

Fosfor og ~~hav~~^{SØ} – hvordan håndterer vi ophobningen?

Fosfor i søer – status - fremtid

Indhold:

- Effekter af fosfor i søer
 - Fosfor og økologisk tilstand
 - Betyder kvælstof noget?
 - Er søer "sink or source" af fosfor?
 - Ophobning af fosfor i sedimentet, forsinkelser/intern fosforbelastning
- Fremtiden/forvaltningen af søer
 - Restaurering af søer
 - Genanvendelsen af fosfor (projektet i Ormstrup Sø)
 - Grøn omstilling



Martin Søndergaard
Ecoscience, Silkeborg



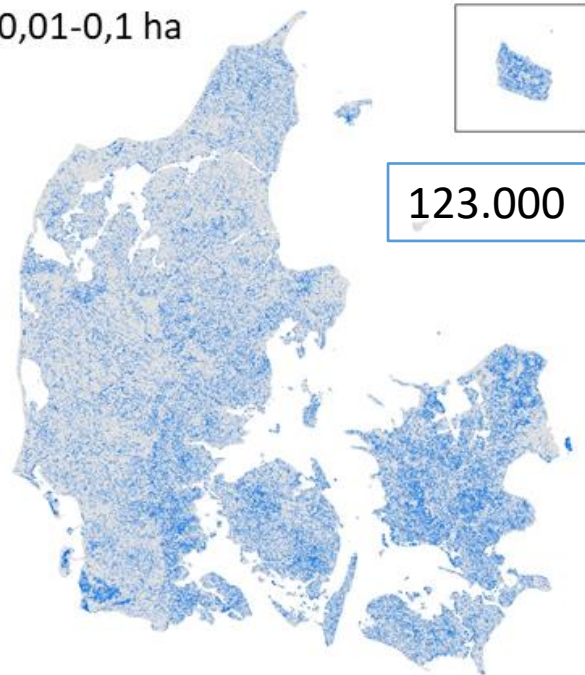
Søer og vandhuller i Danmark

I alt ca. 173.000 > 100 m²

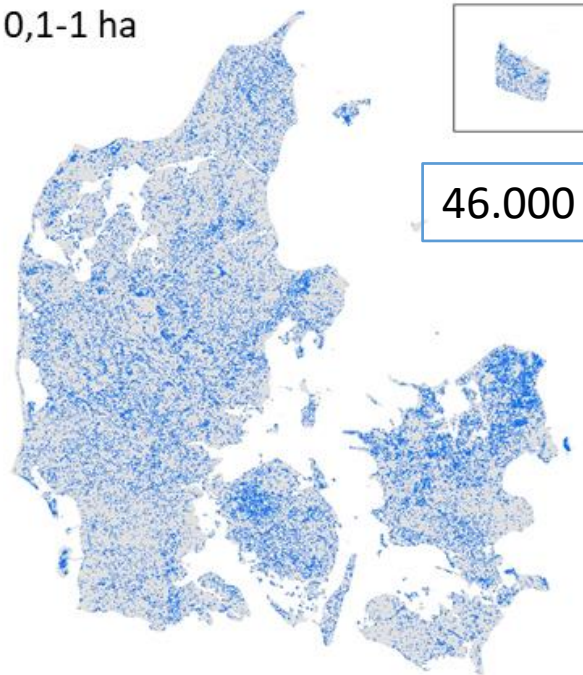
MST: De nye vandområdeplaner omfatter 986 søer (alle > 5 ha, nogle/få mellem 1 og 5 ha)

