt om sommeren. Der er derfor baggrund for nærmere at vurdere kvælstofs rolle i danske søer med henblik på eventuelt at begrænse tilførslen af kvælstof til søerne for derved at forbedre deres tilstand.

Summary

The majority of the Danish lakes covered by the river basin management plans are not in least *good ecological status* as required by the EU Water Framework Directive. Therefore, more efforts are needed, and perhaps also other types of efforts than those used so far, to improve the condition of the lakes.

Traditionally, attempts are made to improve the condition through reduced phosphorus input to limit the growth of phytoplankton, but there are now several studies – also foreign studies – that indicate that nitrogen may also play a significant role. The purpose of this preliminary project was therefore to assess whether there is a basis for investigating the role of nitrogen in Danish lakes in more detail.

The assessment was carried out using and analysing data on phosphorus and nitrogen collected under the NOVANA monitoring programme. The analyses used concentration measurements of total phosphorus, total nitrogen and the inorganic forms of nitrogen (nitrate, nitrite, ammonium). The concentrations of these and the ratio of total nitrogen to total phosphorus (TN/TP) were studied for different groupings of lakes to assess where nitrogen can potentially be limiting. Low TN/TP ratios and low concentrations of inorganic nitrogen forms indicate potential nitrogen limitation. Groupings of lakes were used in relation to the type of lake outlet, the retention time of the lake water, the size of the lake, the catchment area and the lake typology used in the river basin management plans.

The analyses showed very large variations in the content of both phosphorus, nitrogen and TN/TP ratios and generally only a few or weak correlations with a gradient in the groupings used. An example of exceptions was lower summer average concentrations of inorganic nitrogen in lakes with long retention time compared to lakes with short retention time. In relation to the lake typology used in the river basin management plans, low inorganic nitrogen concentrations and low TN/TP ratios were also seen – especially in the brackish lake types, but also for a number of lakes among the common lake type 9 (shallow, calcareous, fresh, non-brown-watered).

Seasonally, there were large differences, typically with the lowest TN/TP ratios and the lowest concentrations of inorganic nitrogen in summer, suggesting that nitrogen here might be limiting phytoplankton primary production. This applied to most lake types, not least brackish lakes. In lake type 9, the TN/TP ratio and inorganic nitrogen were low from June to September, but especially in July and August.

The analyses of phosphorus and nitrogen concentrations in the Danish lakes indicated that nitrogen may potentially be limiting in some lake types, especially in summer. There is therefore a basis for further assessing the role of nitrogen in Danish lakes with a view to possibly limiting the load of nitrogen to the lakes to improve their condition.

1 Baggrund og formål

1.1 Baggrund

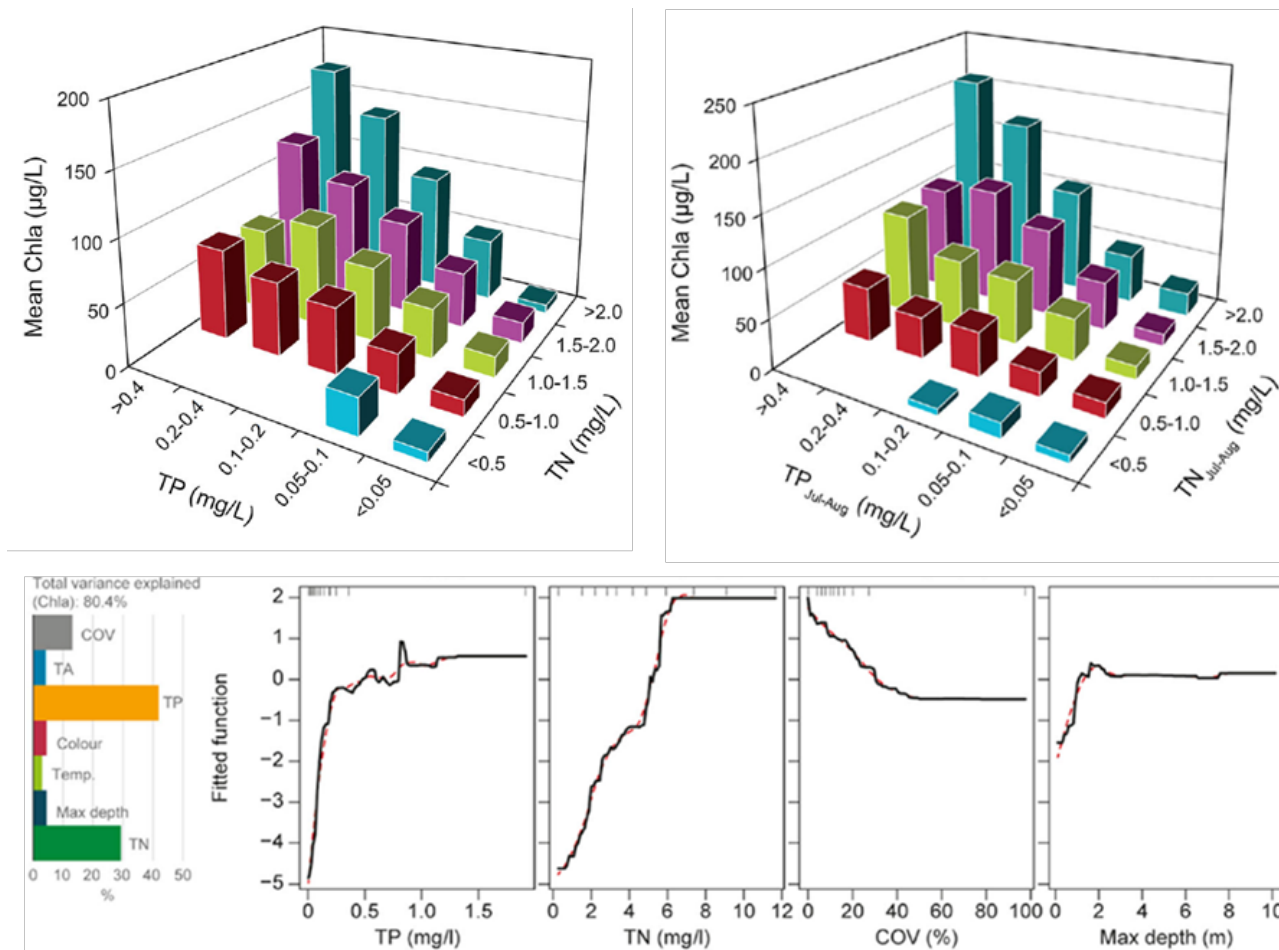
De fleste danske søer opfylder ikke vandrammedirektivets målsætning om mindst god økologisk tilstand, og der er derfor brug for en indsats for at forbedre deres tilstand. Hovedårsagen til den manglende målopfyldelse er for høje næringsstoffekoncentrationer, der giver høj vækst af planteplankton og har en række andre negative effekter på søernes økologiske tilstand.

Høje næringsstoffekoncentrationer i søerne skyldes først og fremmest for høj tilførsel af næringsstoffer fra søens opland, og derfor retter indsatsen for at forbedre tilstanden i søer, som ikke er i god økologisk tilstand, sig først og fremmest mod at begrænse tilførslen af næringsstoffer. Her anses fosfor som det primære begrænsende næringsstof for planteplanktonets primærproduktion, og indsatsen til at forbedre disse søers tilstand, har indtil videre alene været rettet mod reduceret tilførsel af fosfor.

Der er imidlertid efterhånden en øget erkendelse af, at kvælstof i perioder og i nogle søer kan være den begrænsende faktor for væksten af planteplankton og dermed også er vigtig for den økologiske tilstand (Maberly et al., 2002; Søndergaard et al., 2017; Savic et al., 2020). Når kvælstof tilføres søer, tilbageholdes en del via sedimentation eller afgasses via denitrifikation. Tilbageholdelsen kan blandt andet påvirkes af vandets opholdstid, søens vanddybde og den trofiske struktur i søen (OECD, 1982; Bachman, 1984; Lijklema et al., 1989; Windolf et al., 1996; Jeppesen et al., 1998). Flere simple empiriske modeller har været anvendt til at beskrive koncentrationer og tab af kvælstof i søer som funktion af den eksterne kvælstoftilførsel (OECD, 1982; Bachman, 1984; Saunders and Kalff, 2001; Windolf et al., 1996).

Betydningen af kvælstof er for nylig påvist i danske brakvandssøer (Christensen et al., 2023). I andre analyser af data fra danske søer er det ligeledes påvist, hvordan indholdet af totalkvælstof (TN) og totalfosfor (TP) i fællesskab påvirker indholdet af klorofyl i søerne (Søndergaard et al., 2017, Fig. 1.1). I disse analyser ses f.eks., hvordan de højeste koncentrationer af klorofyl opnås, hvis både koncentrationerne af TN og TP er høje (Fig. 1.1, øverst). I andre analyser bekræftes det, at TP har den højeste forklaringsgrad for indholdet af klorofyl i lavvandede søer (42 %), men at TN også bidrager væsentligt (29 % ud af en samlet forklaringsgrad på 80 % (Søndergaard et al. (2022), Fig. 1.1, nederst tv.)). Det ses også, at de største effekter på indholdet af klorofyl sker ved TP under ca. 0,1 mg/L, mens effekten af kvælstof gør sig gældende helt op til TN-koncentrationer omkring 6 mg/L (Fig. 1.1, nederst th.).

Det er imidlertid stadigvæk mangelfuldt belyst, i hvor høj grad, under hvilke forhold og i hvilke typer af danske søer kvælstof spiller en rolle. Potentielt kunne en reduktion i tilførslen af kvælstof være et virkemiddel i forhold til at opnå en god økologisk tilstand. Miljøstyrelsen har på den baggrund ønsket en nærmere analyse af kvælstofs betydning for den økologiske tilstand i danske søer – i første omgang som et forprojekt. På baggrund af resultaterne i dette forprojekt, er det tanken, at der senere gennemføres mere omfattende analyser af kvælstofs rolle i søer.



Figur 1.1. Øverst er vist det gennemsnitlige indhold af klorofyl (mean Chla) i lavvandede søer i forhold til forskellige kategorier af TP og TN. Til venstre er vist sommergennemsnit (1. maj til 30. september), og til højre er vist gennemsnit af juli og august (fra Søndergaard et al., 2017, analyser er baseret på data fra 817 danske søer). Nederst er vist resultaterne af en BRT-analyse (boosted regression tree analysis), hvor de fire mest forklarende variable (TP, TN, dækningsgrad af undervandsplanter (COV) og søernes maksimumsdybde (Max depth)) anvendes til at forklare det sommergennemsnitlige indhold af klorofyl i lavvandede søer. De fire delfigurer til højre viser betydningen af de fire variable langs en gradient i variableerne. Den røde, stiplede kurve viser den udjævnede funktion. Venstre del af figuren viser, hvor meget af den totale varians der kan forklares ved de fire mest betydende variable og de enkelte variables andele af denne. Se Søndergaard et al. (2022) for nærmere beskrivelser.

