

Fosfor og nitrogen i nordiske innsjøer:

- Hva begrenser
algevekst?

Jan-Erik Thrane

Forsker, NIVA



Foto: Birger Skjelbred, NIVA

Oversikt

- Hva trenger algene for å vokse – og hvordan påvirker **nitrogen** (N) og **fosfor** (P) vekst og biomasse?
- Hvordan vet vi hvilket stoff som er **begrensende**?
- Hva begrenser primærproduksjonen i «**urørte**» vann og vassdrag?
- Hva fører til **eutrofiering** og uønskede **algeoppblomstringer**?
- Hvordan **forhindrer og reduserer** vi dette?

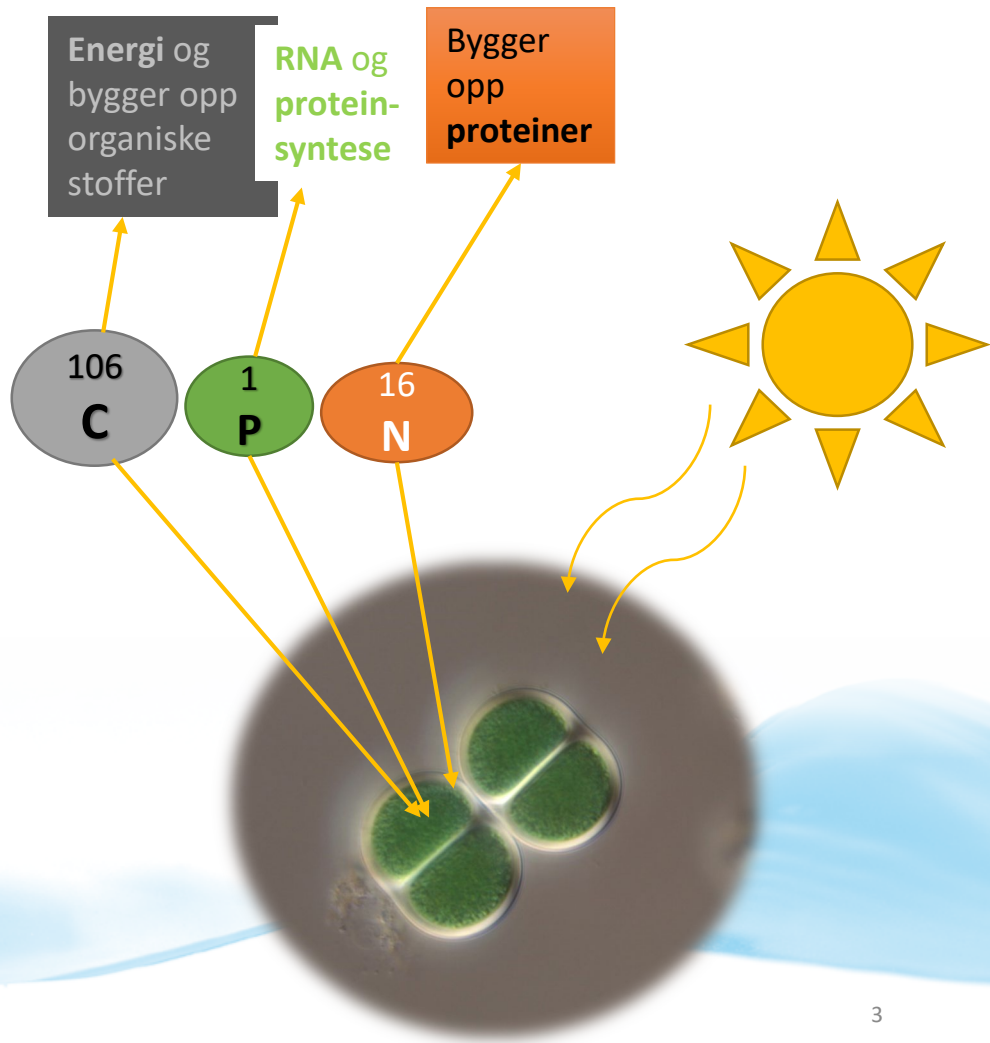


Blågrønnalger langs land i Mjøsa, 2019
(Foro: J.E. Løvik, NIVA)

Hva trenger alger for å vokse?

- Sollys
- CO₂
- N, P og mikro-næring (Fe, Mn...)

Biomasseutviklingen påvirkes også av bl.a. temperatur, beiting og parasitter.



Hvordan kan vi finne ut hvilke(t) næringsstoff som begrenser algevekst?