MST: Ca. 20% vurderes at være i god økologisk tilstand

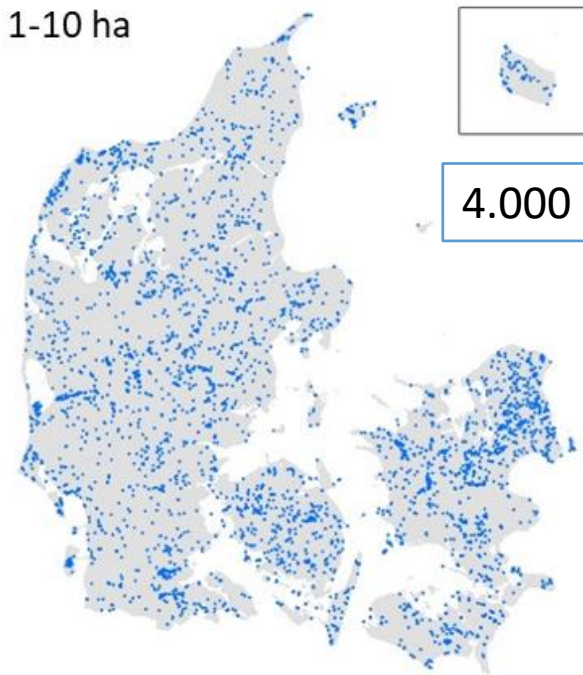
0,01-0,1 ha



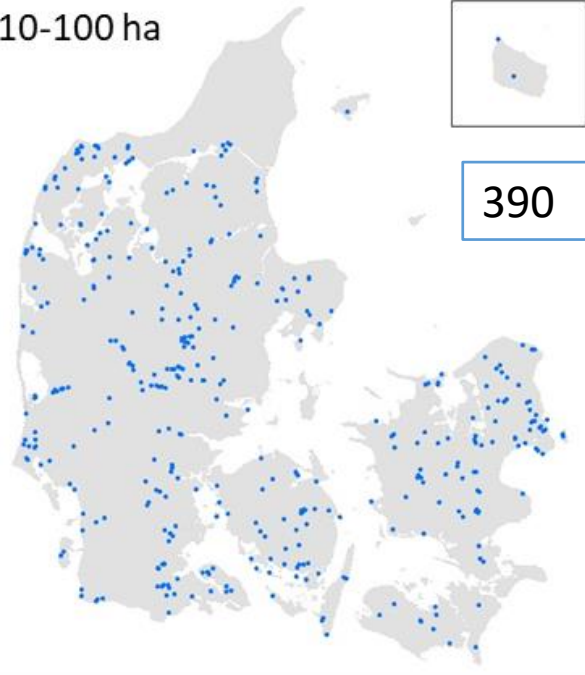
0,1-1 ha



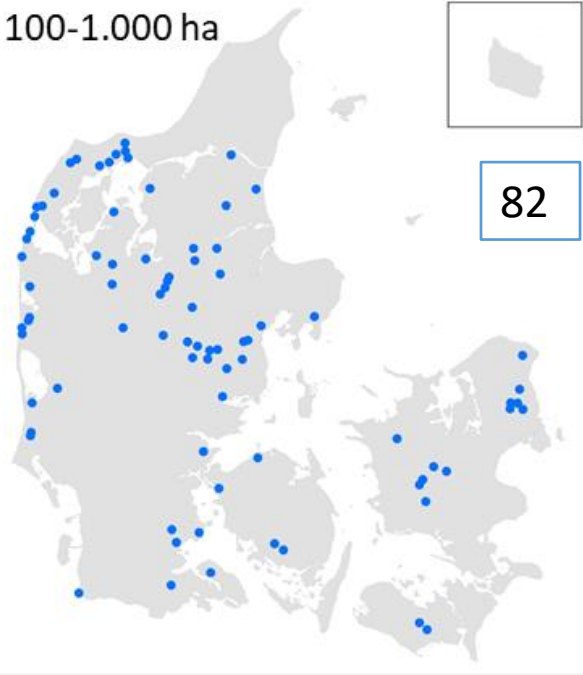
1-10 ha



10-100 ha



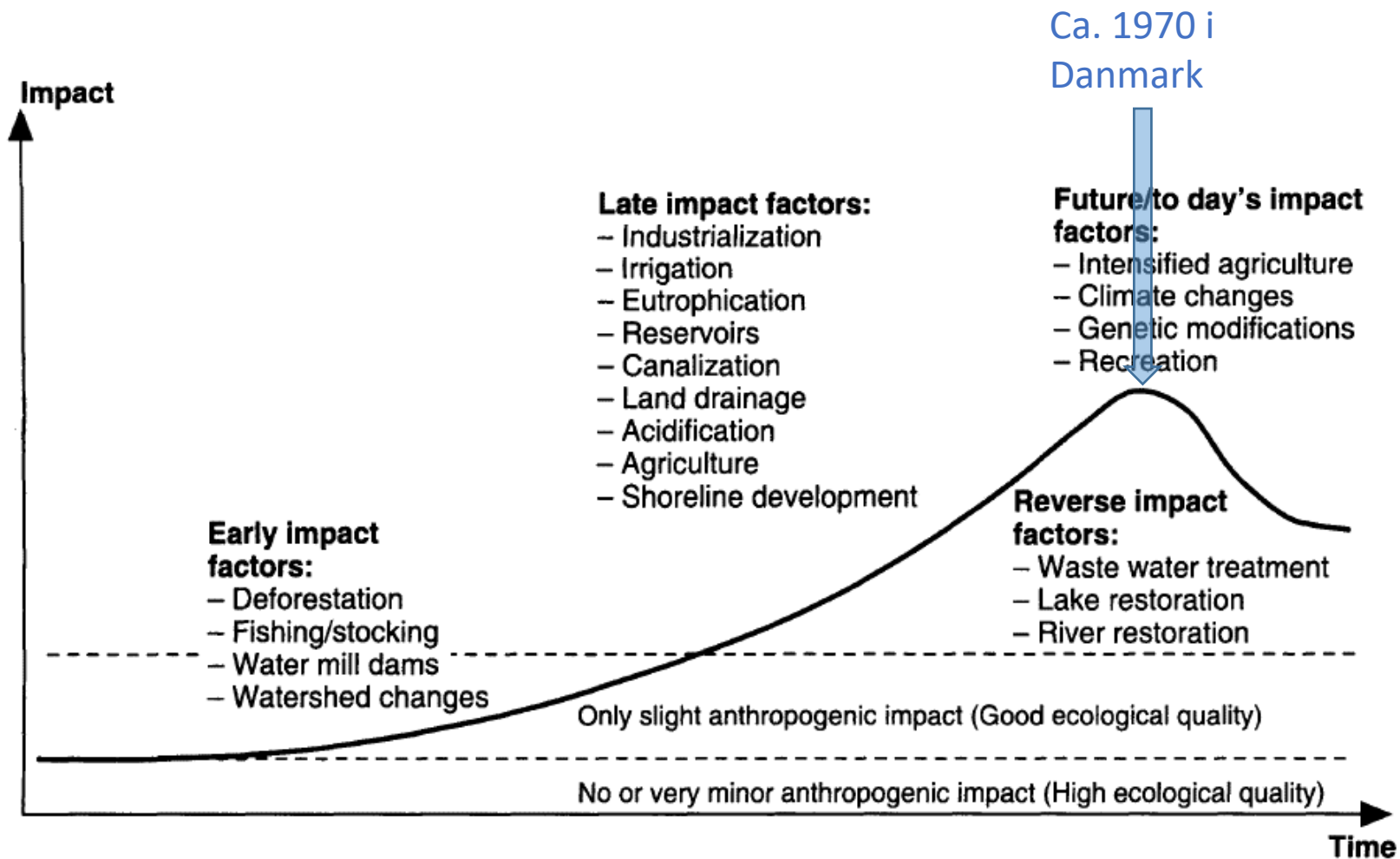
100-1.000 ha



>1.000 ha



Menneskets påvirkning af akvatiske økosystemer de sidste århundreder



I de fleste søer stadigvæk et godt stykke vej før de er upåvirkede/i god økologisk tilstand.

Årsag:

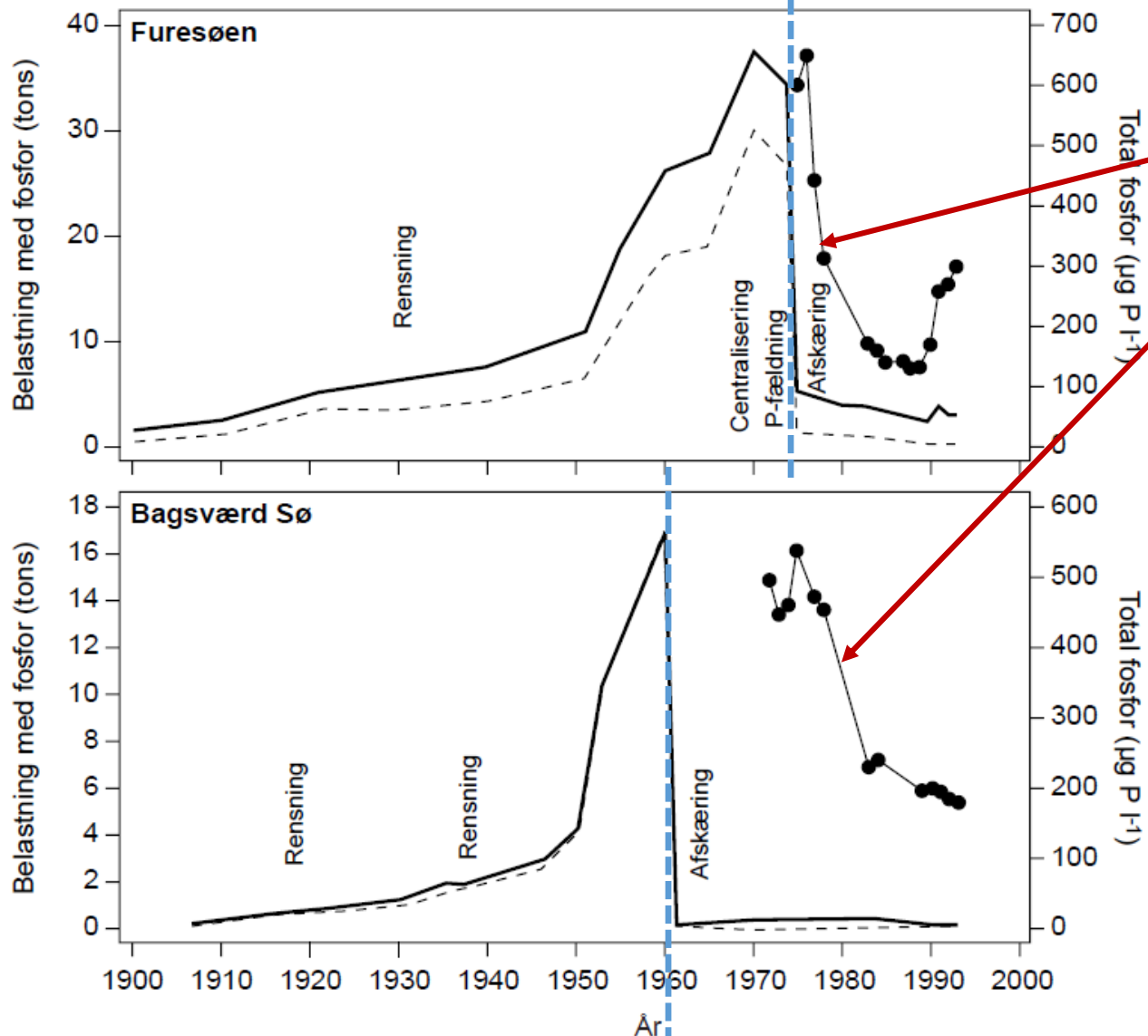
1. Den eksterne næringsstoftilførsel er stadigvæk for høj.
2. Søer reagerer forsinket blandt andet på grund af fosfor ophobet i sedimentet.

Fig. 1. Generalized scheme showing the historical development of main human impact factors on freshwater ecosystems in industrialized countries and how this has effected the ecological quality.

Søndergaard & Jeppesen, 2007, J.Appl. Ecology 44

Furesø og Bagsværd Sø, fosfortilførsel og søkoncentration

Reduceret ekstern fosfortilførsel



Forsinket effekt på søindhold på grund af intern fosforfrigivelse og/eller langsom gennemstrømning

Meget søspecifik, men ofte 10-15 års forsinkelse, nogen gange længere (se Søbygård Sø senere)

Figur 4.1 Udviklingen i fosfortilførsel (total, —) og spildevand (--) og søkoncentration (...) i Furesøen og Bagsværd Sø i 1900-årtallet. Fra Jensen et al. (1997).

Fra: Jensen et al., 1997. Ferske vandområder (Faglig rapport fra DMU, nr 211).