1.2 Formål

Formålet med dette forprojekt er at gennemføre en indledende screening af, i hvilke danske søer kvælstof potentielt har en betydning for den økologiske tilstand og dermed for, i hvilke søer der eventuelt kan opnås en forbedret tilstand ved at mindske indholdet af kvælstof. I projektet foretages en screening af forskellige grupperinger af søer omfattet af vandområdeplanerne. Grupperingerne af søer er foretaget i forhold til søernes afløbstype, søvandets opholdstid, søstørrelse, oplandsareal og den søtypologi, der anvendes i vandområdeplanerne.

Projektet skal dermed kortlægge, om der er et behov for øget viden om kvælstofs betydning for den økologiske tilstand i danske søer, og dermed danne baggrund for et eventuelt senere projekt med en mere detaljeret analyse af denne betydning.

2 Metoder og data

Dataanalyserne er gennemført ved at anvende eksisterende data indsamlet i det danske overvågningsprogram for søer. Disse omfatter TP og TN samt de uorganiske fraktioner af fosfor (orthofosfat, PO_4), kvælstof (nitrit+nitrat, NO_2+NO_3) og ammonium (NH_4) målt i overfladevandet. Data om de uorganiske næringsstofkoncentrationer findes kun fra nogle søer og nogle år. Der er anvendt data indsamlet til og med 2022, og der er kun anvendt data indsamlet efter 2000 (dog ikke 2016 pga. uafsluttet kvalitetssikring) for at undgå for stor effekt af en høj intern fosforbelastning fra sedimentet i de første år, efter at den eksterne fosfortilførsel blev reduceret til en del af søerne.

Derudover er der anvendt data om søernes indhold af klorofyl samt en række øvrige supplerende oplysninger, der omfatter søtype anvendt jf. vandrammedirektivet (se tabel 2.1), vandets opholdstid, afløbstype, søstørrelse og oplandsarealet. De supplerende oplysninger er anvendt til at gruppere søerne efter forskellige kriterier for at vurdere, om indsatsen over for kvælstofreduktion især kan være relevant i visse søtyper eller grupperinger af søer. Data om opholdstid og oplandsareal findes kun for nogle af søerne.

De fleste data, der er anvendt i analysen, stammer fra den datamodel, som Miljøstyrelsen har etableret i forbindelse med udarbejdelsen af de nyeste vandområdeplaner, der dækker perioden 2021-2027 (Miljøstyrelsen, 2023). Disse planer omfatter i alt 986 søer, hvor alle søer > 5 hektar er inkluderet, samt udvalgte søer mellem 1 og 5 hektar.

Ved analyserne anvendes blandt andet forholdet mellem TN og TP (TN/TP) for at vurdere, hvilket af de to næringsstoffer der mest sandsynligt er det begrænsende næringsstof for planteplanktonets vækst. Hvis forholdet er højt, er fosfor mest sandsynligt begrænsende, og hvis forholdet er lavt, er der større sandsynlighed for kvælstofbegrænsning. Anvendelsen af TN/TP-forholdet er en meget grov metode, og det er ikke muligt at definere en klar grænse for, hvornår TN/TP-forholdet viser kvælstof- eller fosforbegrænsning, fordi en række andre forhold også spiller ind. I litteraturen angives således også ret forskellige værdier for, hvornår henholdsvis kvælstof og fosfor anses som begrænsende, hvis TN/TP-forholdet anvendes (se eksempler i bilag 6.1). Ud over TN/TP-forholdet er lave koncentrationer af uorganiske kvælstofformer – nitrat+nitrit og ammonium – blevet anvendt som en indikator for, hvornår kvælstof er begrænsende, men også sådanne afgrænsende værdier skal tages med forbehold.

Analyserne er gennemført på flere niveauer. I første omgang på de enkelte søers sommergennemsnitlige værdier, hvor der både er anvendt værdier for alle år, hvor der er udtaget prøver i søerne (søår), og hvor hver sø kun er repræsenteret én gang i analysen (gennemsnit for flere søår). Efterfølgende er der også vist sæsonmæssige data, hvor der anvendes månedsgennemsnitlige værdier af TP, TN, TN/TP og uorganiske kvælstofformer. Der er ikke gennemført statistiske tests.

Table 2.1. Inndelingen af søtyper i forhold til alkalinitet, farvetal, saltholdighed og mid-
delvanddybde. Typeinddelingen anvendes i forbindelse med vandområdeplanerne og sø-
erne i denne analyse. Fra Basisanalyse for vandområdeplaner 2021-2027
<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2019/12/978-87-7038-143-7.pdf>.
Se også Søndergaard et al. (2018).

Alkalinitet	Farvetal	Saltholdighed	Middedybde	Type
Lav: < 0,2 meq/l	Lav: < 60 mg Pt/l	Lav: < 0,5 ‰	Lav: < 3 m	1
			Dyb: ≥ 3 m	2
		Høj: ≥ 0,5 ‰	Lav: < 3 m	3
			Dyb: ≥ 3 m	4
	Høj: ≥ 60 mg Pt/l	Lav: < 0,5 ‰	Lav: < 3 m	5
			Dyb: ≥ 3 m	6
		Høj: ≥ 0,5 ‰	Lav: < 3 m	7
			Dyb: ≥ 3 m	8
Høj: ≥ 0,2 meq/l	Lav: < 60 mg Pt/l	Lav: < 0,5 ‰	Lav: < 3 m	9
			Dyb: ≥ 3 m	10
		Høj: ≥ 0,5 ‰	Lav: < 3 m	11
			Dyb: ≥ 3 m	12
	Høj: ≥ 60 mg Pt/l	Lav: < 0,5 ‰	Lav: < 3 m	13
			Dyb: ≥ 3 m	14
		Høj: ≥ 0,5 ‰	Lav: < 3 m	15
			Dyb: ≥ 3 m	16

3 Resultater

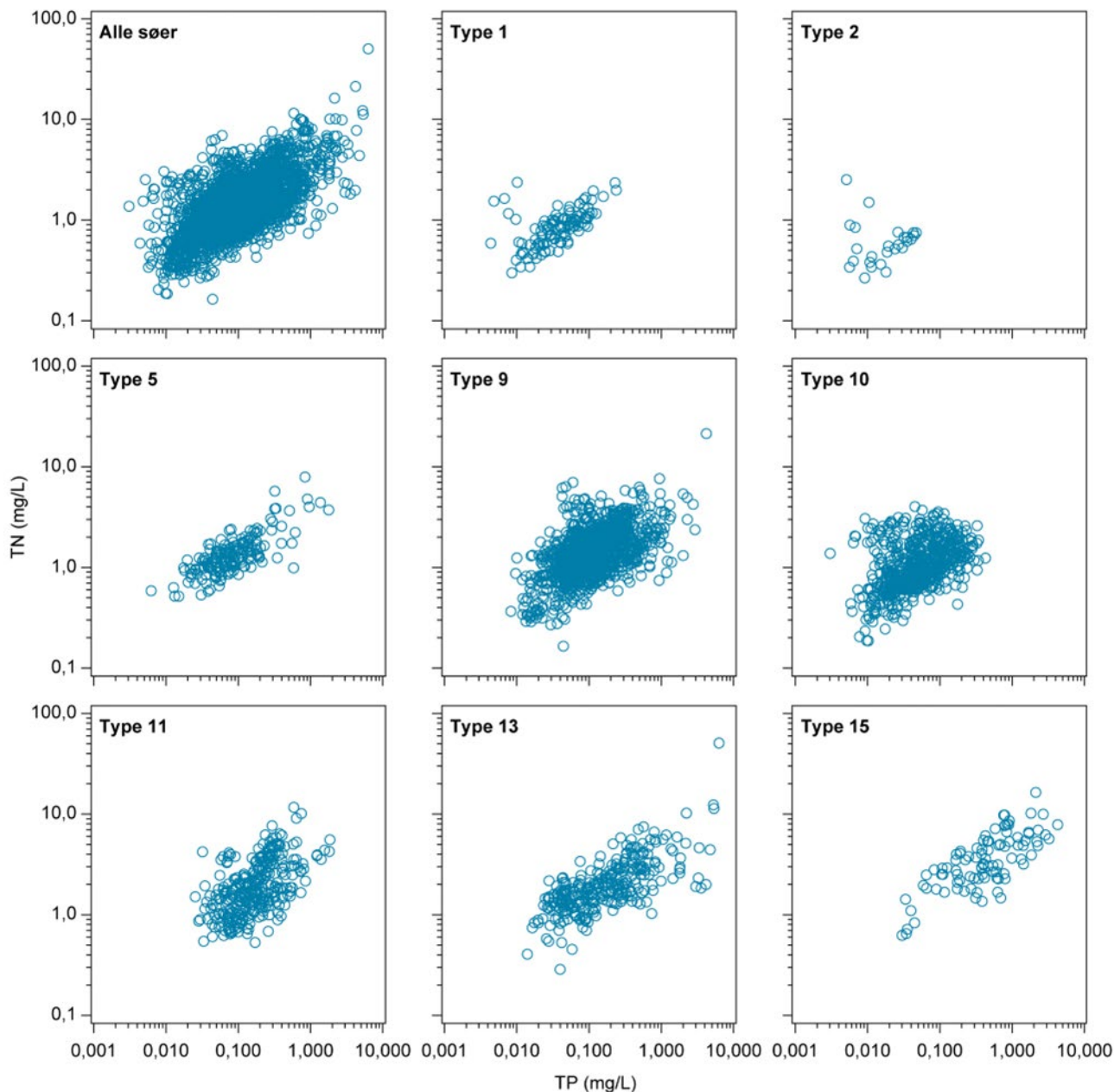
Analyserne har omfattet data fra i alt 875 søer. Det er alle søer, som er indeholdt i vandområdeplanerne. I tabel 3.1 er der givet en oversigt over næringsstof- og klorofylindholdet i disse søer inddelt efter søtype. Tabellen angiver både data, hvor hver sø kun medtages én gang, og data, hvor alle års målinger fra de enkelte søer er medtaget (søår) fra de søer, som er undersøgt flere år. I de tilfælde, hvor en sø er målt flere år, men kun medtaget én gang (Én sø én gang), er der anvendt et gennemsnit.

