

Kvælstof i de indre danske farvande, kystvande og fjorde

- hvor kommer det fra?

af Flemming Møhlenberg, DHI

Sammenfatning

I vandplanerne er der ikke taget hensyn til betydningen af det kvælstof som tilføres fra Østersøen og Skagerrak til de indre farvande. Tidligere har man - bl.a. Danmarks Miljøundersøgelser - differentieret mellem den andel af kvælstoffet som er let tilgængeligt for alger og andelen som er sværere tilgængelig. Som grundlag for Vandplanernes indsats overfor kvælstof ses dog udelukkende på koncentrationen af totalkvælstof, fordi dette har vist en vis sammenhæng til ålegræssets dybdegrænse. En konsekvens af disse forhold er, at miljømålene for kvælstof er sat urealistisk lavt.

De (ambitiøse) lave kvælstofmål angivet i Vandplanerne vil i mange tilfælde ikke kunne opfyldes selv hvis al afvanding skete fra ikke-dyrkede naturoplande og i flere tilfælde vil det end ikke være tilstrækkeligt at stoppe al tilførsel af kvælstof fra dansk land.

Det er sandsynligt, at kvælstoftilførslen til nogle fjorde skal reduceres, men generelt giver kvælstofmålene der er angivet i Vandplanerne ingen mening.

Baggrund

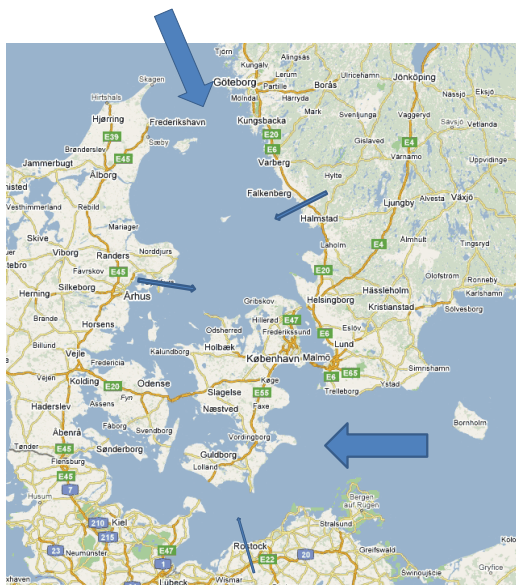
Regulering af kvælstofudledninger er et hovedelement i de Vandplaner, som skal sikre en god økologisk tilstand i vandløb, søer, fjorde og kystvande. I Vandplanerne er den økologiske tilstand i fjorde og kystvande beskrevet ud fra ålegræssets dybdegrænse, der igen er beskrevet ved vandets indhold af total-kvælstof, som kaldes en støtteparameter for ålegræsset. De nødvendige reduktioner i kvælstoftilførslen, der er indeholdt i de enkelte Vandplaner er beregnet ud fra (1) en 26 % afvigelse fra historiske dybdegrænser for ålegræs, (2) de herved tilhørende koncentrationer af kvælstof samt, (3) "ålegræsværktøjet", der beskriver en ikke-lineær sammenhæng mellem ålegræssets dybdegrænse og vandets indhold af kvælstof. Ålegræsværktøjet er baseret på målinger foretaget i 1980-erne.

De forskellige kilder til kvælstof består af en blanding af uorganiske kvælstofforbindelser (f.eks. nitrat) og organisk bundet kvælstof. Uorganiske forbindelser dominerer i afstrømningen fra land, mens tilførsler fra især Østersøen domineres af organiske forbindelser. Den biologiske tilgængelighed er størst for uorganiske kvælstof og væsentligt lavere for organisk bundet kvælstof, så reelt kan størrelsen af de forskellige kilder ikke umiddelbart sammenlignes. I Vandplanerne skelnes der dog ikke mellem uorganiske og organiske kvælstofforbindelser, og alle forbindelser behandles samlet som "total-kvælstof".

