

# Giver mindre kvælstof renere vand i søer og fjorde?

---

Vandplanernes mål om at mindske kvælstofudledning af hensyn til kystvandene bygger på et paradigme, det vil sige en vedtagen arbejdsmodel, der ikke er ført videnskabelig bevis for. Landbruget har altid undret sig over, at mindre kvælstof skulle give renere vandmiljø til havs, når samme strategi ikke virker i ferske vande. Her virker kun mindre fosfor. Hvad viser analyserne?

---

Benjamin Nielsen

---

Arbejdet med vandplanerne giver ny debat om hvilke næringsstoffer, der skal gribes ind over for af hensyn til søer og fjorde. På en konference afholdt af Foreningen for Bæredygtigt Landbrug oktober 2010 blev der sat spørgsmålstegn ved den gængse opfattelse, nemlig at mindre udledning af kvælstof vil gavne vandmiljøet i fjordene og mange søer. En af foredragsholderne, ingeniør John Schmidt, slog til lyd for, at kvælstof ligefrem kan være gavnligt for vandmiljøet. Tilførsel af nitratkvælstof til eutrofe vande kan mindske algevæksten og gøre tilstanden bedre. John Schmidt har demonstreret dette ved at rense gadekær ved tilsætning af nitrat /1/. På konferencen blev også henvist til David W. Schindlers 37-årige gødskningsforsøg i Lake 227 i Ontario, Canada. Disse forsøg viser, at eutrofiering af søer ikke kan hindres ved at mindske kvælstoftilførslen. Mindre kvælstof giver blot flere alger i form af blågrønalger, som fikserer atmosfærisk kvælstof. David Schindler konkluderer, at eutrofiering af søer kun kan hindres ved at mindske tilførslen af fosfor /2/.

Poul Vejby-Sørensen advarede i sit indlæg imod havbiologernes kvælstof-strategi. De modarbejder en central lov for livet i havet, nemlig algernes stræben efter et konstant forhold mellem kvælstof og fosfor i biomassen, kaldet Redfield-konstanten efter Alfred C. Redfield, der beskrev det første gang i 1934. Overalt i vandmiljøet søger algebiomassen at indstille sig på N:P-forholdet 16:1 på molbasis eller 7:1 på vægtbasis. Redfield-konstanten etableres og opretholdes ved at kvælstof i økosystemet indstiller sig efter mængden af fosfor i systemet. Er der overskud af kvælstof (lavt N:P-forhold), afgasses kvælstof til atmosfæren ved denitrifikation. Er der underskud (højt N:P-forhold), hentes kvælstof ind i systemet gennem blågrønalgers fiksering af kvælstof fra atmosfæren. Forsøg på at forbedre en spildevandsforurenede og fosforrig fjord ved at mindske kvælstof er blot en naturstridig og udsigtsløs strategi. Algerne i fjorden vil modarbejde ethvert forsøg på at mindske kvælstof ved hjælp af blågrønalger, som henter kvælstof fra atmosfæren, til økosystemets "naturlige" N:P-forhold på 7:1 er opnået /3/.

I denne artikel gennemgår vi analyser fra udvalgte søer og marine vande. Ud fra analyserne forsøger vi at afklare, om algerne begrænses af et bestemt næringsstof. Specielt om det er muligt at begrænse alger og få rent vand ved at mindske tilførslen af kvælstof tilstrækkelig meget.