Oversigten illustrerer de ret store forskelle i antallet af data fra de forskellige søtyper, hvor næsten halvdelen af data stammer fra søtype 9 (kalkrige, lavvandede, ferske, ikke-brunvandede søer), hvis målinger fra alle søår anvendes, og også at de generelle næringsstofindhold og klorofylkoncentrationer i de enkelte søtyper er meget forskellige. TN/TP-forholdet er generelt højest i de kalkfattige søer (type 1-6) og lavest i de kalkrige søer (type 9-15). Den laveste medianværdi for TN/TP-forholdet ses i de brakke søtyper (type 11, 12 og 15).

Et overblik over sammenhængen mellem indholdet af TP og TN for alle søtyper (kun søtyper, hvor antal søår er større end 10) er vist i Fig. 3.1. Der ses for alle søtyper en positiv sammenhæng mellem TP og TN, svarende til, at de to koncentrationer som regel "følges ad". Dette hænger sammen med, at begge næringsstoffer i høj grad stammer fra de samme kilder og tilføres søerne via de samme transportveje. Figuren illustrerer også den store variation, der er imellem relationerne. Det betyder, at der ved en given TP-koncentration kan ses vidt forskellige koncentrationer af TN og omvendt.

Tabel 3.1. Oversigt over totalfosfor (TP, mg/L), totalkvælstof (TN, mg/L) og klorofylindhold (Chl, µg/L) i de anvendte data fordelt på søtyper (se tabel 2.1 for søtyper). Der er angivet medianværdier baseret på sommergennemsnitlige værdier for de enkelte søer. Der er kun anvendt data efter 2000 for at undgå de største ændringer efter reduceret ekstern fosfortilførsel i nogle af søerne. Antal angiver antallet af data for TP. Der er angivet værdier både for, hvor alle årenes målinger indgår (alle søår), og hvor hver sø kun er medtaget én gang. I det sidste tilfælde er der anvendt gennemsnitlige værdier for de år, hvorfra der er data.

Søtype	Alle søår					Én sø én gang				
	Antal	TP	TN	TN/TP	Chl	Antal	TP	TN	TN/TP	Chl
1	109	0,040	0,88	21	12	30	0,031	0,88	28	8
2	26	0,019	0,57	27	12	11	0,013	0,55	33	9
5	176	0,078	1,26	16	49	72	0,076	1,28	17	49
6	6	0,016	0,55	33	8	2	0,024	0,55	27	26
9	1326	0,113	1,45	13	47	306	0,120	1,48	13	82
10	669	0,049	1,01	20	19	132	0,043	0,88	22	17
11	313	0,168	1,70	12	52	95	0,165	1,71	10	51
12	10	0,168	1,07	9	18	3	0,080	1,08	19	16
13	298	0,149	1,78	12	33	129	0,142	1,83	13	37
14	12	0,072	1,83	26	24	4	0,074	1,72	29	25
15	94	0,434	3,35	8	68	49	0,472	3,43	8	81
17/Ukendt	44	0,064	1,94	21	25	42	0,067	1,94	19	25
alle	3083	0,094	1,39	14	36	875	0,103	1,46	15	36



Figur 3.1. Sammenhæng mellem TN og TP i danske søer vist for alle søår og for de enkelte søtyper (se tabel 2.1 for beskrivelser). Bemærk, at der er anvendt en logaritmisk skala for både TN og TP.

3.1 Analyser af sommergennemsnit

I de følgende analyser er der set på, hvordan sommergennemsnittet af TP, TN, TN/TP-forholdet og koncentrationerne af uorganisk kvælstof, ser ud ved anvendelsen af forskellige grupperinger af søer. I figurerne er vist både data, hvor alle søår er anvendt, og hvor hver sø kun indgår én gang.

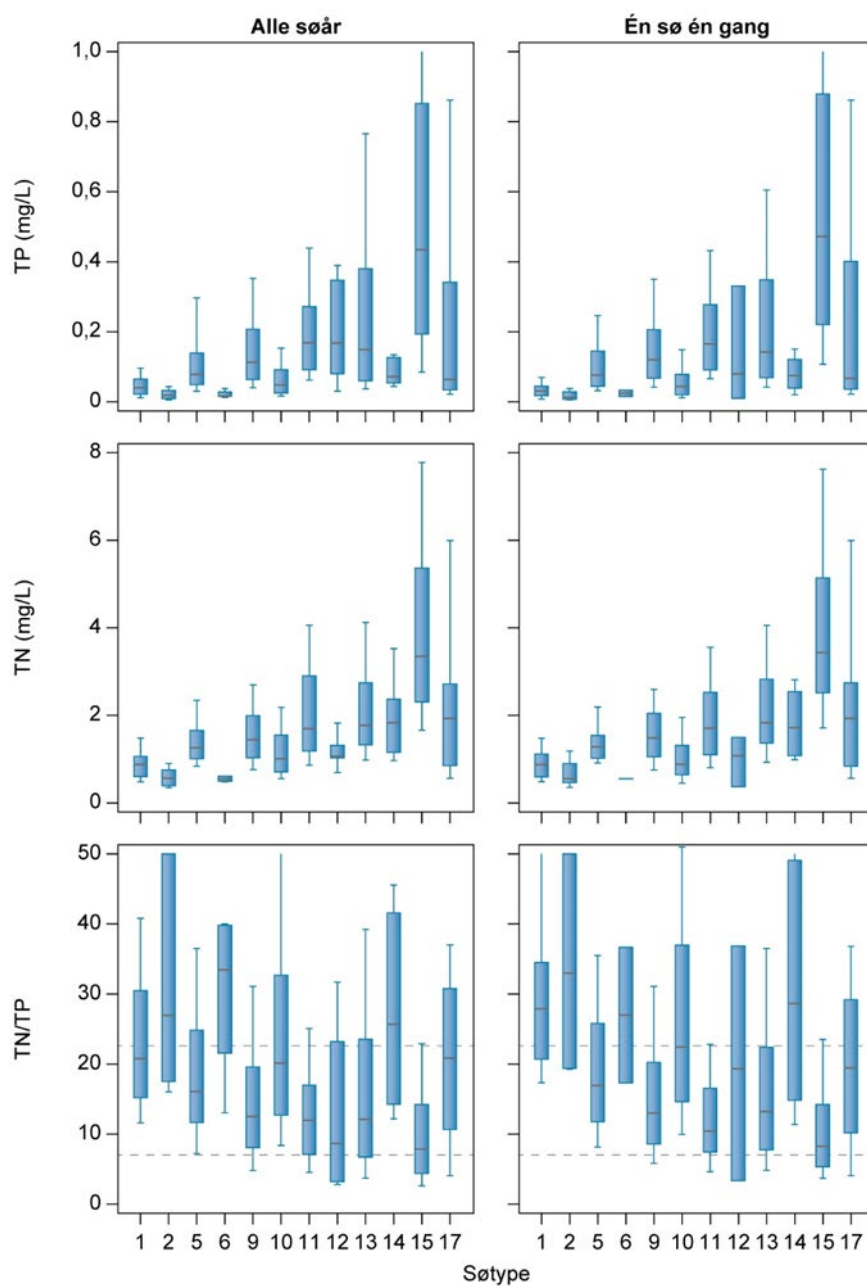
Søtype

Der er stor forskel på de 11 søtypers indhold af TP og TN (Fig. 3.2). De laval-kaline og dybe søtyper er de mest næringsfattige, mens søtype 15, den lavvandede, brunvandede, kalkrige, brakke søtype, generelt er den mest næringsrige, både hvad angår fosfor og kvælstof.

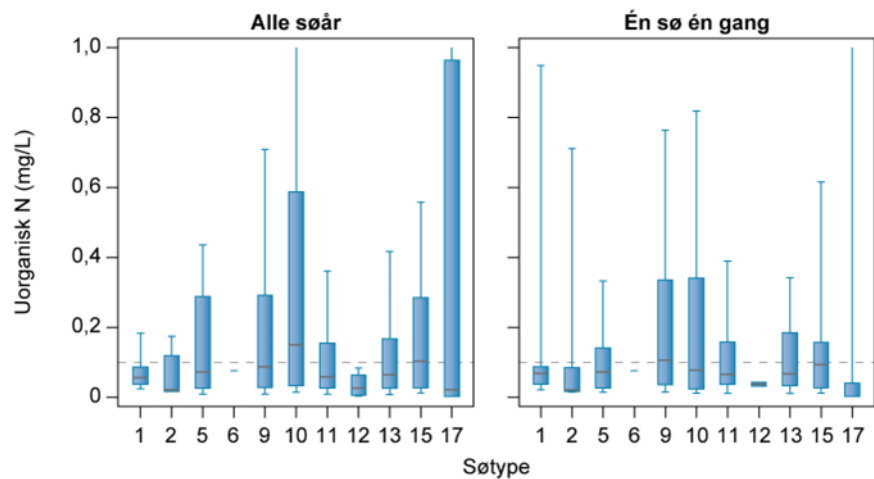
TN/TP-forholdet varierer meget inden for de enkelte søtyper. Som det også er vist i tabel 3.1, ses de laveste TN/TP-forhold generelt i søtype 12 og 15, dvs. to af de brakke søtyper. Der er også forholdsvise lave TN/TP-forhold i søtype 9, 11 og 13, hvor mange af observationerne befinder sig i det område, hvor kvælstof potentielt er begrænsende for planteplanktonets primærproduktion eller måske begrænsende sammen med fosfor.

Koncentrationer af de uorganiske kvælstoffer er meget varierende i de enkelte søtyper (Fig. 3.3). De er især lave i søtype 1 og 12, hvor langt størsteparten af observationerne (søår) som sommergennemsnit er under de 0,1 mg/L, der har været anvendt til at definere kvælstofbegrænsning (se bilag 6.1).

Figur 3.2. TP, TN og TN/TP-forholdet (sommergennemsnit) i forhold til søtype (se tabel 2.1 for beskrivelser). "Søtype 17" er søer med ukendt søtype. I figurene til venstre indgår alle søår, mens hver sø i figurene til højre kun er med én gang. Boksene med whiskers viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler med markeret medianværdi. To linjer er indsat ved henholdsvis $TN/TP = 7$ og $TN/TP = 22,6$, som kan anvendes til at indikere grænser mellem henholdsvis potentiel kvælstofbegrænsning (< 7) og potentiel fosforbegrænsning ($> 22,6$) jf. Abell et al. (2010) og Guildford & Hecky (2000). Se også bilag 6.1.