- Se på korrelasjoner
- Algevekst-eksperimenter
- Storskala manipuleringer
 - Mesocosmer
 - Innsjø-eksperimenter

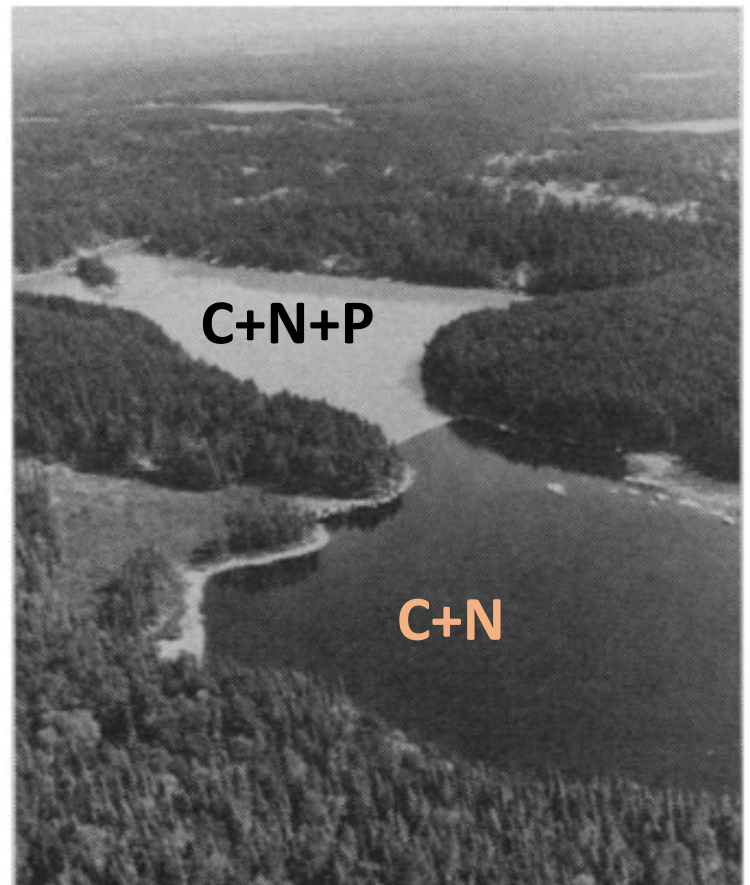


Mesocosme-eksperiment i Lunz (Østerrike) i 2013.
Foto: Anna Marie Winter

C, N eller P?

Eksperimenter på 70-tallet ga noen svar

- Storskala eksperimenter i **Experimental Lake Area (ELA)** i Canada på 70-tallet viste at fosfor var stoffer som kontrollerte mengden alger (Schindler 1977).

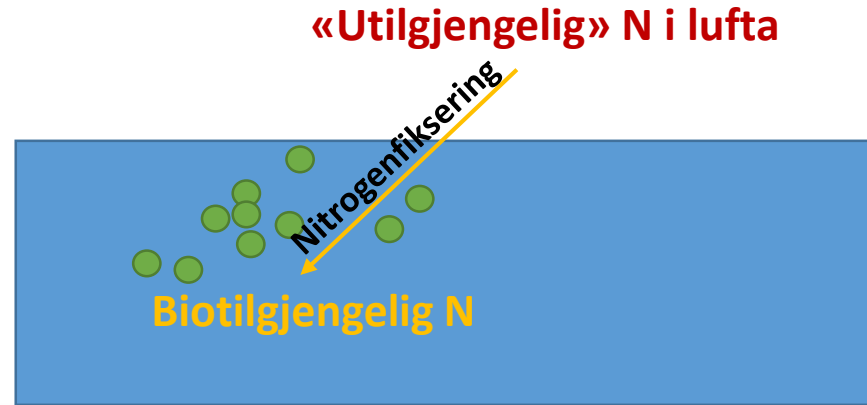


Lake 226 i ELA i 1973. Algeoppblomstring (*Anabaena*) som følge av fosfor-gjødsling. Figur modifisert fra Schindler (1974)

C, N eller P?

Eksperimenter på 70-tallet ga noen svar

- N og C finnes i et utømmelig «lager» i luften
 - N-fiksering (cyanobakterier) fyller på med N når dette er i underskudd
- Et slikt «lager» finnes ikke for P
- *Fosfor-paradigmet* har vært gjeldende siden