## Hvad analyserne viser

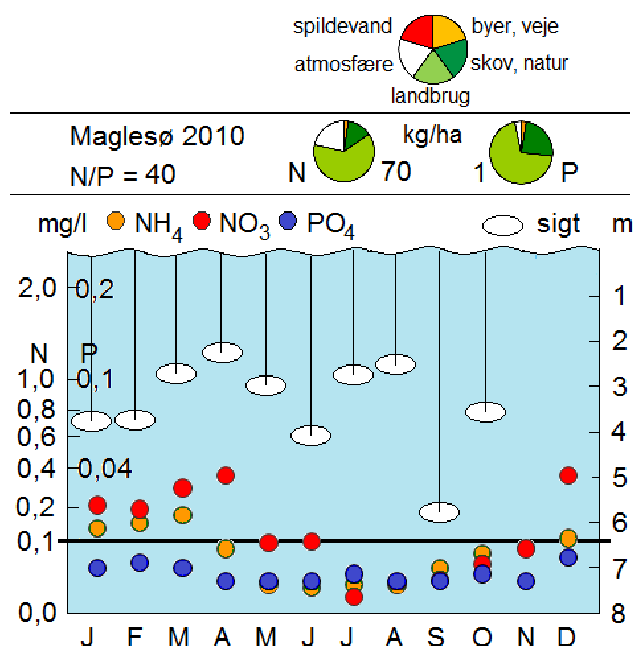
Ved at måle opløste næringsalte måned for måned gennem et år kan man afgøre, om der er perioder med så lave koncentrationer, at algernes vækst begrænses. Alger begynder at mangle næring, hvis koncentrationerne kommer under 0,1 milligram/liter ammonium (NH<sub>4</sub>) eller nitrat (NO<sub>3</sub>) eller under 0,01 milligram/liter fosfat (PO<sub>4</sub>).

N:P-forholdet er et andet mål for graden af næringsbegrænsning i en sø eller fjord. N:P-forholdet i algeceller er i gennemsnit 7:1 på vægtbasis (Redfield). Er forholdet mindre end 7, er det tegn på N-begrænsning. Er forholdet større end 7 er det tegn på P-begrænsning. Jo mere forholdet afviger fra 7, des stærkere næringsbegrænsning. N:P-forhold i denne undersøgelse beregnes på grundlag af gennemsnit af månedsværdier for total-N og total-P. Det er vigtigt at bemærke, at næringsbegrænsning ikke optræder i stærkt eutrofe vande med kraftig algevækst og sigt under 1 meter. Her begrænses algerne ikke af mangel på næring, men derimod af mangel på lys, idet de mange alger skygger for hinanden. I stærkt eutrofe vande er der overskud af næring på alle tider af året, uanset hvad N:P-forholdet viser.

Analyserne kommer fra amternes og miljøcentrenes overvågningsprogram. De findes på miljøportalens stoq-database. Oplysninger til beregning af kildeopsplitning af næringstilførsel til de enkelte søer eller fjorde er taget fra DMU's faglige rapporter og fra vandplanerne, som er tilgængelige på naturstyrelsens hjemmeside.



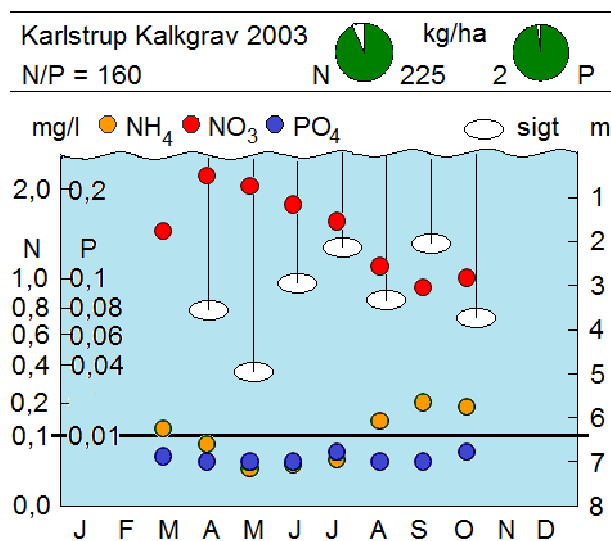
*Blågrønalger danner algeblomst i en næringsrig sø. Blågrønalger udnytter atmosfærens kvælstof. De kan derfor ikke begrænses gennem mindre udvaskning af kvælstof.*



Figur 1.  
Maglesø er eksempel på en uforurenet sø, hvor algerne begrænses af både kvælstof og fosfor.