Figur 3.3. Koncentrationer af uorganiske kvælstoffer (NO_2 , NO_3 , NH_3 , NH_4) i de forskellige søtyper (se tabel 2.1 for beskrivelser). "Søtype 17" er søer med ukendt søtype. I figuren til venstre indgår alle søår, mens hver sø i figuren til højre kun er med én gang. Boksene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler med markeret medianværdi. Linjen ved 0,1 mg/L indikerer grænsen, hvorunder der kan være kvælstofbelastning (Maberly et al., 2002, 2020). Se også bilag 6.1.



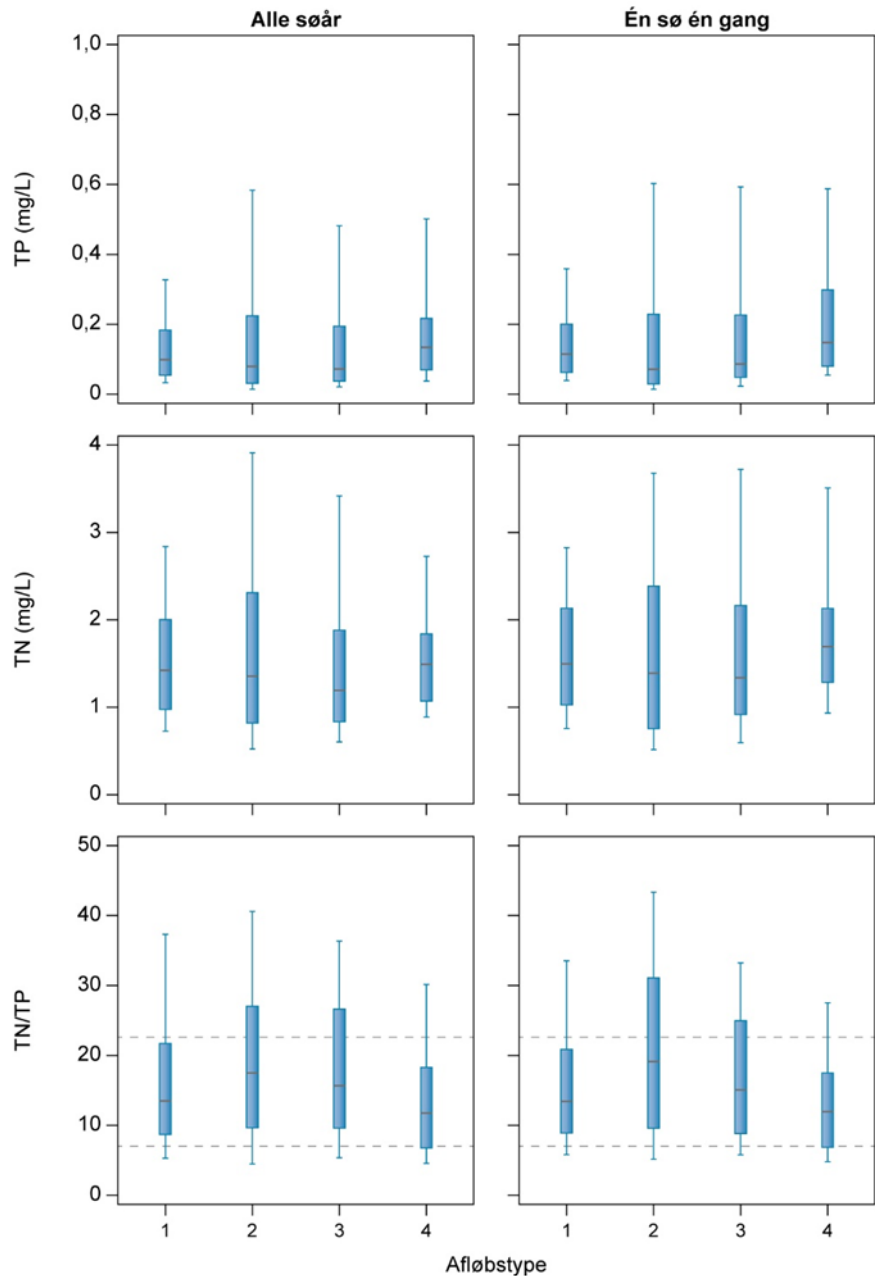
Afløbstype

Langt fra alle søer gennemstrømmes af vand via direkte tilløb og afløb, og mange af søerne omfattet af vandområdeplanerne er uden egentlige afløb, hvilket også betyder, at næringsstofbelastningen og -afstrømningen fra disse søer ikke kan beregnes. Miljøstyrelsen anvender fire typer afløb, som angivet i Fig. 3.4.

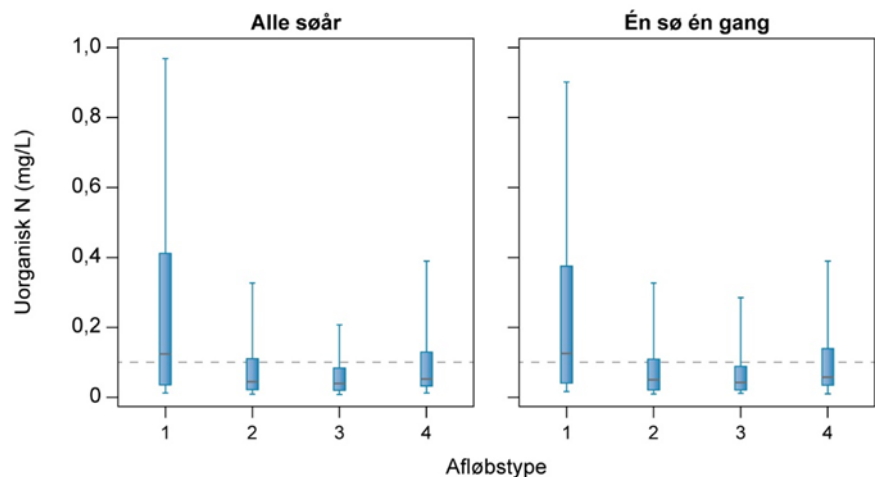
Der er store variationer i TP, TN og TN/TP-forholdet i søer med de forskellige afløbstyper, men generelt kun ringe forskel mellem dem. Der er tendens til, at TN/TP er højest i afløbstype 2 og 3, der er søer uden eller med temporært afløb, hvor belastningen ikke kan beregnes.

De uorganiske kvælstoffer i forhold til afløbstype viser generelt de højeste koncentrationer i afløbstype 1 (søer med afløb og belastning kan beregnes), men der er meget store variationer (Fig. 3.5). For de tre øvrige afløbstyper er de uorganiske kvælstofkoncentrationer ofte under grænsen på 0,1 mg/L som sommergennemsnit.

Figur 3.4. TP, TN og TN/TP-forholdet i forhold til afløbstype anvendt af MST: 1) med afløb, belastning kan beregnes, 2) uden afløb, belastning kan ikke beregnes, 3) temporært afløb, belastning kan af tekniske grunde ikke beregnes, 4) med afløb, men belastning kan af tekniske grunde ikke beregnes. I figurerne til venstre indgår alle søår, mens hver sø i figurerne til højre kun er med én gang. Boksene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler med markeret medianværdi. To linjer er indsat ved TN/TP = 7 og TN/TP = 22,6, som kan anvendes til at indikere grænser mellem henholdsvis potentiel kvælstofbegrænsning (< 7) og potentiel fosforbegrænsning (> 22,6) jf. Abell et al. (2010) og Guildford & Hecky (2000).



Figur 3.5. Koncentrationer af uorganiske kvælstoffer (NO_2 , NO_3 , NH_3 , NH_4) i forhold til afløbstype anvendt af MST: 1) med afløb, belastning kan beregnes, 2) uden afløb, belastning kan ikke beregnes, 3) temporært afløb, belastning kan af tekniske grunde ikke beregnes, 4) med afløb, men belastning kan af tekniske grunde ikke beregnes. I figuren til venstre indgår alle søår, mens hver sø i figuren til højre kun er med én gang. Boksene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler med markeret medianværdi. Linjen ved 0,1 mg/L indikerer grænsen, hvorunder der kan være kvælstofbegrænsning (Maberly et al., 2002, 2020)