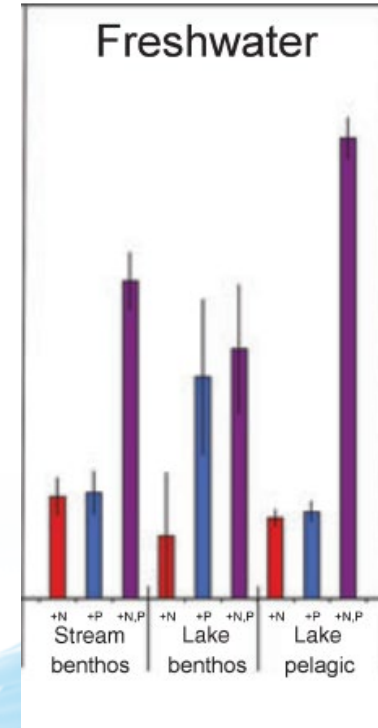
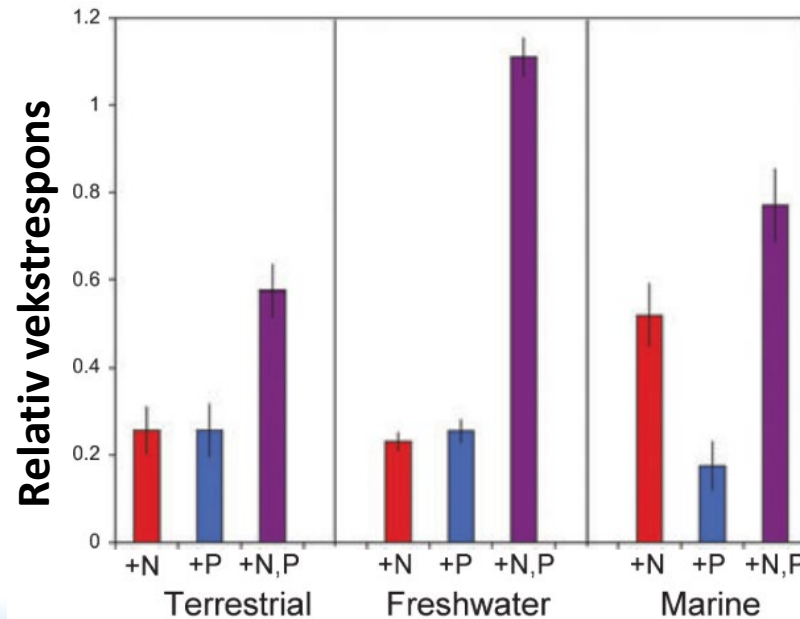


Men er det så enkelt?

- Er det alltid P som bestemmer?
- Varierer N vs. P-begrensning mellom **naturlige** og **påvirkede** (f.eks. eutrofe) innsjøer?
- Er det **geografiske forskjeller**?
- Kan N og P være begrensende på **ulike tidsskalaer**, f.eks. gjennom en dag eller over år?

Samtidig begrensnings av både N og P?

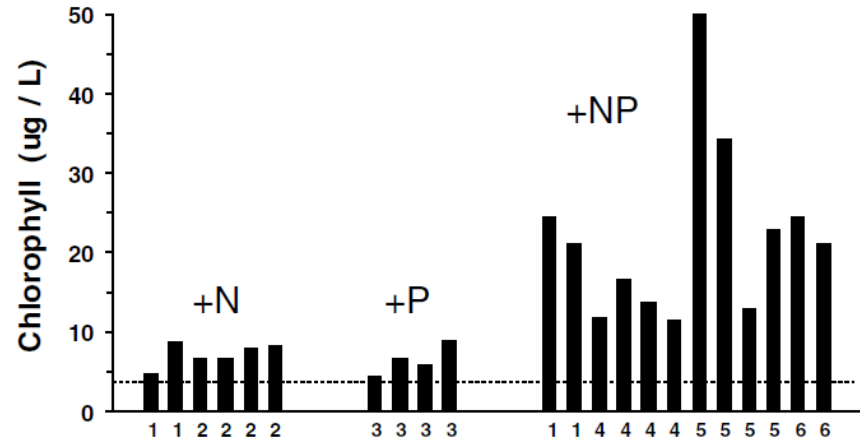
- Å tilsette **både N og P** i vekstforsøk gir oftest størst vekstrespons
- Både for bentiske alger og planteplankton i elv og innsjø



Elser et al. (2007): meta-analyse av > 600 eksperimenter fra ferskvann

Samtidig begrensnning av både N og P?