Reduceret ekstern fosfortilførsel

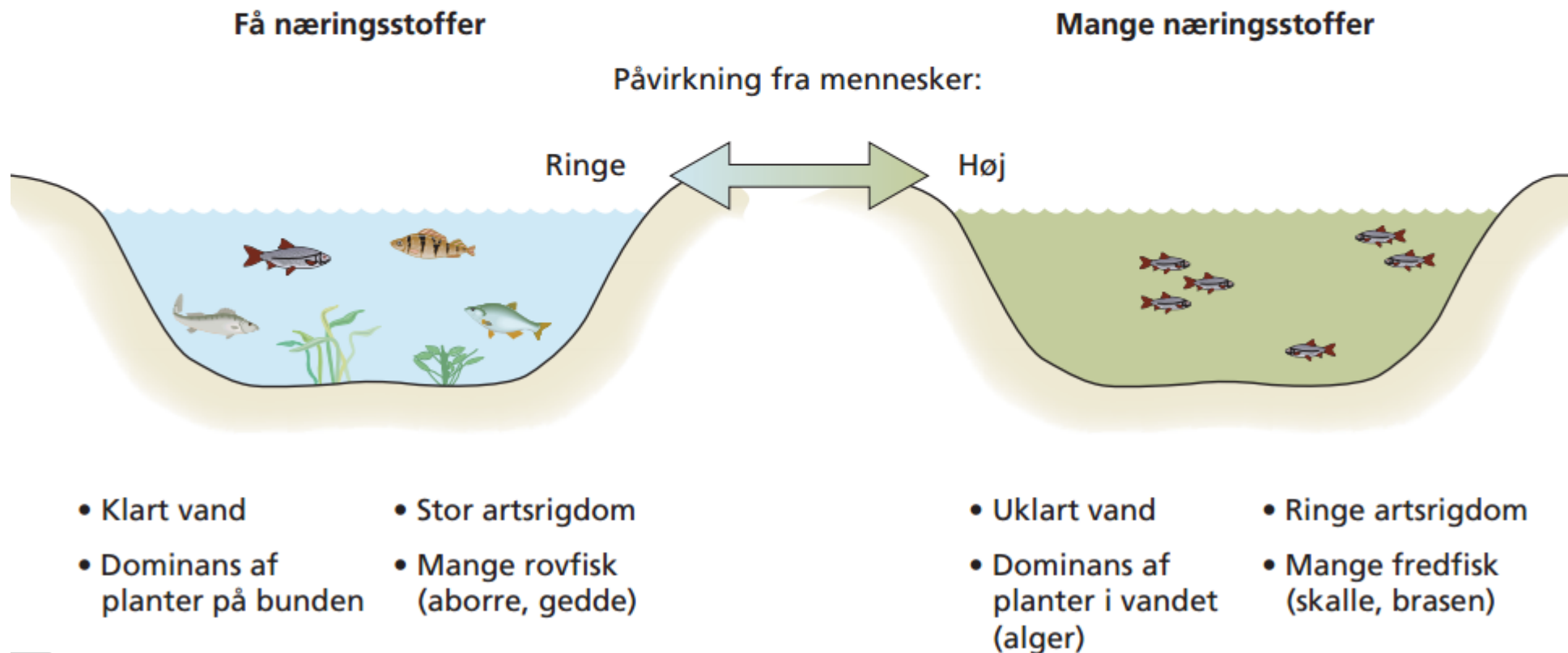
Overordnede påvirkninger via næringsstoffer

Figur 3-4

De overordnede ændringer, der indtræffer, når søer tilføres flere næringsstoffer.

Løsning: reducér tilførslen af næringsstoffer.

Lyder måske simpelt, men ...



Fra: Søndergaard et al., 1999.
Danske søer og deres restaurering (Temarapport nr. 24 fra DMU)

Fosfor eller kvælstof, hvad er vigtigst for søers tilstand?



Lake experiments in Canada with +/- P addition

Based on: Schindler 1977. Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science* 195: 260–262.



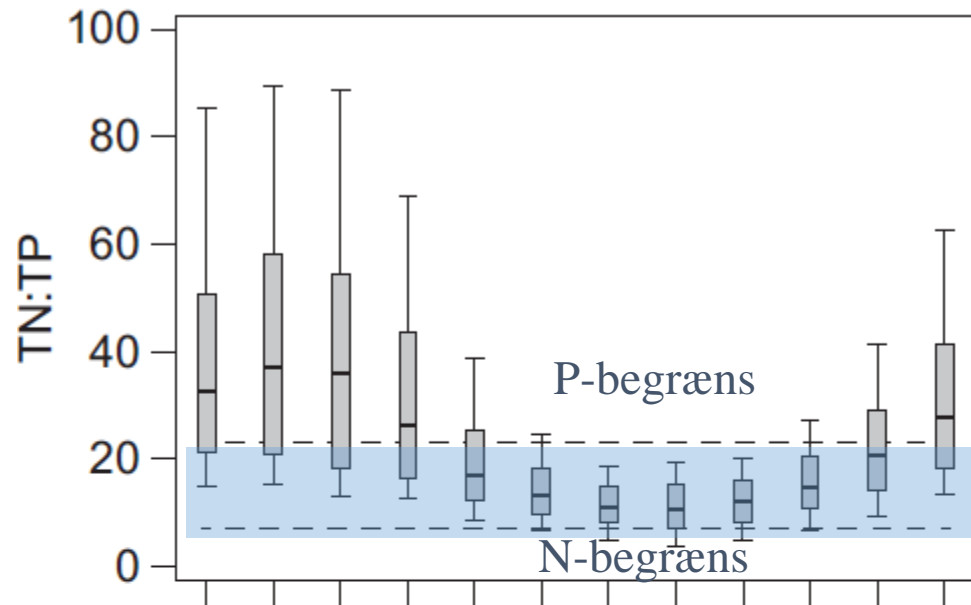
+ C + N

+ C + N + P

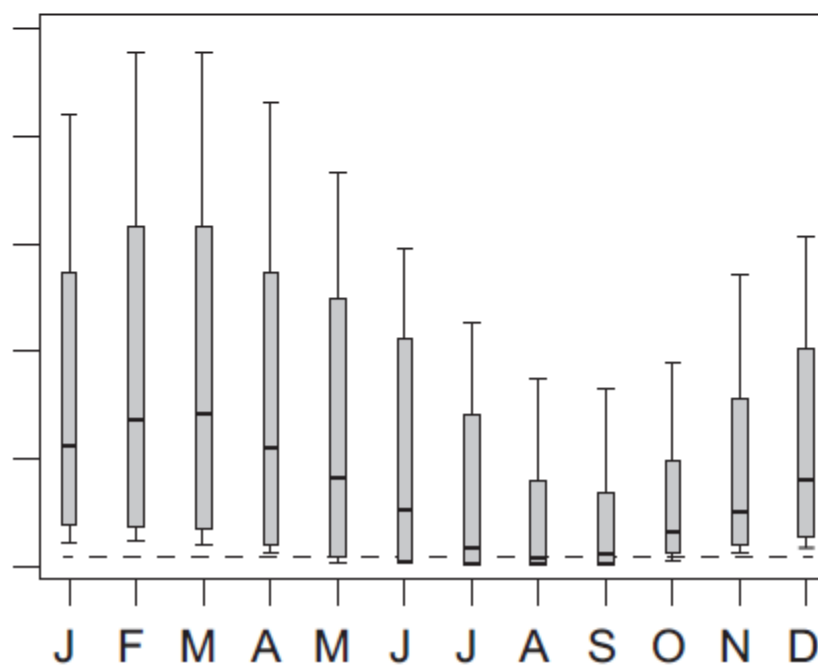
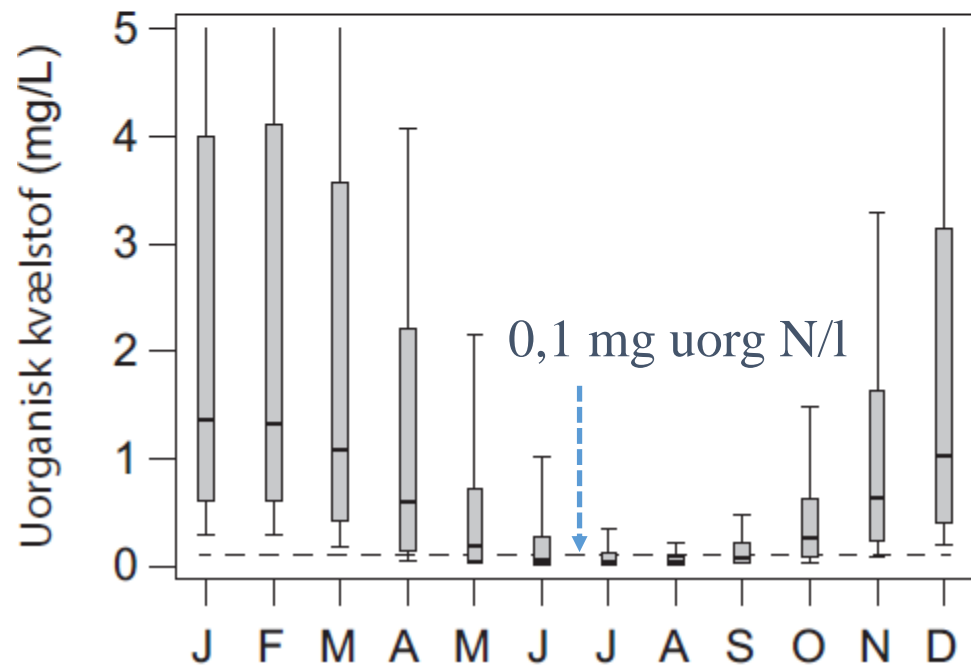
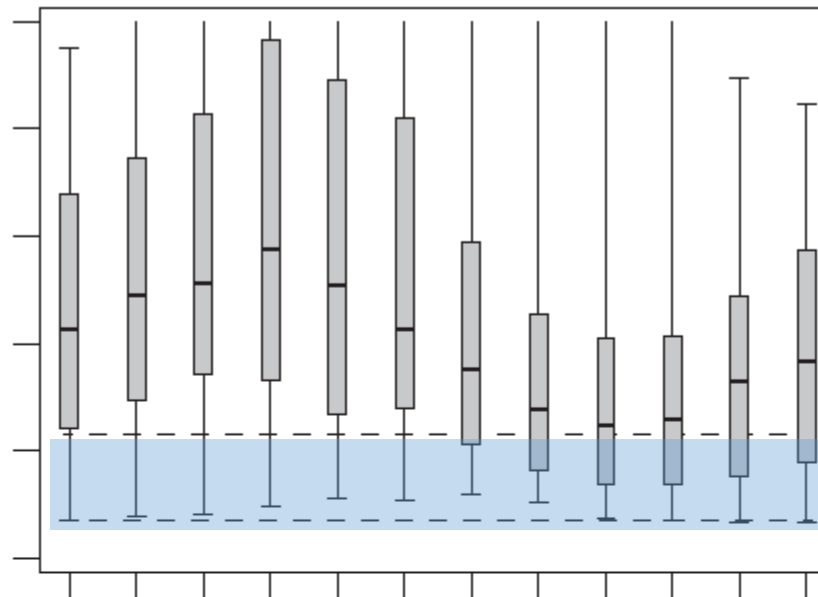
+ C + N + P