Overordnet budget for kvælstof i indre danske farvande

Miljøtilstanden og næringsstofforhold i indre danske farvande domineres af store tilførsler af vand fra Østersøen (ca. 930 km³/år) og fra Skagerrak (ca. 1025 km³/år), der er mange gange større end ferskvandsafstrømningen fra dansk land (ca. 6-8 km³/år). Selv om kvælstofkoncentrationen er 15 gange højere i de danske vandløb

sammenlignet med vand fra Skagerrak og Østersøen, så kommer Østersøen og Skagerrak alligevel til at dominere, fordi vandtransporterne er så store.



Figur 1. Vigtigste kilder til vand- og næringstilførsler til indre farvande.

I en tidligere rapport (DHI 2011) blev det vist, at kilderne til total-kvælstof i de indre farvande i dag fuldstændigt domineres af tilførslerne fra den brakke Østersø og det salte Skagerrak, som samlet udgør 80 % af tilførslerne. Den danske andel udgør i dag 6,7 %, og heraf udgør de direkte udledninger 5,3 % (Tabel 1). Danmarks lave andel i den samlede kvælstoftilførsel betyder, at gennemførsel af Grøn Vækst (19.000 tons kvælstof reduktion i de direkte tilførsler) vil reducere den samlede tilførsel til de indre farvande med ca. 2-2,5 %. Dette understreger, at gennemførsel af vandplanerne potentielt vil have effekt på kvælstof i fjordene, og ikke i indre åbne farvande.

Tabel 1 Kvælstoftilførsler til de indre farvande. Intervalleret for Skagerrakkilden angiver variationsbredden hvis kilden udgøres af 100 % bundvand eller 100 % overfladevand . Ved beregning af de relative bidrag er det antaget at bundvand og overfladevand fra Skagerrak hver bidrager med 50 %. Fra DHI (2011).

Kilder	Tusinde tons N	rel andel
Danmark	33,6	5,3%
atm. nedfald	8,4	1,3%
Sverige	32,8	5,2%
Tyskland	18,4	2,9%
Atm andre lande	30,9	4,9%
Østersøen	259	41,0%
Skagerrak	231-264	39,0%
Totalt	614-647	

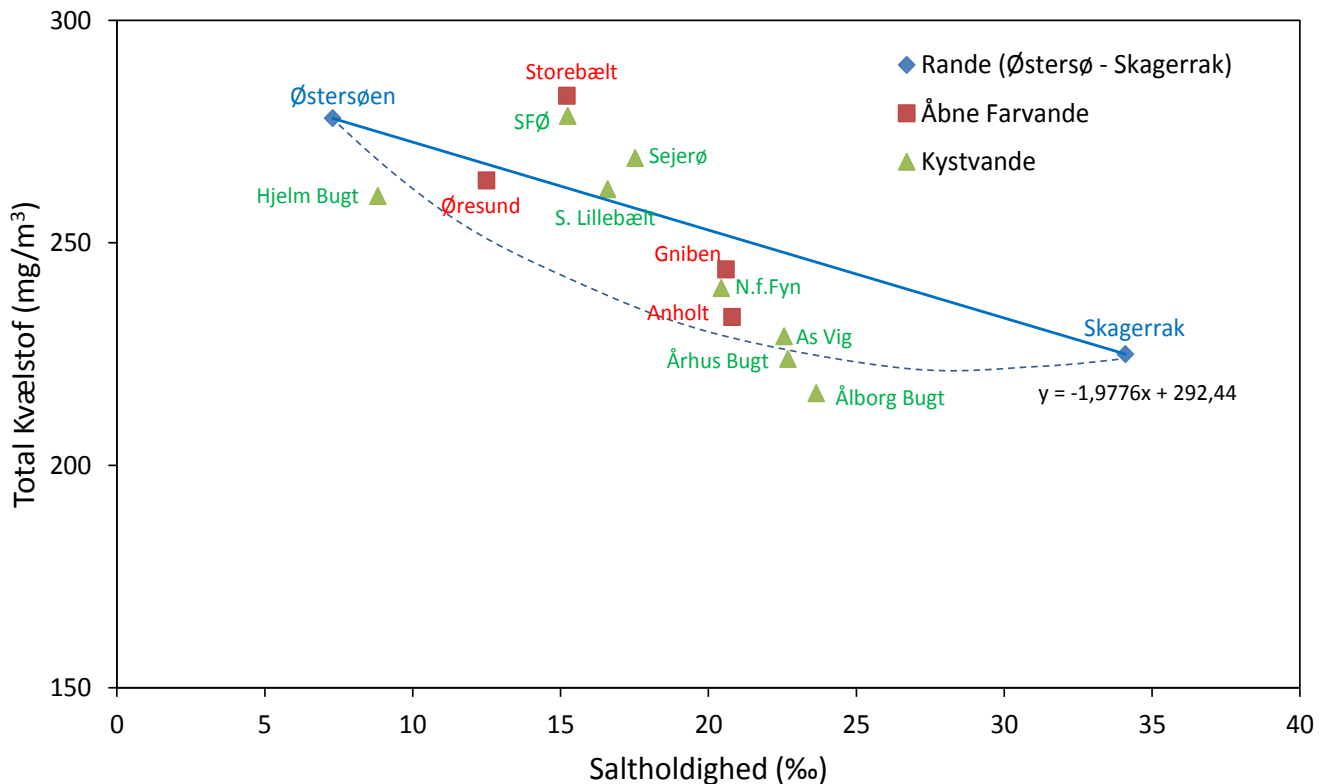
Relativ betydning af kilder til kvælstof i åbne farvande og kystvande