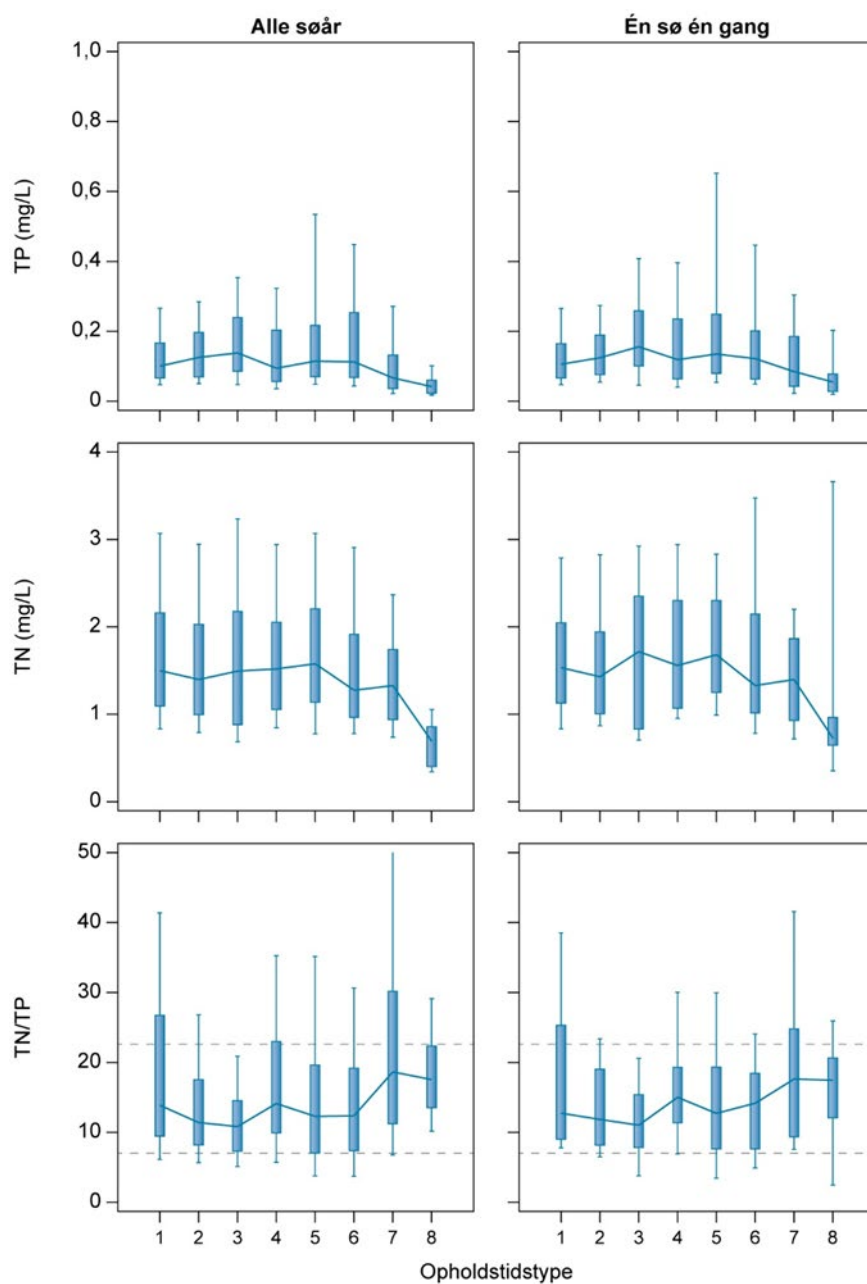


Vandets opholdstid

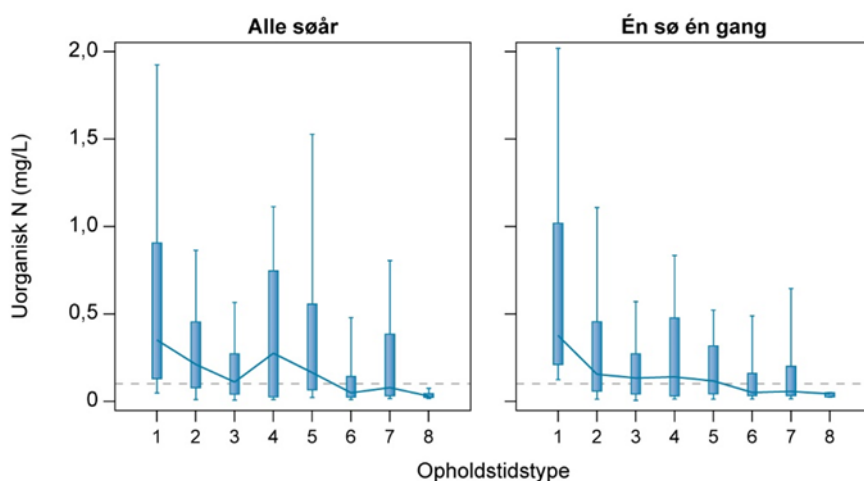
Vandets opholdstid i søerne varierer rigtig meget, fra mindre end 0,01 år (dvs. få dage) til mere end ti år. For datamaterialet som helhed er der kun få ændringer i næringsstofindhold i forhold til søvandets opholdstid (Fig. 3.6). Søerne med meget lang opholdstid (> 5 år) har generelt lavere indhold af både fosfor og kvælstof. Det gælder især indholdet af fosfor, og derfor øges TN/TP-forholdet i disse søer.

De uorganiske kvælstofformer viser generelt faldende sommergennemsnitlige koncentrationer ved øget opholdstid (Fig. 3.7). I søer, hvor opholdstiden er længere end et halvt år, er den sommergennemsnitlige koncentration af uorganisk kvælstof ofte under 0,1 mg/L.

Figur 3.6. TP, TN og TN/TP-forholdet i forhold til vandets opholdstid i søerne. Kategorier af opholdstid (år): 1:]0, 0,02], 2:]0,02, 0,05], 3:]0,05, 0,1], 4:]0,1, 0,2], 5:]0,2, 0,5], 6:]0,5-1], 7:]1, 5], 8: > 5. I figurene til venstre indgår alle søår, mens hver sø i figurene til højre kun er med én gang. To linjer er indsat ved TN/TP = 7 og TN/TP = 22,6, som kan anvendes til at indikere potentielle kvælstofbegrænsning (< 7) og fosforbegrænsning (> 22,6) jf. Abell et al. (2010) og Guildford & Hecky (2000). Boksene viser 10, 25, 75 og 90-% fraktiler. Medianværdier er forbundne.



Figur 3.7. Koncentrationer af uorganiske kvælstoffer (NO_2 , NO_3 , NH_3 , NH_4) i forhold til vandets opholdstid. Kategorier af opholdstid (år): 1:]0, 0,02], 2:]0,02, 0,05], 3:]0,05, 0,1], 4:]0,1, 0,2], 5:]0,2, 0,5], 6:]0,5-1], 7:]1, 5], 8: > 5. Data er baseret på sommergennemsnit. I figurene til venstre indgår alle søer, mens hver sø i figurene til højre kun er med én gang. Boksene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Medianværdier er forbundne. Linjen ved 0,1 mg/L indikerer grænsen, hvorunder der kan være kvælstofbegrænsning.

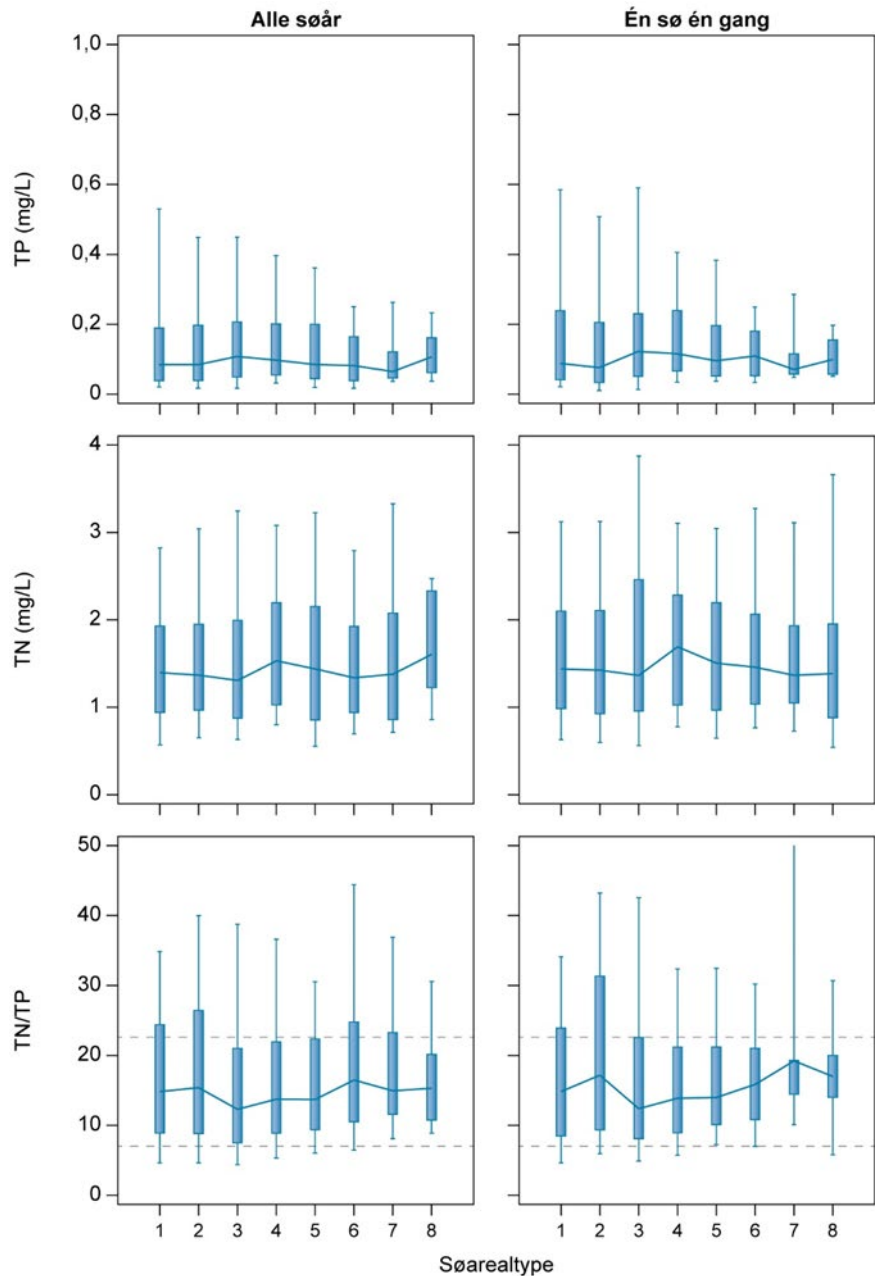


Søstørrelse

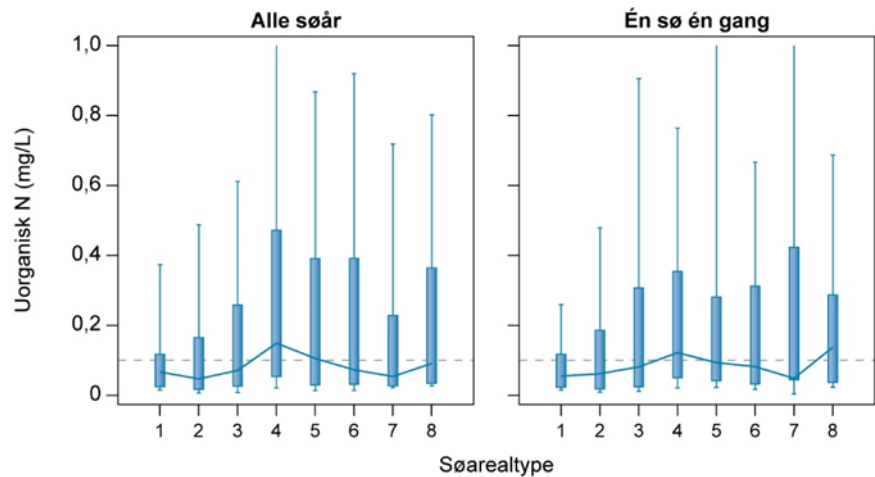
Også i forhold til søstørrelse er der stor variation i næringsstofindhold mellem de forskellige størrelseskategorier (Fig. 3.8). Der er flere meget høje værdier af TP i de mindste søer, men som medianværdi ingen væsentlige forskelle. TN/TP-forholdet er ligeledes meget varierende mellem størrelsesgrupperne, men der er heller ikke her væsentlige forskelle i medianværdierne.

De uorganiske kvælstoffer i forhold til søstørrelse viser ligeledes store forskelle mellem de enkelte størrelseskategorier (Fig. 3.9). Der er en tendens til, at koncentrationerne især er lave i de mindste søer.