Dsv. fosfor, men måske
ikke helt så simpelt

Lavvandede søer



Dybe søer

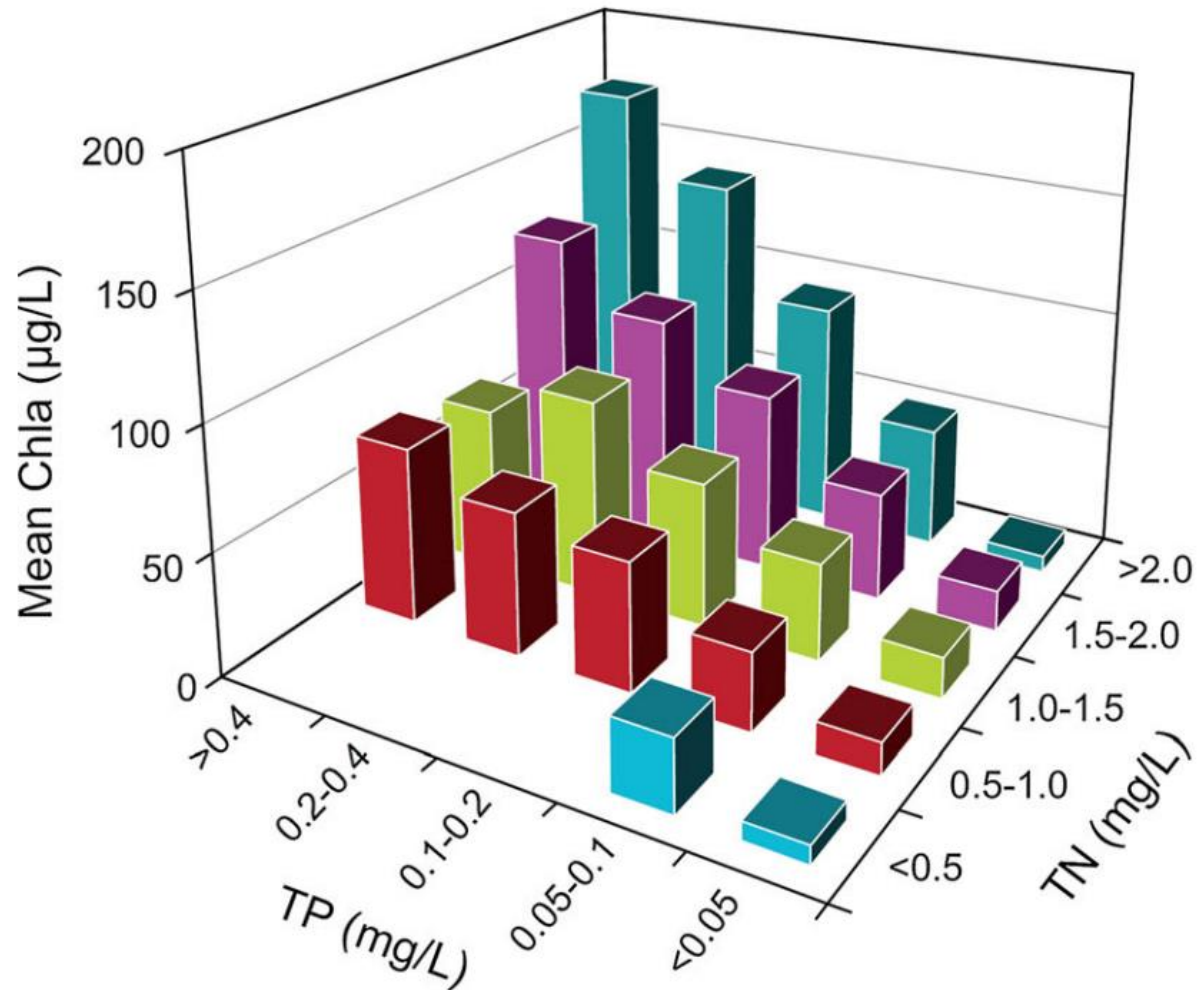


Generelt:
Fosfor vigtigt
om foråret,
men kvælstof
bliver i løbet af
sommeren
vigtigere

Søndergaard et al., 2017. Nitrogen or phosphorus limitation in lakes and its impact on phytoplankton biomass and submerged macrophyte cover. Hydrobiologia 795: 35–48

12 lavvandede (n-mdr=2590), 6 dybe (n-mdr=1723) danske søer,

Effekter af kvælstof og fosfor på indholdet af klorofyl a (biomassen af fytoplankton)



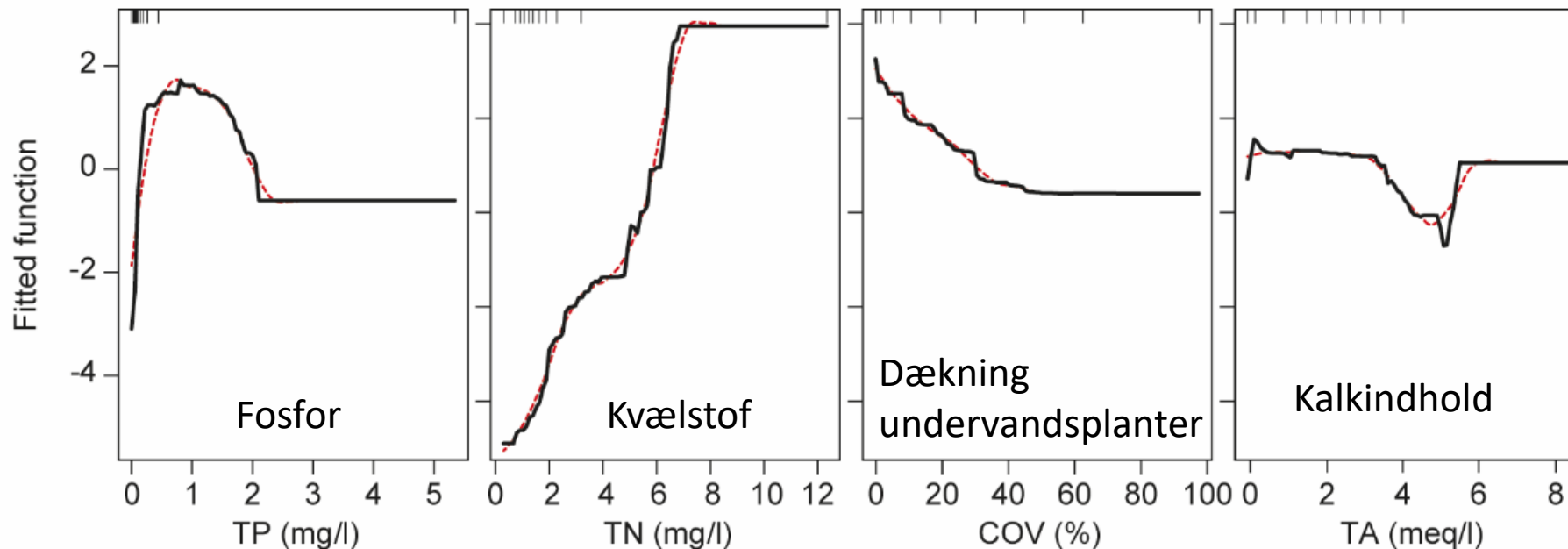
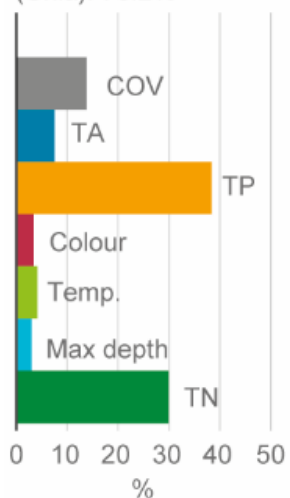
Mean Chla in shallow lakes with various TP and TN Categories (mean summer of TN and TP, total number of lake years = 1743)



Søndergaard et al., 2017. Nitrogen or phosphorus limitation in lakes and its impact on phytoplankton biomass and submerged macrophyte cover. Hydrobiologia 795: 35–48

Hvad bestemmer indholdet af klorofyl i danske søer?