## Eksempler på kvælstof- og fosforbegrænsede vande

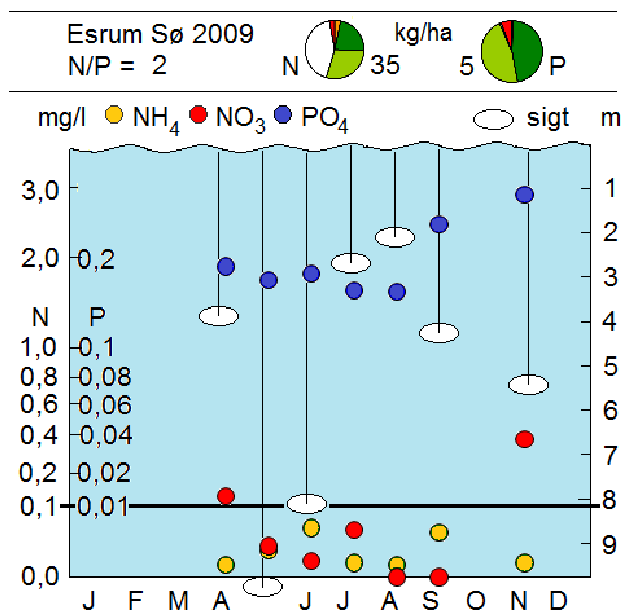
Maglesø er en af vore reneste søer. (Figur 1). Den er eksempel på en dansk sø, der er næsten upåvirket af menneskelige aktiviteter i form af intensivt landbrug og udledning af spildevand. Med andre ord et eksempel på, hvilken tilstand de fleste søer her i landet ville have haft, såfremt landbruget var ekstensivt, og såfremt man ikke brugte vandmiljøet som recipient for spildevand. Søen betragtes som referencesø i forhold til vandrammedirektivet. Dens økologiske tilstand er "høj" vurderet efter vandplanernes fem tilstandsklasser, høj, god, moderat, ringe, dårlig. Sigtdybden er 2-4 meter. Kildeopsplittings beregninger viser en årlige tilførsel af kvælstof på 70 kg N og 1 kg P pr. hektar søoverflade. Analyserne af opløst næring viser, at søen er både N-begrænset og P-begrænset. Der er under 0,1 mg/l N i form af ammonium ( $\text{NH}_4$ ) og nitrat ( $\text{NO}_3$ ) og under 0,01 mg/l P i form af fosfat ( $\text{PO}_4$ ). Om vinteren begrænses algerne af mangel på lys. På grundlag af N:P-forhold 40 kan søen karakteriseres som P-begrænset.



Figur 2.  
Karlstrup Kalkgrav er en naturlig kvælstofrig sø, hvor algerne begrænses af fosfor.

Karlstrup Kalkgrav er op til 14 meter dyb (Figur 2). Den er opstået i hullerne fra brydning af kalk. Søen har meget klart vand med sigt 2-5 meter. På bunden vokser et tæt tæppe af plantearten børstebledet vandaks. Søens vandspejl ligger fire meter under vandfladen i Køge Bugt, og der strømmer hele tiden grundvand ind i den. Hvis man ikke havde en pumpe til at pumpe vand ud, ville vandet i søen stige 5-8 meter. Det indstrømmende grundvand har et højt indhold af nitrat, hvilket er geologisk betinget, og hænger sammen med, at undergrunden består af kalk. Der er ingen tilførsel af fosfor ud over grundvandets naturligt lave indhold af fosfor.