Figur 3.8. TP, TN og TN/TP-forholdet i forhold til søstørrelse. Kategorier af søareal (hektar): 1:]1, 5], 2:]5, 10], 3:]10, 20], 4:]20, 50], 5:]50, 100], 6:]100-500], 7:]500, 1000], 8: > 1000. I figurene til venstre indgår alle søår, mens hver sø i figurene til højre kun er med én gang. To linjer er indsat ved TN/TP= 7 og TN/TP=22,6, som kan anvendes til at indikere grænser mellem henholdsvis potentiel kvælstofbegrænsning (< 7) og potentiel fosforbegrænsning (> 22,6) jf. Abell et al. (2010) og Guildford & Hecky (2000). Boksene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Medianværdier er forbundne.



Figur 3.9. Koncentrationer af uorganiske kvælstoffer (NO_2 , NO_3 , NH_3 , NH_4) i forhold til søstørrelse. Kategorier af søareal (hektar): 1:]1, 5], 2:]5, 10], 3:]10, 20], 4:]20, 50], 5:]50, 100], 6:]100-500], 7:]500, 1000], 8: > 1000. I figuren til venstre indgår alle søår, mens hver sø i figuren til højre kun er med én gang. Boksene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Medianværdier er forbundne. Linjen ved 0,1 mg/L indikerer grænsen, hvorunder der kan være kvælstofbegrænsning (Maberly et al., 2002, 2020).

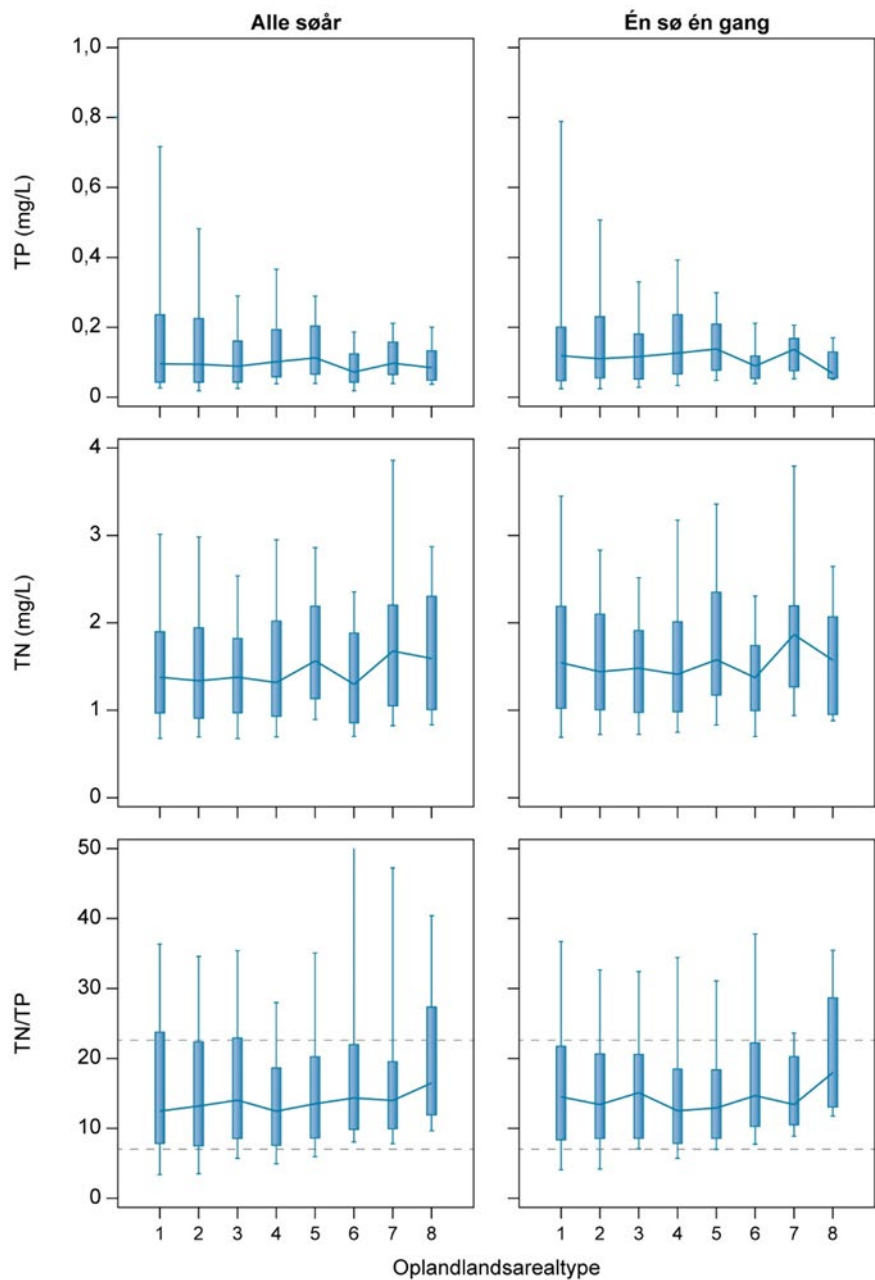


Oplandsareal

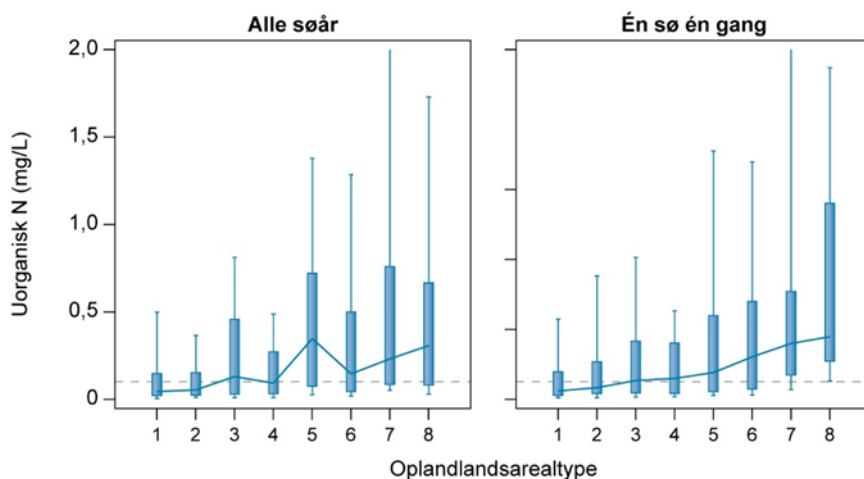
Overordnet set har oplandets størrelse ikke stor indflydelse på hverken næringsstofindhold eller forholdet mellem TN/TP (Fig. 3.10). Søerne med et lille opland har flere tilfælde med meget høje fosforkoncentrationer, og der er en tendens til, at TN/TP-forholdet øges med øget oplandsareal.

Koncentrationer af uorganiske kvælstoffer i forhold til oplandsstørrelse øges generelt ved øget oplandsareal (Fig. 3.11). Det antyder, at det er vanskeligere at begrænse algevæksten via reduktion af kvælstof i søer, som har et stort opland. I størstedelen af søerne, hvor oplandet er større end 20 km², er indholdet af uorganisk kvælstof som sommergennemsnit over 0,1 mg/L.

Figur 3.10. TP, TN og TN/TP-forholdet i forhold til søernes oplandsstørrelse (km²). Kategorier af oplandsareal (km²): 1:]0, 1], 2:]1, 5], 3:]5, 10], 4:]10, 20], 5:]20, 50], 6:]50-100], 7:]100, 200], 8: > 200. To linjer er indsat ved TN/TP= 7 og TN/TP=22,6, som kan anvendes til at indikere grænser mellem henholdsvis potentiel kvælstofbegrænsning (< 7) og potentiel fosforbegrænsning (> 22,6) jf. Abell et al. (2010) og Guildford & Hecky (2000). Data er baseret på sommergennemsnit. I figurene til venstre indgår alle søår, mens hver sø i figurene til højre kun er med én gang. Boksene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Medianværdier er forbundne.



Figur 3.11. Koncentrationer af uorganiske kvælstoffer (NO₂, NO₃, NH₃, NH₄) i forhold til oplandsstørrelse. Kategorier af oplandsareal (km²): 1:]0, 1], 2:]1, 5], 3:]5, 10], 4:]10, 20], 5:]20, 50], 6:]50-100], 7:]100, 200], 8: > 200. Data er baseret på sommergennemsnit. I figurerne til venstre indgår alle søår, mens hver sø i figurerne til højre kun er med én gang. Boksene viser 10, 25, 75 og 90-% fraktiler. Medianværdier er forbundne. Linjen ved 0,1 mg/L indikerer grænsen, hvorunder der kan være kvælstofbegrænsning (Maberly et al., 2002, 2020).