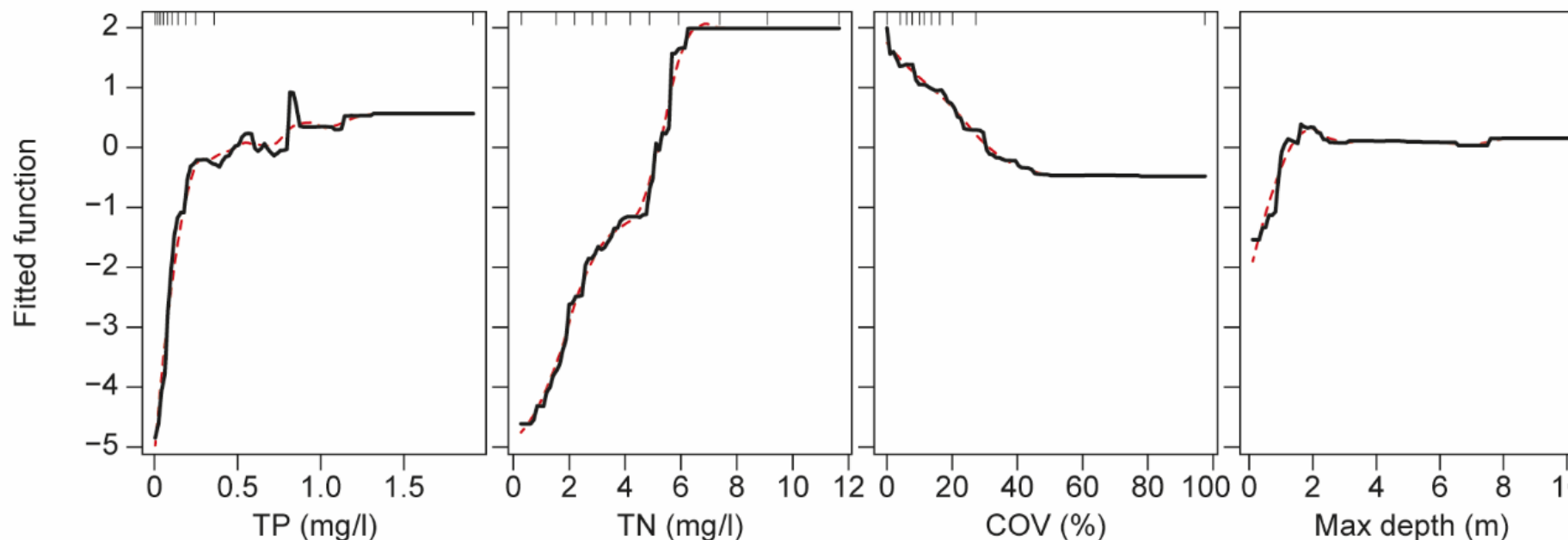
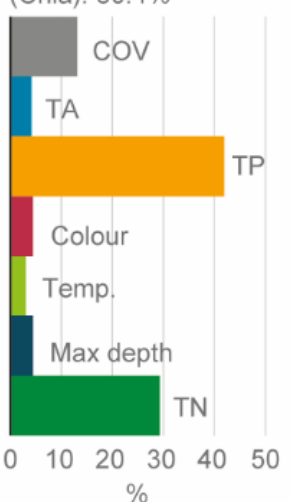
Total variance explained (Chla): 78.2%



Alle søer

Så fosfor er vigtigst, men kvælstof er også vigtig

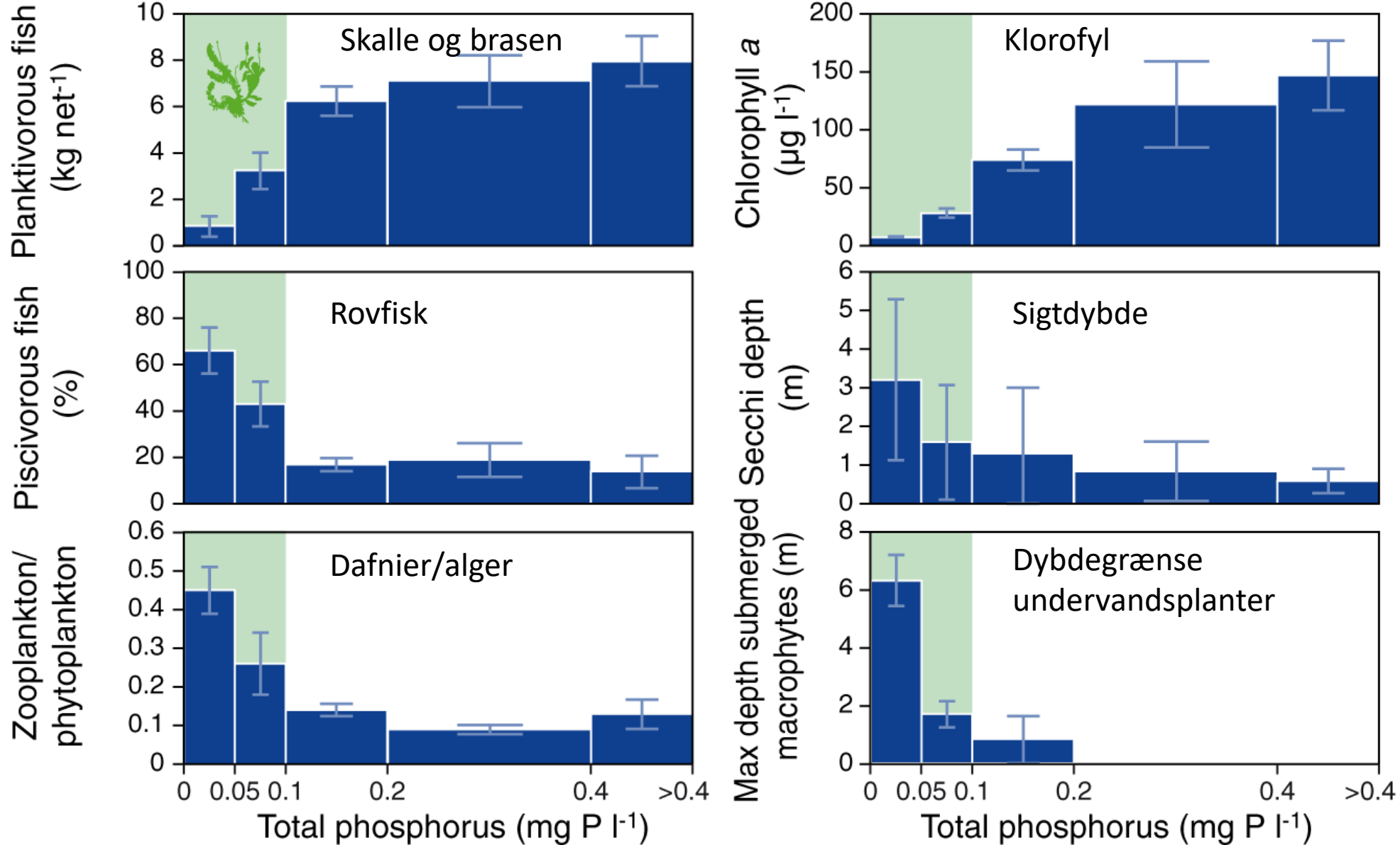
Total variance explained (Chla): 80.4%



TP < 2 mg/l

Søndergaard et al. 2022. Submerged macrophytes in Danish lakes: impact of morphological and chemical factors on abundance and species richness. Hydrobiologia.

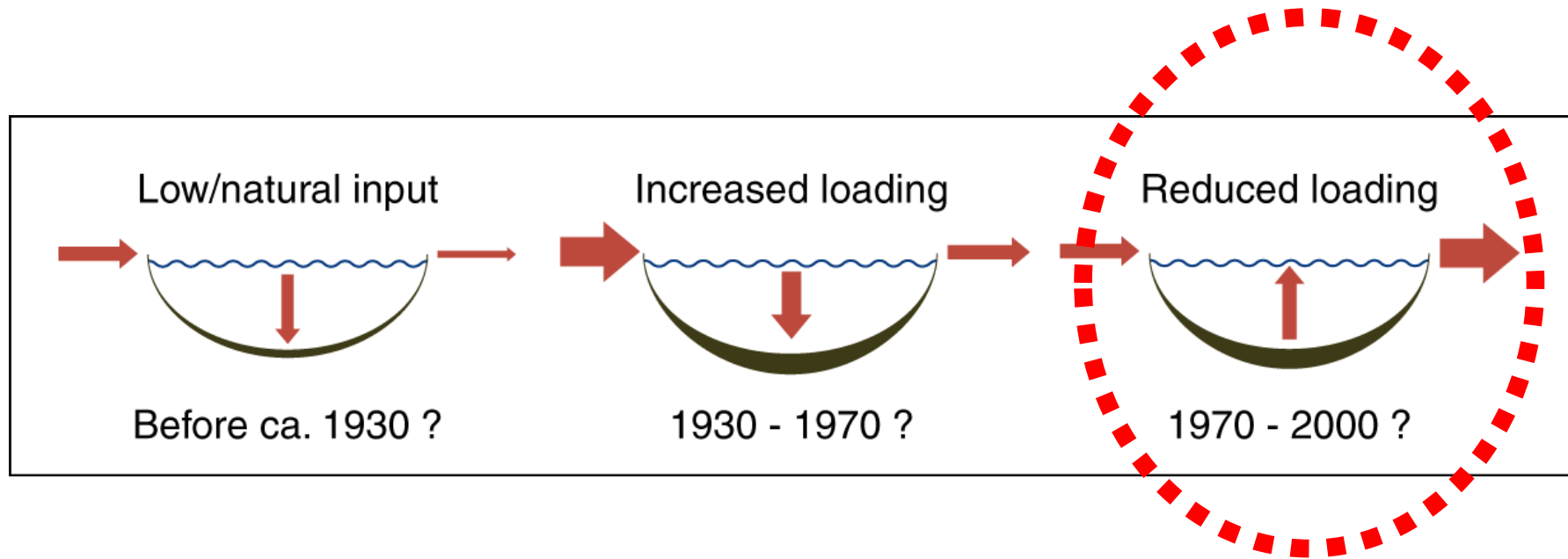
Ændringer langs en fosforgradient i søer