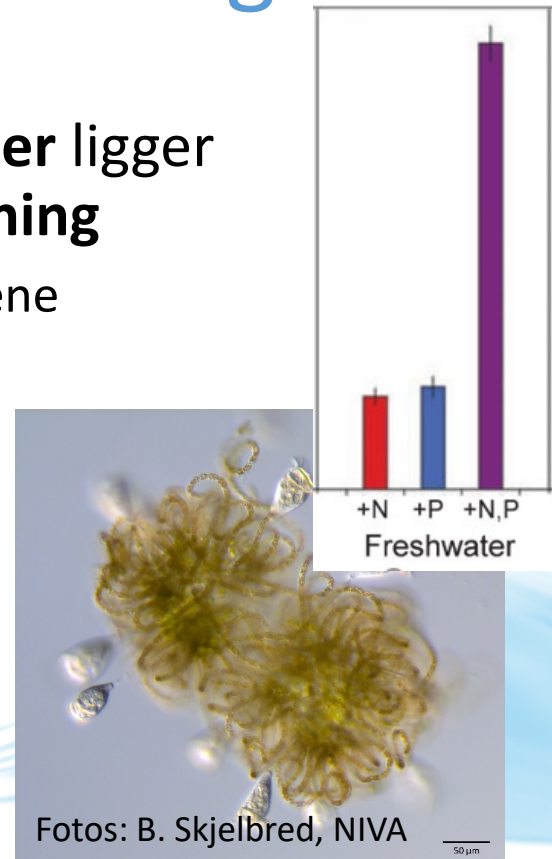
- Faktisk var dette også noe Schindler og co. observerte i Experimental Lake Area på 70-tallet
 - Men de konkluderte med at P var viktigst på lengre tidsskala



Fra Lewis and Wurstbaugh (2008): Vekstrespons hos planteplankton ved tilsetning av N, P og N+P. 1-6 = ulike innsjøer i ELA

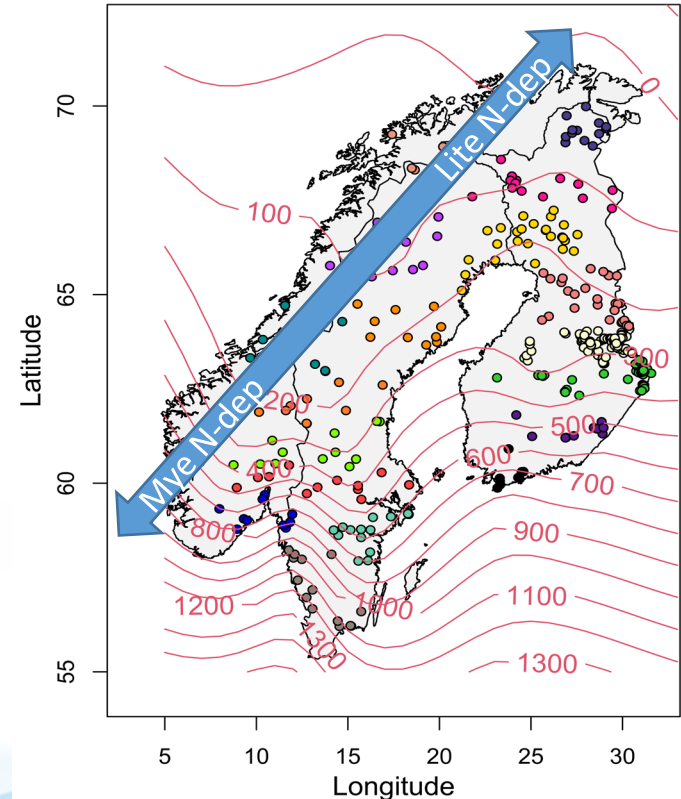
Samtidig begrensning av både N og P?

- Indikerer at **upåvirkede ferskvannssystemer** ligger ofte **nær grensen mellom N og P begrensning**
 - Tilsetning av ett nærings salt vil raskt vippe algene over til å bli begrenset av det andre
- Både **N og P-begrensning er vanlig i lite påvirkede systemer**. Avhenger av:
 - Atmosfærisk N-deposisjon
 - Nedbørfeltegenskaper (vegetasjon, geologi)
 - Artssammensetning



Var våre innsjøer opprinnelig N-begrensete?

- Atmosfærisk N-deposisjon har gjødslet innsjøer med N
- Mest i sør – minst i nord
- Dette kan vippet «urørte» innsjøer i mange regioner over i P-begrensning (Elser et al. 2009)