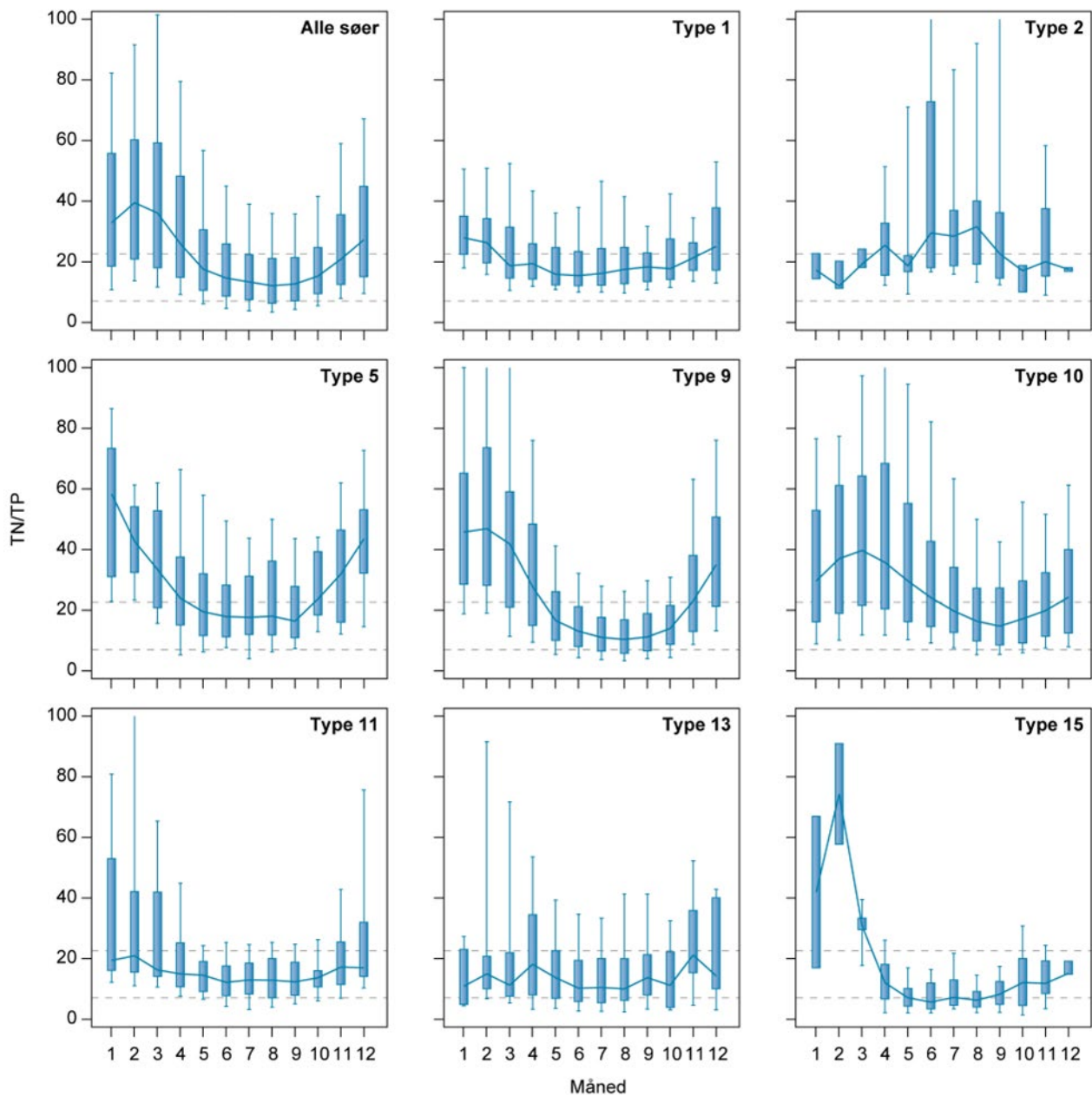


3.2 Analyser af månedsgennemsnit

I dette afsnit undersøges de sæsonmæssige koncentrationer af kvælstof og fosfor. Antallet af søer, der indgår i analyserne, er væsentlig lavere end ved analyserne af de sommergennemsnitlige værdier. Sæsonvariationer er kun set i forhold til de forskellige søtyper.

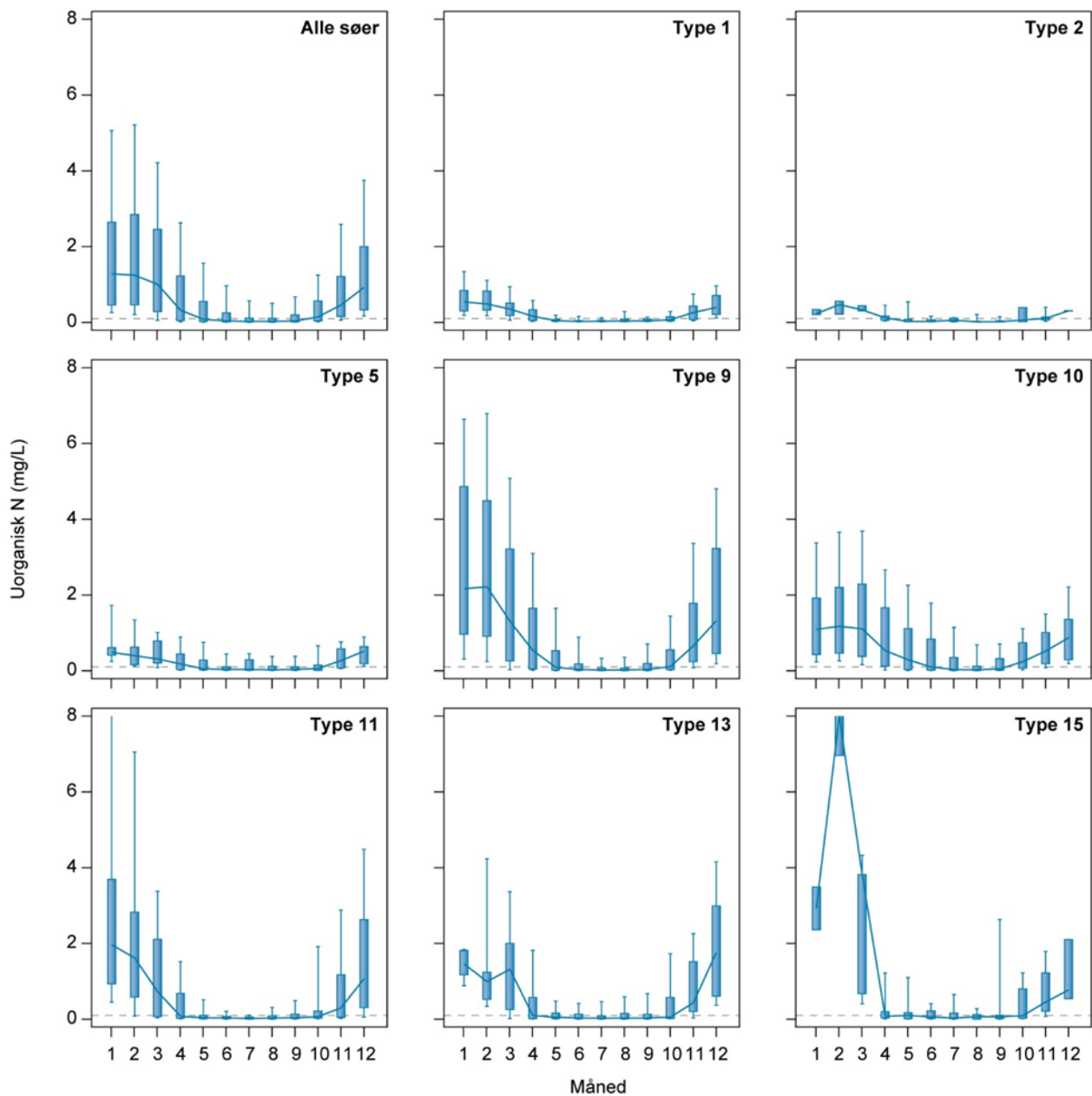
Søtype

TN/TP-forholdet i de forskellige søtyper viser en mere eller mindre markant variation i næsten alle søtyper, hvor det højeste TN/TP-forhold typisk ses i vinterhalvåret (Fig. 3.12). Mindst markant er sæsonvariationen i søtype 1, 2 og 13 og mest markant i søtype 9, 11 og 15. I de sidstnævnte søtyper er TN/TP-forholdet lavt i næsten alle søer fra juni til september.



Figur 3.12. TN/TP-forholdet (månedsgennemsnit) i forskellige søtyper (se tabel 2.1 for beskrivelser). Alle søer er anvendt. Boksene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Medianværdier er forbundne. To linjer er indsat ved TN/TP = 7 og TN/TP = 22,6, som kan anvendes til at indikere grænser mellem henholdsvis potentiel kvælstofbegrænsning (< 7) og potentiel fosforbegrænsning (> 22,6) jf. Abell et al. (2010) og Guildford & Hecky (2000).

Der er stor forskel i de uorganiske kvælstofformers koncentrationer mellem de forskellige søtyper (Fig. 3.13). I de kalkfattige søtyper (søtype 1, 2 og 5) er indholdet af uorganisk kvælstof lavt næsten hele året. I de øvrige søtyper er der en markant sæsonmæssig variation, hvor indholdet er højt i vinterperioden og lavt om sommeren. I søtype 9 er koncentrationen under 0,1 mg/L i de fleste søer fra juni til august, mens de gælder hele perioden fra maj til oktober i søtype 11, 13 og 15.



Figur 3.13. Koncentrationer gennem sæsonen af uorganiske kvælstoffer (NO_2 , NO_3 , NH_3 , NH_4) i de forskellige søtyper (se tabel 2.1 for beskrivelser). Data er baseret på månedsgennemsnit. Alle søår er anvendt. Boksene viser 10, 25, 75 og 90 %-fraktiler. Medianværdier er forbundne. Linjen ved 0,1 mg/L indikerer grænsen, hvorunder der kan være kvælstofbegrænsning (Maberly et al., 2002, 2020).

4 Konklusioner og anbefalinger

Resultaterne af analyserne i dette forprojekt viser store variationer i koncentrationerne af fosfor og kvælstof på tværs af alle søtyper og grupperinger af søer.

Hvis TN/TP-forholdet bruges som en rettesnor for, hvornår kvælstof kan være begrænsende for primærproduktionen, er der rigtig mange af søerne i vandområdeplanerne, hvor TN/TP-forholdet ligger på et niveau, hvor kvælstof potentielt kan være begrænsende for planteplanktonet. I forhold til søtype ses de laveste TN/TP-forhold i søtype 12 og 15 - to brakke søtyper - og dermed der, hvor de største effekter af reducerede kvælstofkoncentrationer kan forventes. Også flere af de andre søtyper - herunder den hyppigste søtype, type 9 - har TN/TP-forhold, der indikerer, at kvælstof kan være et begrænsende næringsstof i nogle af søerne.

De øvrige grupperinger af søer (afløbstype, vandets opholdstid, søstørrelse og oplandsareal) viser meget store variationer i TN/TP-forholdet inden for alle grupperinger og ingen klare tendenser i forhold til nogen af parametrene.

De uorganiske kvælstofformer viser også koncentrationer, hvor der som sommergennemsnit kan forventes kvælstofbegrænsning i en del søer. De uorganiske kvælstofformer er især lave i søer med lille oplandsareal og søer med lang opholdstid.

Den sæsonmæssige variation i både TN/TP-forholdet og de uorganiske former af kvælstof er mere eller mindre markant for alle søtyper. Mønsteret er høje TN/TP-forhold og høje uorganiske kvælstofkoncentrationer i vinterhalvåret og lave TN/TP-forhold og uorganiske kvælstofkoncentrationer i sommerperioden. I de kalkfattige søtyper er variationen mindre, men her er de uorganiske koncentrationer også relativt lave året rundt, dog også her især om sommeren. I den almindelige søtype 9 er TN/TP-forholdet og de uorganiske koncentrationer af kvælstof lavt i mange søer, især i juli og august. I de brakke søtyper gælder det for en længere del af sommerperioden.

Resultaterne fra dette forprojekt viser, at kvælstof potentielt spiller en rolle for tilstanden i mange af de danske søer, og at det er sandsynligt, at man vil kunne forvente forbedringer i tilstanden i nogle søer ved også at mindske tilførslen og koncentrationen af kvælstof.