I vandområdeplanerne er indsatsen kun rettet mod at mindske tilførslen af fosfor (+ nogle søer, som restaureres)

Fra: Søndergaard et al., 1999. Danske søer og deres restaurering (Temarapport nr. 24 fra DMU)

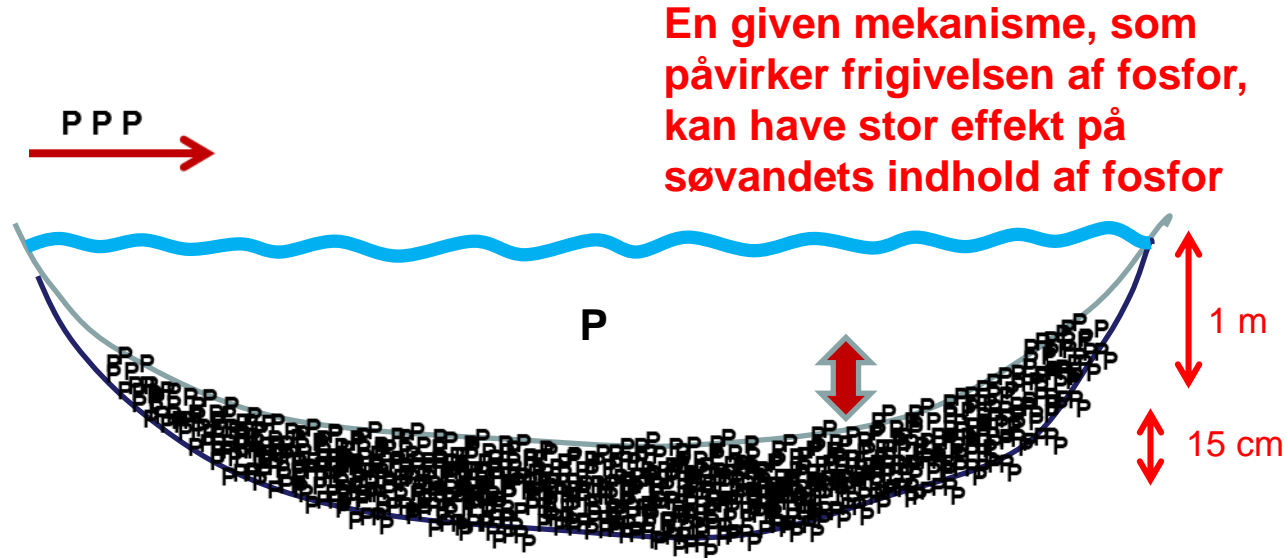
Effekten af reduceret eksten fosfortilførsel kan være forsinket på grund af ophobet fosfor på bunden af søen (intern fosforbelastning)



Fra Søndergaard 2007. Næringsstoffdynamik i søer - med fokus på fosfor, sedimentet og restaurering af søer. / Doktordisputats Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet, 2007.

Hvor meget fosfor er der i søer – vand/sediment? Hvorfor er det så vigtigt at se på ophobningen af fosfor?

Note: alt den fosfor, som er i søers sediment, er på et eller andet tidspunkt tilført udefra.



**Så i dette eksempel gælder at:
P i vandet : årlig tilførsel udefra : fosfor i sediment =
1 : 3 : 1000**

| | |
|---------------------------|-------------------|
| Mean depth: | 1.0 m |
| Area: | 1 km ² |
| Hydraulic retention time: | 6 months |
| Mean lake water TP: | 0.10 mg P/l |
| Mean inlet TP: | 0.15 mg P/l |
| Sediment TP (0-15 cm): | 3.0 mg P/dw |

Baseret på Søndergaard & Jeppesen 2021. Internal phosphorus loading in lakes: causes, case studies, and management. red. / Alan D. Steinman; Bryan M. Spears, J. Ross Publishing.



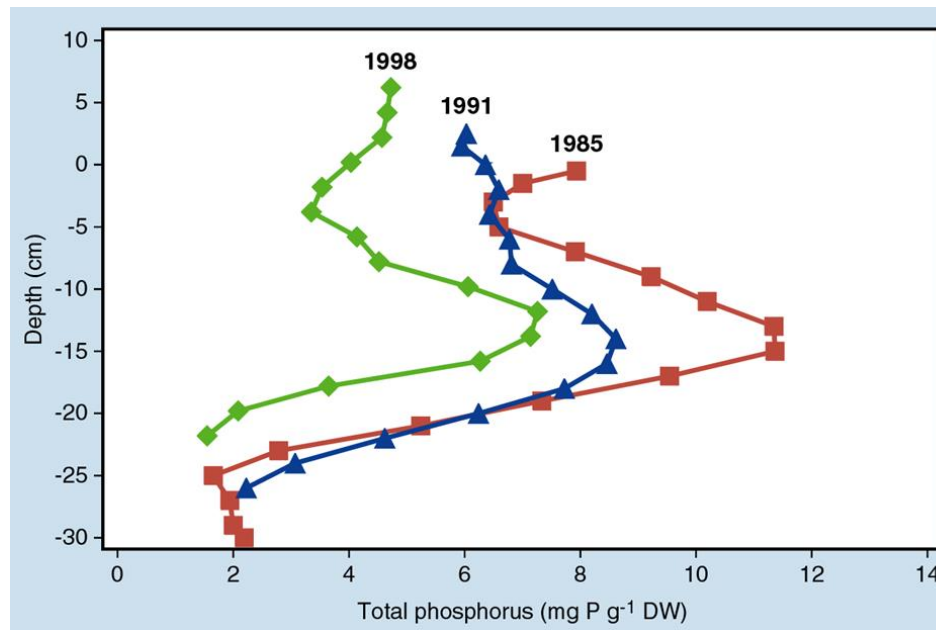
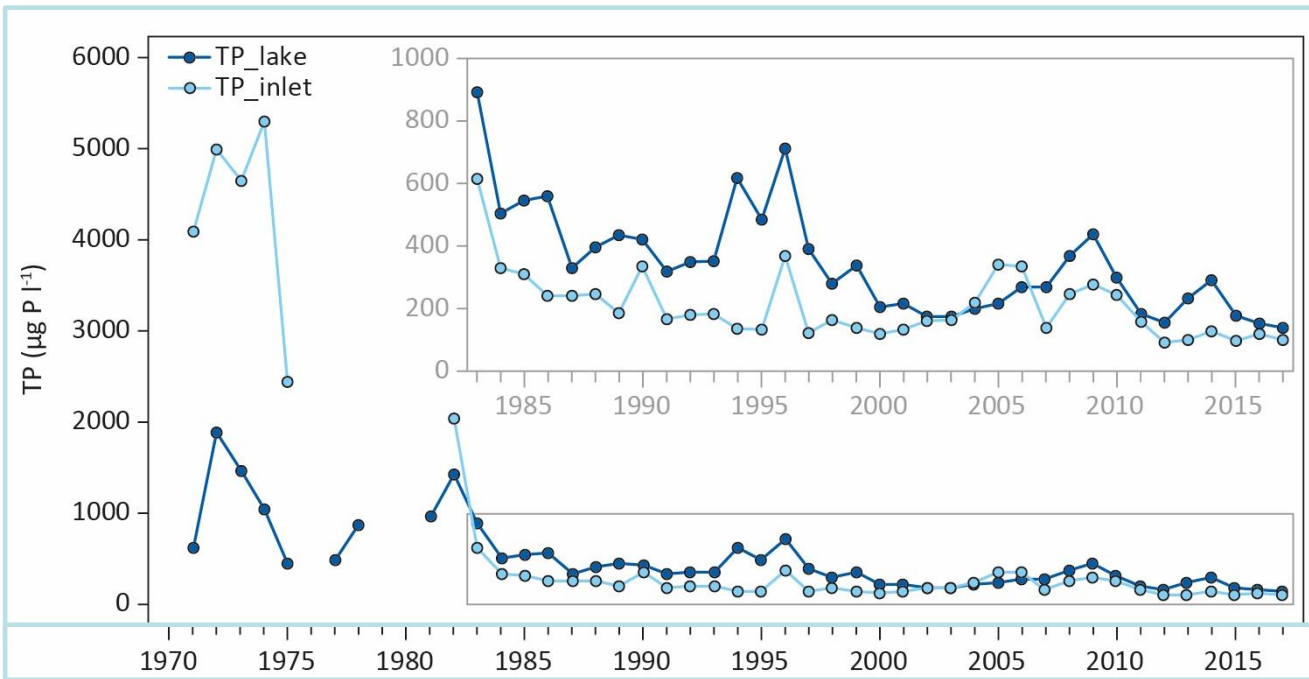
Søbygaard Sø

et (ekstremt) eksempel



Fra: Søndergaard & Jeppesen 2020. Internal phosphorus loading in lakes: causes, case studies, and management. red. / Alan D. Steinman; Bryan M. Spears, J. Ross Publishing.