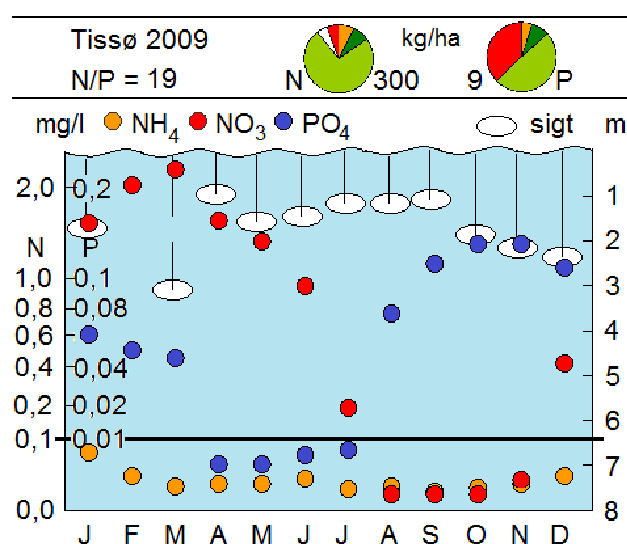
Vurderet ud fra næringsalte og N:P-forhold må vi bedømme søen som P-begrænset. Denne sø er et eksempel på, at en sø godt kan være ren og klarvandet, selv om der tilføres megen kvælstof. Det afgørende er, at man lader være med at udlede fosfor i form af spildevand.



Figur 3. Esrum Sø er en naturlig fosforrig sø, hvor algerne begrænses af kvælstof.

Esrum Sø er Danmarks næststørste og vandrigeste sø (Figur 3). Det er også en af vore reneste søer med sigt over 4 meter. I forsommeren ofte over 8 meters sigt. Analyserne fra søen viser, at den er N-begrænset. Der er lave værdier af kvælstofsalte og høje værdier af fosforsalte. N:P-forholdet er meget lavt. Fosfor i søen kommer fra grundvandet, der er usædvanligt rigt på fosfor. Analyser af grundvandsboringer øst for søen viser nogle steder op til 0,4 mg/l opløst fosfat-P. Grundvandets høje fosforindhold er geologisk betinget.

Esrum sø er et eksempel på, at en fosforrig sø kan være ren og klarvandet, blot tilførslen af kvælstof er tilstrækkelig lille. Der er ingen tegn på, at kvælstoffikserende blågrønaler beriger Esrum Sø med kvælstof fra atmosfæren, så søen med tiden bliver næringsrig med N:P-forhold omkring 7:1. Til gengæld er der tegn på, at lokal tilførsel af spildevand i den sydlige ende af søen skaber kraftige bevoksninger af trådalger på grund af spildevandets tilførsel af kvælstof. Forholdene i Esrum sø er således i modstrid med David Schindlers teori om, at eutrofiering af søer ikke kan hindres ved tilførsel af mindre kvælstof.



Figur 4. Tissø er eksempel på en spildevandsbelastet sø. Den er P-begrænset forsommer og N-begrænset sensommer.

Tissø er eksempel på en sø påvirket af spildevand (Figur 4). Den repræsenterer på det punkt de fleste søer her til lands. Analyserne viser, at søen er P-begrænset først på sommeren og N-begrænset senere på året. Begrænsningen er dog ikke stærk nok til at gøre søen klarvandet som den P-begrænsede Karlstrup Kalkgrav eller den N-begænsede Esrum Sø. Tissø er på grænsen til at være så næringsrig, at algevæksten ikke begrænses af mangel på næring, men af mangel på lys.