Det anbefales derfor at undersøge nærmere den rolle, som kvælstof generelt spiller i danske søer, for at afgøre under hvilke forhold en ændring af tilførslen af kvælstof kan antages at påvirke den økologiske tilstand.

5 Referencer

Abell, J., D. Özkundakci & D. Hamilton, 2010. Nitrogen and phosphorus limitation of phytoplankton growth in New Zealand lakes: implications for eutrophication control. *Ecosystems* 13: 966–977.

Bachman, R. W., 1984. Calculation of phosphorus and nitrogen loadings to natural and artificial lakes. *Verhandlungen die Internationale Vereinigung der Limnologie* 22: 239–243.
<https://doi.org/10.1080/03680770.1983.11897295>.

Christensen, J. P. A., M. Søndergaard, L. S. Johansson & T. L. Lauridsen, 2023. Kvælstofindsats i brakvandssøer (Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi; Nr. 571).

Ekholm P., 2008. N:P ratios in estimation nutrient limitation in aquatic systems: https://www.cost869.alterra.nl/fs/fs_npratio.pdf

Guildford, S.J. & R. E. Hecky, 2000. Total nitrogen, total phosphorus, and nutrient limitation in lakes and oceans: is there a common relationship? *Limnology & Oceanography* 45: 1213–1223.

Jeppesen, E., J. P. Jensen, M. Søndergaard, T. Lauridsen, P. H. Møller & K. Sandby, 1998. Changes in nitrogen retention in shallow eutrophic lakes following a decline in density of cyprinids. *Archiv für Hydrobiologie* 142: 129–151. <https://doi.org/10.1127/archiv-hydrobiol/142/1998/129>.

Kolzau et al., 2014: Seasonal patterns of nitrogen and phosphorus limitation in four German lakes and the predictability of limitation status from ambient nutrient concentrations.
<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0096065>

Lijklema, L., H. Jansen & R. M. M. Roijackers, 1989. Eutrophication in the Netherlands. *Water Science and Technology* 21: 1899–1902.
<https://doi.org/10.2166/wst.1989.0197>.

Maberly S. C., L. King, M. M. Dent, R. I. Jones & C. E. Gibson, 2002. Nutrient limitation of phytoplankton and periphyton growth in upland lakes. *Freshwater Biology* 47: 2136–2152.

Maberly S. C., J.-O. Pitt, S. Davies & L. Carvalho, 2020. Nitrogen and phosphorus limitation and the management of small productive lakes. *Inland Waters* 10: 159–172.

Miljøstyrelsen, 2023. Vandområdeplaner 2021-2027.
<https://mst.dk/erhverv/rent-miljoe-og-sikker-forsyning/vandmiljoe/vandomraadeplaner/overblik-vandomraadeplanerne-2021-2027/vandomraadeplanerne-2021-2027>.

OECD, 1982. Eutrophication of waters. Monitoring, assessments and control. OECD, Paris.

Saunders, D. L. & J. Kalff, 2001. Nitrogen retention in wetlands, lakes and rivers. *Hydrobiologia* 443: 205–212.
<https://doi.org/10.1023/A:1017506914063>.

Søndergaard, M., T. L. Lauridsen, L. S. Johansson & E. Jeppesen, 2017. Nitrogen or phosphorus limitation in lakes and its impact on phytoplankton biomass and submerged macrophyte cover. *Hydrobiologia* 795: 35–48.
<https://doi.org/10.1007/s10750-017-3110-x>

Søndergaard, M., L. S. Johansson & E. Levi, 2018. Danske søtyper. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 162 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 282
<http://dce2.au.dk/pub/SR282.pdf>

Søndergaard, M., T. A. Davidson, T. L. Lauridsen, L. S. Johansson & E. Jeppesen, 2022. Submerged macrophytes in Danish lakes: impact of morphological and chemical factors on abundance and species richness. *Hydrobiologia* 849: 3789–3800. <https://doi.org/10.1007/s10750-021-04759-8>

Savic, R., M. Stajic, B. Blagojevic, A. Bezdán, M. Vranesevic, V. Nikolic Jokanovic, A. Baumgertel, M. B. Kovacic, J. Horvatinec & G. Ondrasek, 2022. Nitrogen and phosphorus concentrations and their ratios as indicators of water quality and eutrophication of the hydro-system danube–Tisza–Danube. *Agriculture* 12 (7), 935.

Windolf, J., E. Jeppesen, J. P. Jensen & P. Kristensen, 1996. Modelling the seasonal variation in in-lake concentration and retention of nitrogen in 16 shallow lakes: a four-year mass balance study. *Biogeochemistry* 33: 25–44.
<https://doi.org/10.1007/BF00000968>.

6 Bilag

6.1 Eksempler på citater vedr. kvælstofs betydning i søer

I litteraturen findes en række publikationer, som forholder sig til spørgsmålet om, hvorvidt søer er fosfor- eller kvælstofbegrænsede, og om TN/TP-forholdet og uorganiske kvælstofkoncentrationer kan bruges som indikatorer. Her er vist nogle eksempler, hvor der angives værdier. De fulde referencer er vist i referencelisten.

Guildford & Hecky (2000)

N-deficiency indicators were highly variable and did not show any clear dependence on TN concentration. The TN:TP ratio was indicative of which nutrient would become limiting for growth in both lakes and oceans. When all sites are compared, N-deficient growth was apparent at TN:TP μ 20 (molar), whereas P-deficient growth consistently occurred when TN:TP μ 50 (molar). At intermediate TN:TP ratios, either N or P can become deficient. We conclude that N or P limitation of algal growth is a product of the TN and TP concentration and the TN:TP ratio rather than a product of whether the system of study is marine or freshwater.

Abel et al. (2008)

A review of published results of nutrient enrichment experiments showed that N more frequently limited lake productivity than P; however, stoichiometric analysis of a sample of 121 NZ lakes indicates that the majority (52.9%) of lakes have a mean ratio of total nitrogen (TN) to total phosphorus (TP) (by mass) indicative of potential P-limitation ($>15:1$), whereas only 14.0% of lakes have mean TN:TP indicative of potential N-limitation ($<7:1$).

Ekholm (2008)

However, the nutrient content of phytoplankton is not constant but varies according to species, season and environmental conditions. For example, Redfield ratios are the exception rather than the rule in freshwater [6]. Therefore, a more accurate estimate of nutrient limitation is obtained when nutrient ratios are examined together with controlled biotests (bottle tests, mesocosms) with different levels of P and N amendments to natural phytoplankton community (e.g. [2]). Comparison of algal biotest results and chemical nutrient concentrations in lakes has suggested that a mass N:P ratio above 17 indicates P limitation, a ratio below 10 indicates N limitation and values between 10 and 17 indicate that either of the nutrients may be limiting [7–9]. The corresponding molecular ratios are > 38 , < 22 and $22–38$, respectively.

The above values were calculated using concentrations of total nutrients, i.e. nutrients largely bound by phytoplankton and other particles ('seston'). Inorganic nutrient fractions have been used in estimating the potential for nutrient limitation, for example by calculating the ratio of dissolved inorganic N and P in water (DIN:DIP, [10]) and the combination of total and inorganic nutrients [10, 11]. The absolute concentration level also plays a crucial role: if the concentration of DIP exceeds ca. $5 \mu\text{g l}^{-1}$ and DIN ca. $300–500 \mu\text{g l}^{-1}$ neither P nor N may be limiting [12]. Thus, the limiting factor may depend on the level of nutrient concentrations. In addition to a proxy of limiting nutrient, N:P ratio has been used in estimating the risk for cyanobacterial blooms. N-fixing cyanobacteria tend to dominate in lakes with a (total) mass N:P ratio

below 22 [13]. Note that the growth of cyanobacteria is dependent on several other factors too, such as hydrodynamic and light conditions and the structure of food web [14–16].

Kolzau et al. (2014)

N and P were both limiting at some point. For the shallow lakes there was a trend from P limitation in spring to N or light limitation later in the year, while the deep lake remained predominantly P limited.

Maberly et al. (2020)

A meta-analysis of nutrient enrichment experiments from >500 freshwater studies showed that, on average, freshwater phytoplankton are as commonly N limited as P limited, and addition of both nutrients typically produced the strongest response, indicating co-limitation (Elser et al. Citation2007). A similar conclusion was reached by Lewis and Wurtsbaugh (Citation2008) based on a review of the available literature. Bergstrom and Jansson (Citation2006) raised the intriguing possibility that in the Northern Hemisphere the anthropogenic increase in atmospheric N deposition has driven some lakes from their natural N-limited state toward P limitation; in other words, before human intervention, more lakes in the Northern Hemisphere would have been N limited, a finding supported by more recent work (Elser, Andersen et al. Citation2009a, Citation2009b). The steady accumulation of P in lakes over the last century has tended to drive lakes in the opposite direction, toward N limitation.

N limitation was considered probable when molar N:P < 10 and P limitation when N:P > 20. Potential co-limitation was indicated by intermediate ratios. P limitation is possible in months when SRP < 10 µg L⁻¹, and N limitation is possible in months when DIN < 0.1 mg L⁻¹ (Maberly et al. Citation2002).

Savic et al. (2022)

The TN:TP mass ratio as an indicator of the eutrophication pointed out N and P co-limitation (TN:TP 8-24) in 64% of samples, N limitation (TN:TP < 8) was detected in 27% and P limitation (TN:TP > 24) in the remaining 9% of water samples. Such observations indicate slow-flowing, lowland water courses exposed to the effects of non-point and point contamination sources as nutrient runoff from the surrounding farmlands and/or urban and industrial zones, but further investigation is needed for clarification. These results are an important starting point for reducing N and P runoff loads and controlling source pollution to improve water quality and underpin recovery from eutrophication in the studied watershed.

KVÆLSTOFS BETYDNING I DANSKE SØER

Mange af de danske søer omfattet af vandområdeplanerne opfylder ikke kravet om mindst god økologisk tilstand. Hidtil har man forsøgt at forbedre deres tilstand ved at reducere tilførslen af fosfor, fordi fosfor normalt betragtes som det begrænsende næringsstof i søer. Der er imidlertid en stigende erkendelse af, at kvælstof spiller en vigtigere rolle i søerne end tidligere antaget. En indsats over for tilførslen af kvælstof kunne derfor måske også bidrage til at forbedre søers økologiske tilstand. I denne rapport er der gennemført en række indledende analyser, der anvender søernes indhold af uorganiske kvælstofformer og forholdet mellem kvælstof og fosfor til at vurdere kvælstofs betydning. Analyserne viser, at det giver god mening at kigge nærmere på kvælstofs rolle i visse typer af søer og på visse tidspunkter af året.