1982: Fosforrensning af spildevand



Intern
fosforbelastet
i ca. 40 år

Profil af
fosfor i de
øverste 30
cm af
sedimentet

Kan/skal søer restaureres?

Ja, muligt og kan være nødvendigt, hvis der på trods af reduceret ekstern næringsstoftilførsel ikke er opnået effekter

To hovedtyper restaureringsmetoder i relation til eutrofiering:

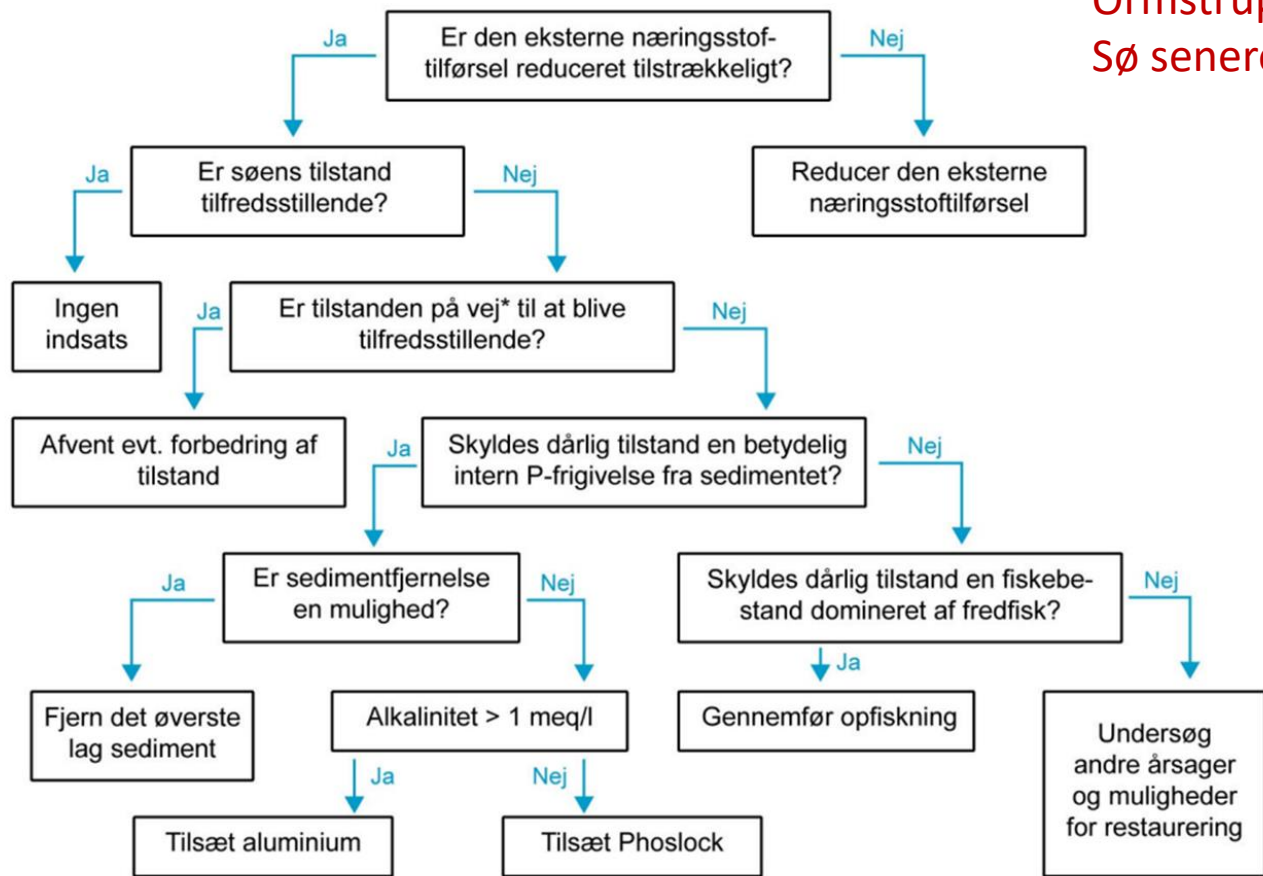
- Indgreb, der mindsker fosfortilgængeligheden og algernes vækst (bottom up control). Fysisk-kemiske metoder. For eksempel tilsætning af aluminium, som binder fosfor
- Indgreb, der forøger dyreplanktonets græsning på planteplankton (top-down control). Biologiske metoder, for eksempel opfiskning af skaller og brasen.



Søndergaard et al. 2020. Vejledning
for gennemførelse af sørestaurering
(DCE rapport nr. 382)



Beslutningstræ for restaurering af søer



Mere om Ormstrup Sø senere



Figur 0. Simplificeret flowdiagram, som kan anvendes, hvis vandkvaliteten og den økologiske tilstand ikke er tilfredsstillende i søer, og der ønskes en forbedring. Der kan være andre baggrunde for beslutninger end dem vist i diagrammet, eksempelvis hvis Phoslock ønskes anvendt frem for aluminium. *) I forbindelse med vandområdeplanerne anvendes en periode på 6-12 år (1-2 planperioder) som kriterie for værende "på vej".

Fra: Søndergaard et al. 2020. Vejledning for gennemførelse af sørestaurering (DCE rapport nr. 382)

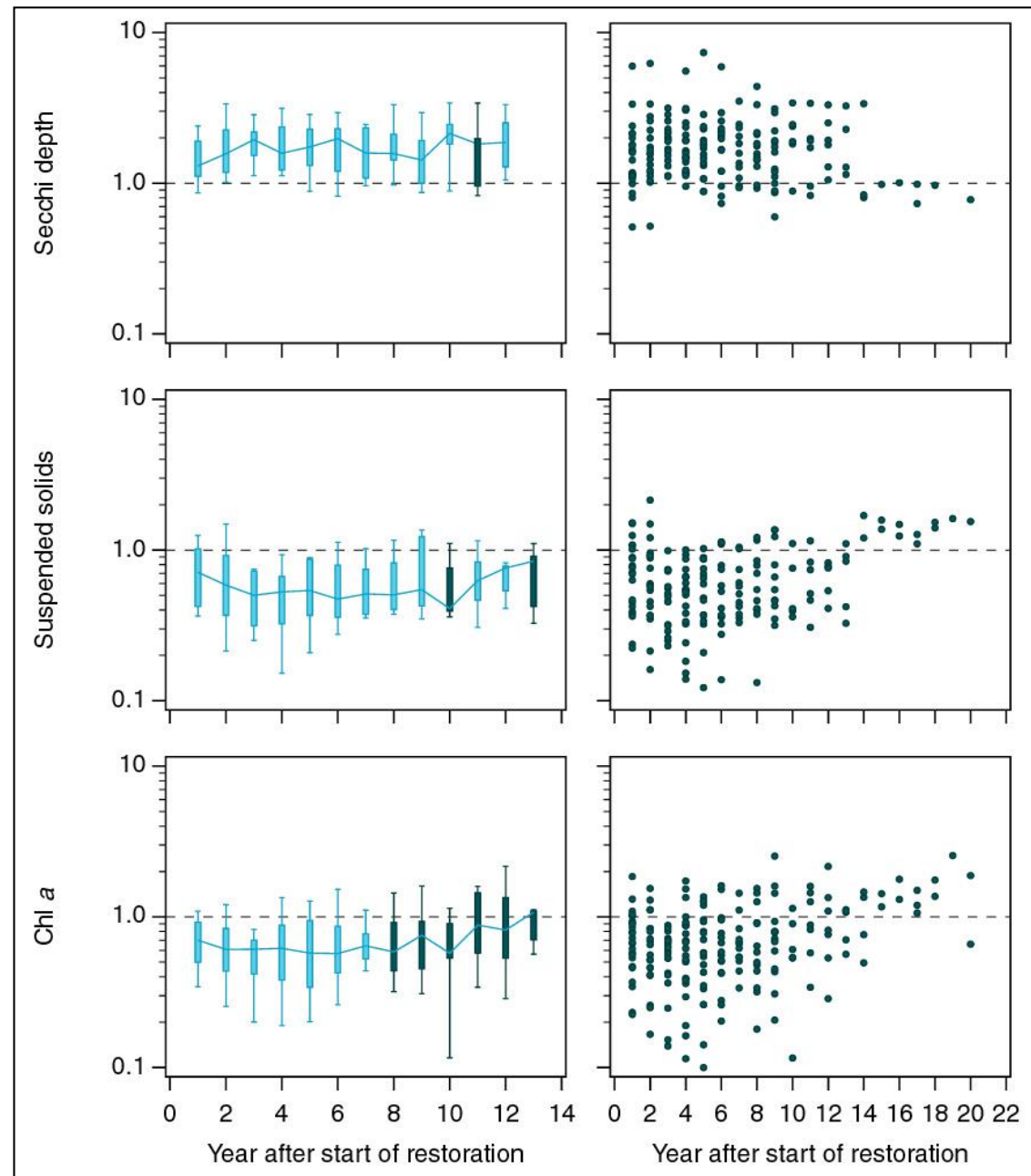
Analyse af 36 danske søer, som er restaureret ved at fjerne fredfisk (skaller og brasen)

Sigtdybde

Hvis nok fisk fjernet skabes effekter, som typisk varer 6-10 år.