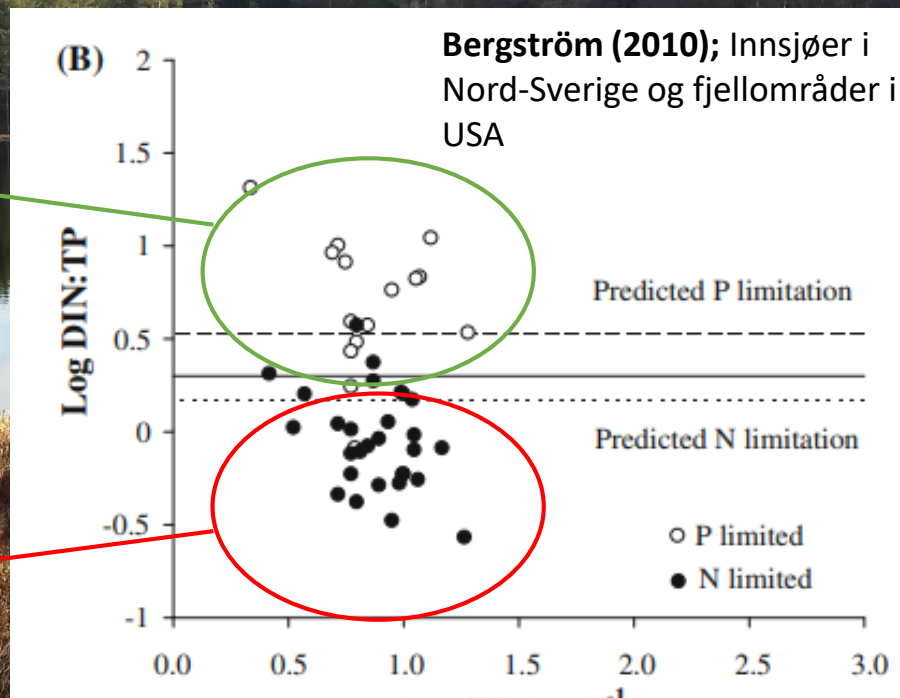


N-deposisjon (kg/km²/år); Thrane, de Wit mfl. upublisert

Næringsbegrensning i naturlige nedbørfelt

Mye uorganisk N i forhold til P = P begrensning

Lite uorganisk N i forhold til P = N begrensning



Effekter av økt N i naturlige nedbørfelt

- N-begrensning er vanlig i næringsfattige innsjøer i områder med lav N-deposisjon (f.eks. i nord)
- Her har N-deposisjon trolig ført til økt primærproduksjon

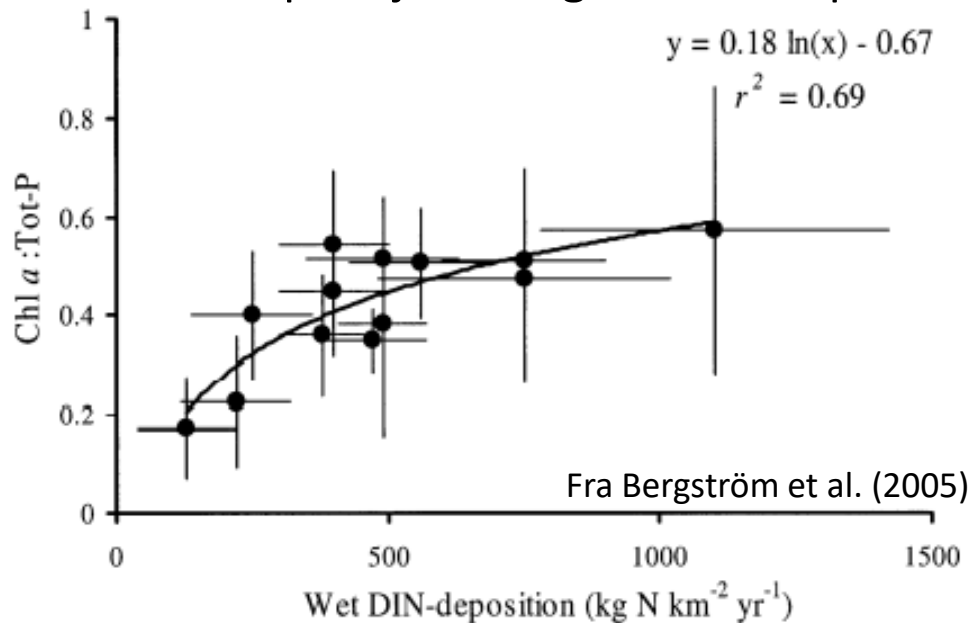


Foto: B. Skjelbred, NIVA

- Begroingsalger trolig N-begrenset i mange elver og bekker i nord
- P-begrensning vanligere i sør
- Begroing i arktiske deler av Sverige var i hovedsak N-begrensede (Myrstener et al. 2018)