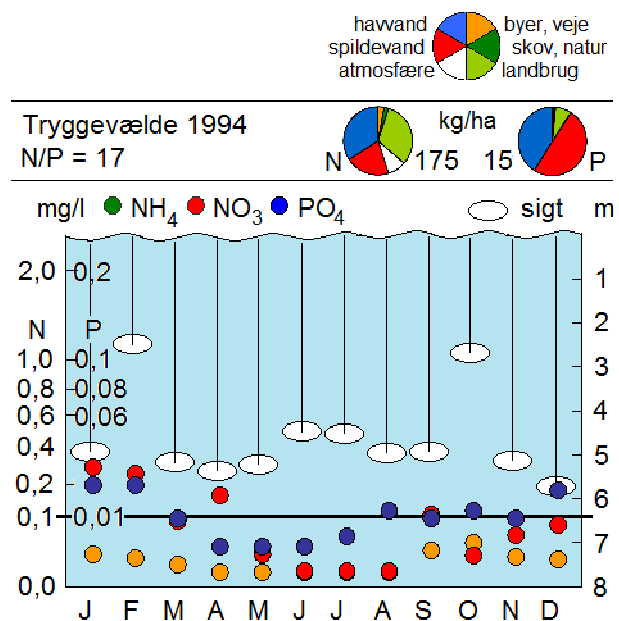
Det er typisk for næringsrige (eutrofe) søer, at der kommer høje værdier af opløst fosfat i søvandet hen på sommeren. Det skyldes frigørelse af fosfat fra sedimentet. Når der dannes meget organisk sediment fra døde alger, kommer der også et stort iltforbrug ved forrådnelse af sedimentet, og det giver dårlige iltforhold i bundvandet. Fosfats frigørelse fra sedimentet er styret af iltforholdene. Ved iltmangel frigøres fosfat, ved gode iltforhold bindes det. Det sedimentbundne fosfor betegnes også som søens interne pulje af fosfor. Her befinder det fosfor sig, der i årenes løb er tilført søen gennem spildevandet. Den interne P-pulje er også forklaringen på, hvorfor en sø ikke bliver ren, når man holder op med at udlede spildevand. Den interne P-pulje befinder sig

jo stadig i søen, og fortsætter med at afgive fosfor til vandet mange år fremover.

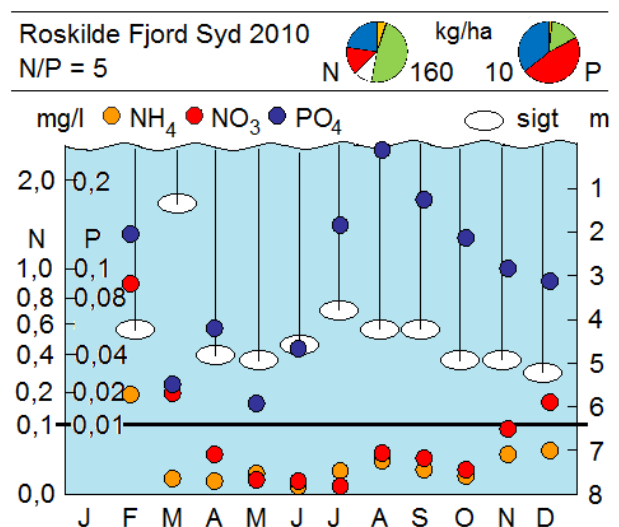
## Analyser fra marine vande

Køge Bugt er eksempel på et spildevandspåvirket kystområde (Figur 5). Ved Tryggevælde Åens udløb kan fosfortilførslen opgøres til 15 kg/ha vandflade årligt, hvis vi regner med et 20 kilometer langt og 2 kilometer bredt område omkring udløbet. Halvdelen eller omkring 8 kg/ha kommer fra spildevand. Der kommer også fosfor med havvand fra Østersøen, som strømmer ind og blander sig med kystvandet. Næringsstofferne giver problemer med trådalger (fedtemøg). Der er ikke planktonalger af betydning. Vandet er klart med sigt 5 meter hele året. Den klarvandede tilstand af Køge Bugt og mange andre næringspåvirkede kystvande kan hænge sammen med stor vandudskiftning gennem vind og tidevand samt en veludviklet bestand af bundplanter i form af tang og ålegræs, som optager meget af den tilførte næring, så der bliver mindre til algerne. Analyserne viser, at Køge Bugt er P-begrænset en stor del af sommeren, og N-begrænset hele året. Vurderet ud fra N:P-forhold må bugten karakteriseres som P-begrænset.

Roskilde Fjord er eksempel på en spildevandsbelastet fjord (Figur 6). Der er høje værdier af opløst fosfat på alle årstider. Alligevel er vandet forholdsvis rent og klarvandet med sigt 4-5 meter. Flere af fjordens kyster er udpeget som badevand. Analyserne og det lave N:P-forhold viser, at fjorden er N-begrænset. Vandet er rent, fordi der er mangel på kvælstof. Fjordens tilstand skal sikres gennem fortsat lav udvaskning af kvælstof fra oplandet. Roskilde Fjord minder en del om Esrum Sø, dog med den forskel, at fjordens fosforrige tilstand ikke er naturbetinget, men menneskeskabt gennem udledning af spildevand. Fjorden ligner også Tissø, ved at mange års udledning af spildevand har oparbejdet en intern P-pulje, hvorfra der frigøres fosfor om sommeren.