Suspenderet stof

Klorofyl a



Næringsstoffer efter indgreb/mere klarvandet tilstand

Mere klart vand (for eksempel opnået ved opfiskning

->

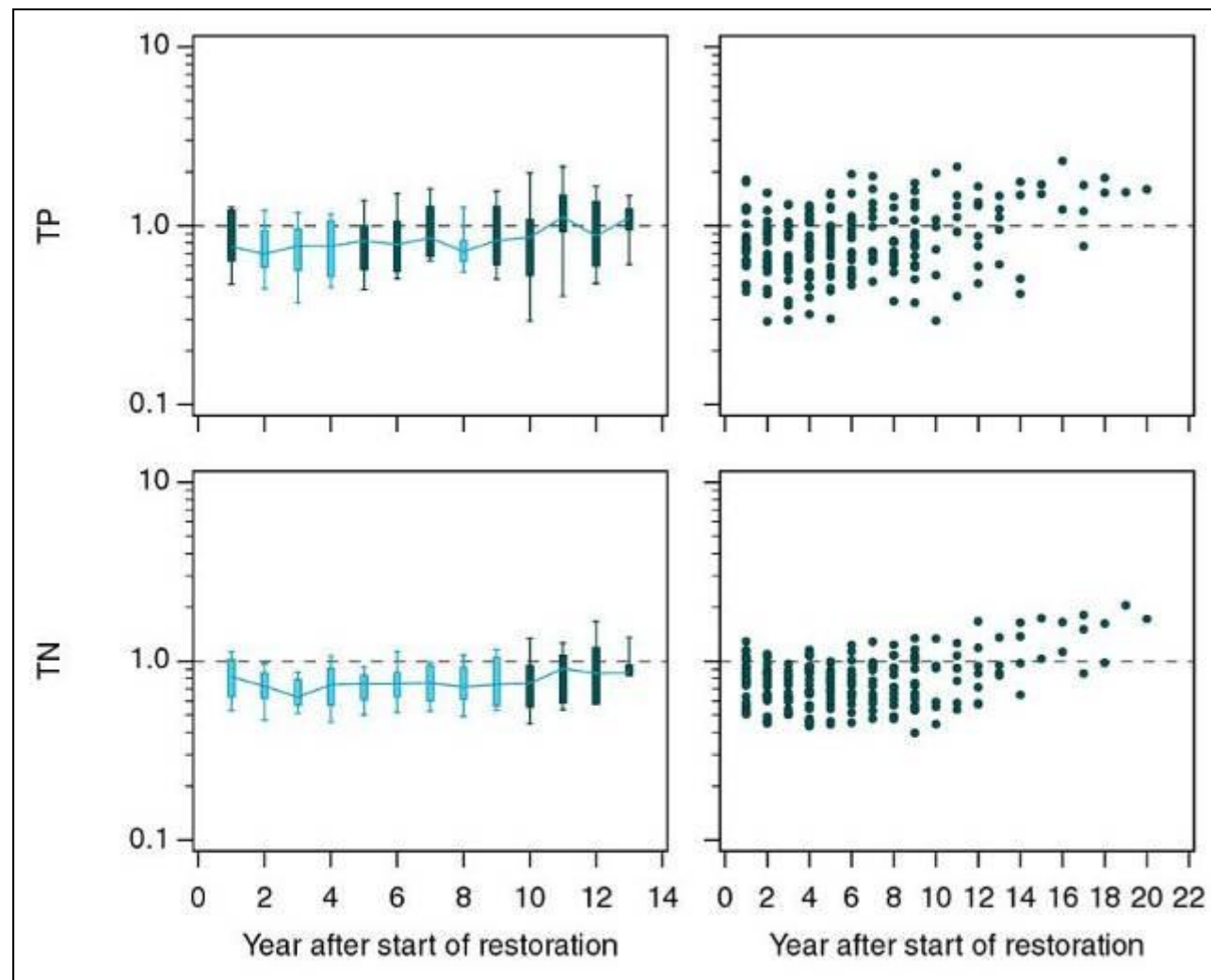
Større fosfor- og kvælstoftilbageholdelse (mindre metanfrigivelse, ikke vist)

->

Mindre tilførsel nedstrømsbeliggende områder (inkl. marine)

Totalfosfor

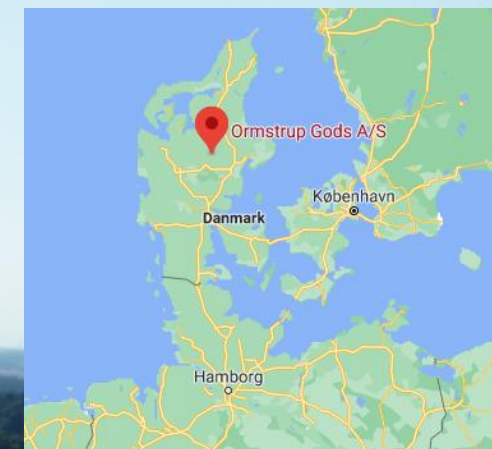
Totalkvælstof



Win-win: bedre tilstand i søerne og mindre belastning af nedstrømsbeliggende områder med fosfor og kvælstof, samt mindsket udslip drivhusgasser

Søndergaard et al., 2008. Lake Restoration by Fish Removal: Short- and Long-Term Effects in 36 Danish Lakes. *Ecosystems* 11: 1291-1305.

Ormstrup Sø: opfiskning, sedimentfjernelse og genanvendelse af fosfor



Ormstrup Sø:

Fra lobeliesø til blågrønalgesø (meget ren -> meget forurenset)

Meget høj intern belastning med fosfor fra næringsrigt sediment

Martin Søndergaard¹, Kasper Reitzel², Christian Skov³

- 1) Aarhus University,
- 2) Southern Danish University,
- 3) Danish Technical University

+ mange flere



Med støtte fra :

POUL DUE JENSEN / GRUNDFOS
FOUNDATION

Problem

Fremtiden

Løsning (cirkulær tankegang)

globale reserver holder kun 100-200 år endnu?

+ sediment
Ormstrup Ingen
tilførsel +
kunstgødning



Fosforminer



Kunstgødning



Eutrofiering

Ekstra problemer



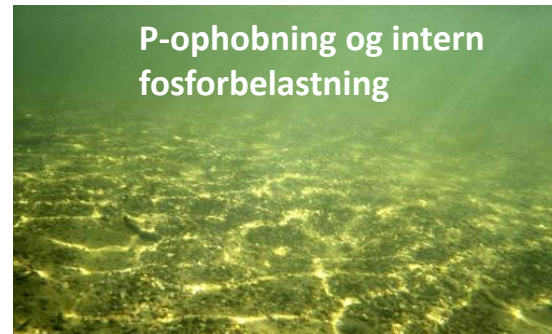
Sustainable Phosphorus Alliance



Sediment oppumpning



Klar sø



P-ophobning og intern fosforbelastning



Forhindrer/forsinker forbedring

Fjerne fosfor fra der, hvor den gør skade, til der, hvor den gør gavn

Ormstrup Sø (ikke endelig besluttet)

- Følger effekter af opfiskning (2021, 2022)
- Start sedimentpumpetest (2022)
- Start forskning om sedimenthåndtering (afvanding, etc.) (2022)
- Start forskning om P genanvendelse fra sediment (2022)
- Fuld scala sedimentfjernelse og P-genanvendelse (2023/24?)
- Udvidelse til også at omfatte andre danske søer (?)

Med støtte fra :

Fra grønne søer til grøn omstilling

Mindre næringsstofftilførsel og/eller restaurering



Mere rent vand



Opfyldte krav i vandrammedirektivet

Større næringsstoff tilbageholdelse



Mindre drivhuseffekt



Mindre belastning af fjorde og marine områder



Slut