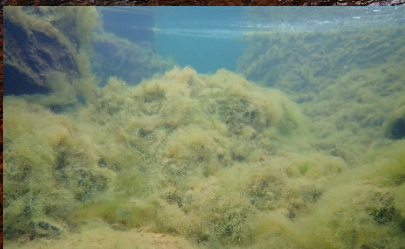
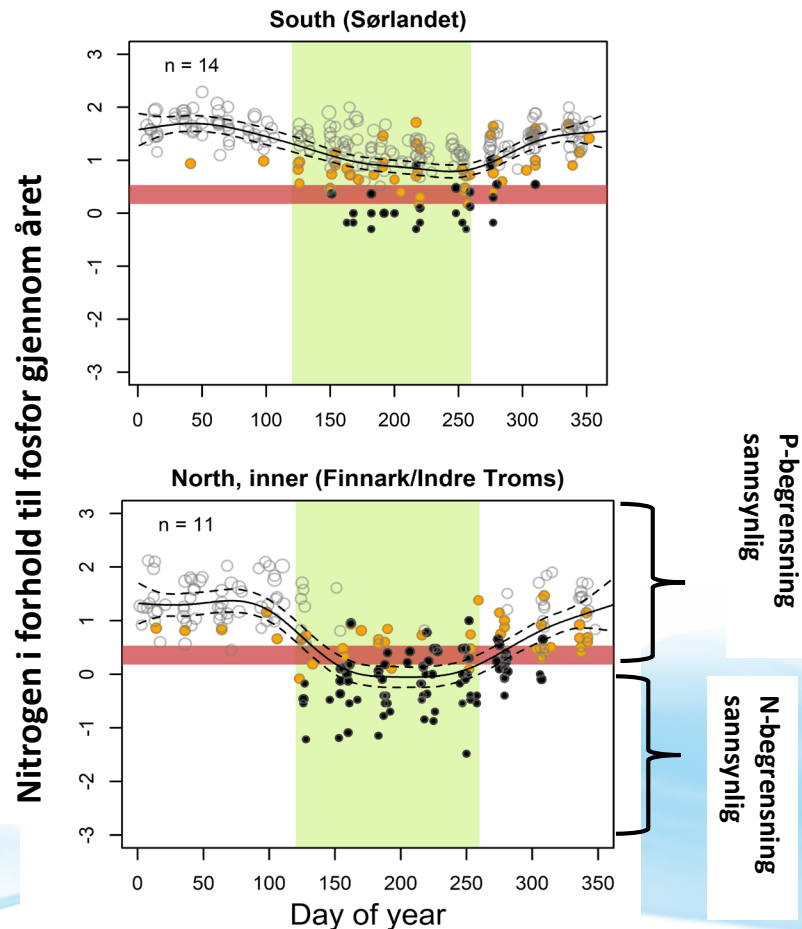


Foto: NIVA

Foto: Trond Erik Markussen



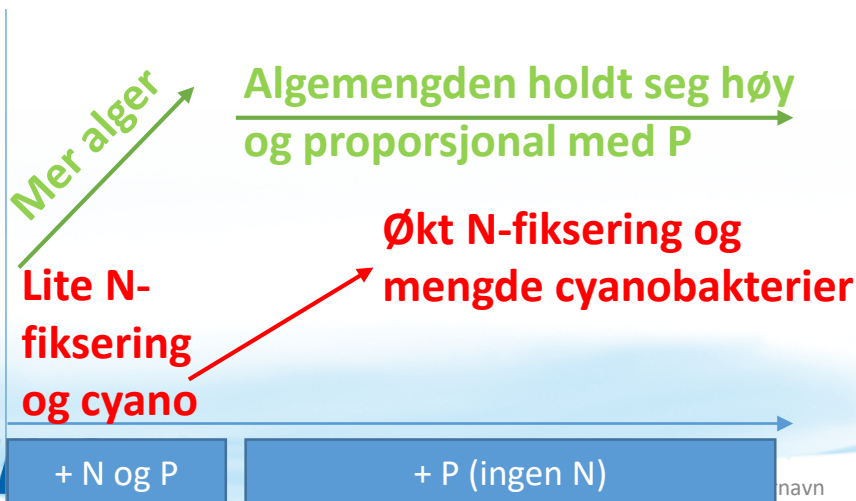
Viktigheten av fosfor i eutrofe systemer

Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment

David W. Schindler^{*†}, R. E. Hecky[‡], D. L. Findlay[§], M. P. Stainton[§], B. R. Parker^{*}, M. J. Paterson[§], K. G. Beaty[§], M. Lyng[§], and S. E. M. Kasian[§]

^{*}Department of Biological Sciences, University of Alberta, Edmonton, AB, Canada T6G 2E9; [†]Department of Biology, University of Minnesota, Duluth, MN 55812; and [§]Freshwater Institute, Canadian Department of Fisheries and Oceans, Winnipeg, MB, Canada R3T 2N6

- Fosfor kontrollerte mengden alger over tid
- N kunne være begrensende i kortere perioder
- Nitrogenfiksering kompenserte for lite nitrogen over tid