Figur 5. Køge Bugt ved Tryggevælde er et spildevandspåvirket kystvand. Bugten er P-begrænset først på sommeren og N-begrænset hele sommeren.



Figur 6. Roskilde Fjord er en spildevandsbelastet fjord. Der er høje værdier af fosfat på alle årstider. Fjorden er ren fordi den er N-begrænset.

## Konklusion og perspektiv

Eksemplerne her i artiklen viser, at algevækst i søer og kystvande kan begrænses af kvælstof. Esrum Sø og Roskilde Fjord er eksempler på fosforrige vande, som er rene, fordi kvælstof begrænser algevæksten.

At kvælstof kan begrænse algevæksten i søer bekræftes af gødskningsforsøg i Stigsholm Sø / 4 /. At kvælstof såvel som fosfor kan begrænse algevæksten i fjorde og kystvande bekræftes af de seneste rapporter fra Danmarks Miljøundersøgelser /5, 6/. Den potentielle næringsbegrænsning af alger er de seneste tyve år steget fra 20-40 pct. af vækstsæsonen til 60-80 pct. af vækstsæsonen i dag.

Det giver derfor god mening, at vi fortsætter arbejdet med at mindske udledningen af næringsstoffer til vandmiljøet. Landbruget har mindsket kvælstofudvaskningen, så vandløbene i dag tilfører halvt så meget kvælstof til fjorde og kystvande som for tyve år siden. Det er sket ved forbedret dyrkningsteknik og bedre udnyttelse af gødningen. Udledningen af fosfor fra spildevand og jord er også blevet godt og vel halveret de seneste tyve år, takket være kloakering og bedre rensning af spildevandet.

Der er dog stadig et stykke vej til at få samme rene vandmiljø som for halvtreds år siden, før landbruget blev industrialiseret med øget brug af kunstgødning og gylle som fremherskende form for husdyrgødning i stedet for den gammeldags staldgødning og ajle, og før vandmiljøet blev brugt i stor stil som recipient for spildevand. Så længe vi har problemer med alger og iltsvind, kan vi næppe påstå, at landbrugsproduktionen eller bortskaffelsen af spildevand sker på et bæredygtigt grundlag.



*Opskyllt ålegræs på stranden i Køge Bugt vidner om, at ålegræsset har gode betingelser i bugten. Ålegræs betragtes som indikator for et rent vandmiljø.*

## Litteratur

- /1/ Nielsen, B. 2011. Gødning giver liv i gadekæret. Flodkrebren april 2011.
- /2/ Schindler, D. et. al. 2008. Eutrophication of lakes cannot be controlled by reducing nitrogen inputs: Results of a 37-year whole-ecosystem experiment. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 105: 11254–11258, doi:[10.1073/pnas.0805108105](https://doi.org/10.1073/pnas.0805108105)
- /3/ Vejby-Sørensen, P. 2011. Havet omkring Danmark. Grovare-nyt 28/10/2010. [www.baeredygtigtlandbrug.dk](http://www.baeredygtigtlandbrug.dk)
- /4/ Jeppesen, E., J. P. Jensen, M. Søndergaard, M. A. G. Sagrario, J. Goma. 2004. Kvælstof i lavvandede søer. Vand & Jord 2004: 98-101.
- /5/ Marine Områder 2009. Faglig rapport fra DMU nr. 800.
- /6/ Vandmiljø og Natur 2009. Faglig rapport fra DMU nr. 806.

Benjamin Nielsen er biolog i Stevns Kommune. E-mail: [bennie@stevns.dk](mailto:bennie@stevns.dk)

Artikel fra Vand & Jord  
Nr. 2 maj 2011