Viktigheten av fosfor i eutrofe systemer

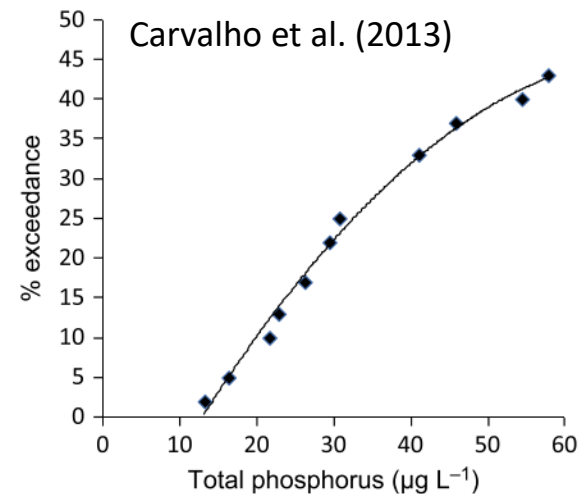
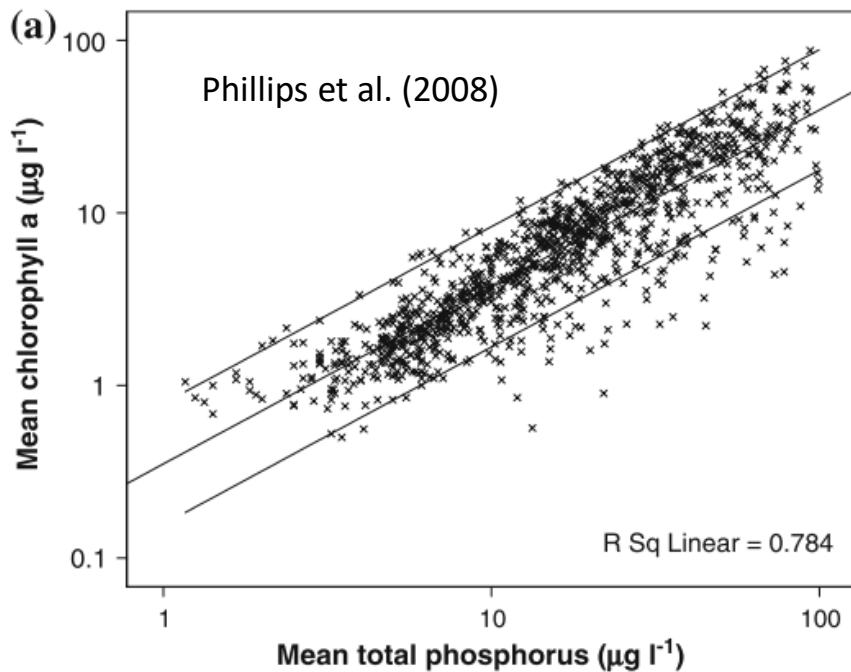
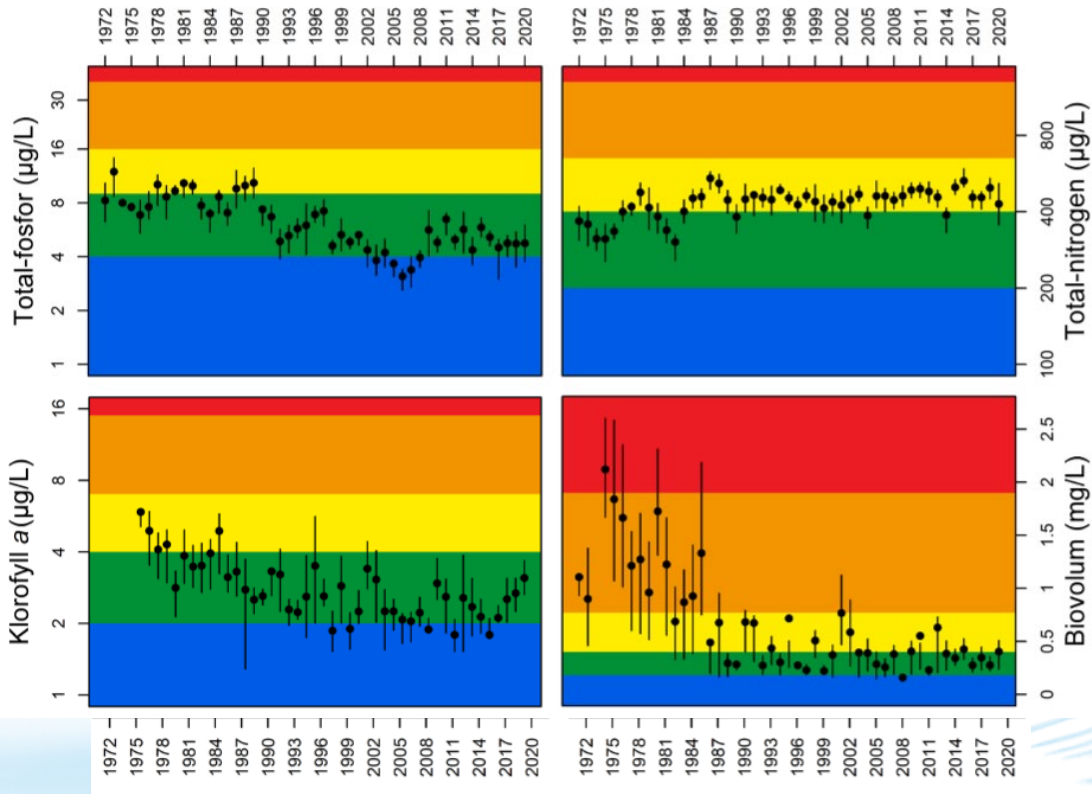


Fig. 4. Relationship between % lakes exceeding World Health Organisation (WHO 1999) low/medium risk threshold for cyanobacterial biovolume ($2 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$) in relation to total phosphorus (TP).

Fosfor og planteplankton i Mjøsa



Fra Thrane og Økelsrud (2021)

Konklusjoner

- I lite påvirkede innsjøer og elver er både N- og P-begrensning av vanlig.
- N-begrensning er vanlig i områder med lite atmosfærisk N-deposisjon
- Fosfor styrer som regel algeproduksjonen i eutrofe systemer på lengre tidsskala
 - Nitrogen kan allikevel tidvis være begrensende
- Lite N i forhold til P kan favorisere cyanobakterier og øke mengden nitrogenfiksering
- Å begrense tilførsel av P bør være fokus der man ønsker å redusere eutrofiering.
 - Vil forsterke en eksisterende P-begrensning eller indusere P-begrensning i en N-begrenset innsjø



Referanseliste

- Bergström, A. K., Blomqvist, P., & Jansson, M. (2005). Effects of atmospheric nitrogen deposition on nutrient limitation and phytoplankton biomass in unproductive Swedish lakes. *Limnology and Oceanography*, 50(3), 987–994. <https://doi.org/10.4319/lo.2005.50.3.0987>
- Bergström, A. K. (2010). The use of TN:TP and DIN:TP ratios as indicators for phytoplankton nutrient limitation in oligotrophic lakes affected by N deposition. *Aquatic Sciences*, 72(3), 277–281. <https://doi.org/10.1007/s00027-010-0132-0>
- Carvalho, L., McDonald, C., de Hoyos, C., Mischke, U., Phillips, G., Borics, G., ... Cardoso, A. C. (2013). Sustaining recreational quality of European lakes: Minimizing the health risks from algal blooms through phosphorus control. *Journal of Applied Ecology*, 50(2), 315–323. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12059>
- Elser, J. J., Bracken, M. E. S., Cleland, E. E., Gruner, D. S., Harpole, W. S., Hillebrand, H., ... Smith, J. E. (2007). Global analysis of nitrogen and phosphorus limitation of primary producers in freshwater, marine and terrestrial ecosystems. *Ecology Letters*, 10(12), 1135–1142. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2007.01113.x>
- Elser, J. J., Andersen, T., Baron, J. S., Bergström, A. K., Jansson, M., Kyle, M., ... Hessen, D. O. (2009). Shifts in lake N: P stoichiometry and nutrient limitation driven by atmospheric nitrogen deposition. *Science*, 326(5954), 835–837. <https://doi.org/10.1126/science.1176199>
- Lewis, W. M., & Wurtsbaugh, W. A. (2008). Control of lacustrine phytoplankton by nutrients: Erosion of the phosphorus paradigm. *International Review of Hydrobiology*, 93(4–5), 446–465. <https://doi.org/10.1002/iroh.200811065>
- Myrstener, M., Rocher-Ros, G., Burrows, R. M., Bergström, A. K., Giesler, R., & Sponseller, R. A. (2018). Persistent nitrogen limitation of stream biofilm communities along climate gradients in the Arctic. *Global Change Biology*, 24(8), 3680–3691. <https://doi.org/10.1111/gcb.14117>
- Phillips, G., Pietiläinen, O. P., Carvalho, L., Solimini, A., Lyche Solheim, A., & Cardoso, A. C. (2008). Chlorophyll-nutrient relationships of different lake types using a large European dataset. *Aquatic Ecology*, 42(2), 213–226. <https://doi.org/10.1007/s10452-008-9180-0>
- Schindler, D. W., Hecky, R. E., Findlay, D. L., Stainton, M. P., Parker, B. R., Paterson, M. J., ... Kasian, S. E. M. (2008). Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen input: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(32), 11254–11258. <https://doi.org/10.1073/pnas.0805108105>
- Schindler, D. W. (1974). Eutrophication and recovery in experimental lakes: Implications for lake management. *Science*, 184(4139), 897–899. <https://doi.org/10.1126/science.184.4139.897>
- Schindler, D. W. (1977). Evolution of phosphorus limitation in lakes. *Science*, 195(4275), 260–262. <https://doi.org/10.1126/science.195.4275.260>
- Thrane, J.-E. og Økelsrud, A. (2021). Miljøtilstanden i Mjøsa med tilløpselver 2020. Kortrapport. NIVA-rapport;7604