Koncentrationen af salt i de indre farvande bestemmes overordnet af 2 kilder, nemlig tilførslen af brakvand fra Østersøen og tilførslen af saltvand fra Skagerrak, mens effekten af danske og svenske ferskvandstilførsler og direkte nedbør på vandoverfalden er meget begrænset. Koncentrationen af salt opfører sig "konservativt", også når to (eller flere) forskellige vandmasser blandes. Det vil sige, at hvis man blander lige store volumener af vand med 30 g salt per liter og med 10 g salt per liter så bliver saltindholdet i blandingsvandet på 20 g per liter (= 20 ‰). Tæt ved udløbene fra åer stiger indflydelsen af ferskvand og her vil saltindholdet være lavere. Da både saltindhold og indhold af kvælstof er forskelligt i vand fra Østersøen, fra Skagerrak og i de danske vandløb må man forvente et kontinuum af saltindhold og kvælstofkoncentration de indre farvande samt i fjorde afhængig af hvor man befinder sig.

Man kan få en indikation af den relative indflydelse af kilder til kvælstof fra Skagerrak, Østersøen og lokale kilder (fra dansk land) ved at betragte "blandingsdiagrammer" for Salt – Totalkvælstof (Figur 2). Den blå linje som forbinder de to punkter, der repræsenterer Østersøens overfladevand (7,3 ‰ Saltholdighed – 287 mg total kvælstof/m³) og Skagerraks bundvand (34,3 ‰ Saltholdighed – 225 total kvælstof /m³) angiver en konservativ blanding af disse vandmasser (dvs. der hverken fjernes eller tilføres totalkvælstof, når vandmasserne blandes og passerer gennem de danske farvande). Den stiplede linje illustrerer, at hvis der ikke var lokale kvælstoftilførsler måtte man forvente en lavere koncentration af kvælstof i indre farvande grundet tab ved sedimentation og denitrifikation.

Værdier fra indre farvande og kystvande, der ligger over den blå linje viser, at lokale tilførsler er så betydende at de mere end opvejer tabene fra sedimentation og denitrifikation, mens værdier som ligger under linjen indikerer, at lokale tilførsler ikke kan opveje tabene af kvælstof fra overfladevandet.

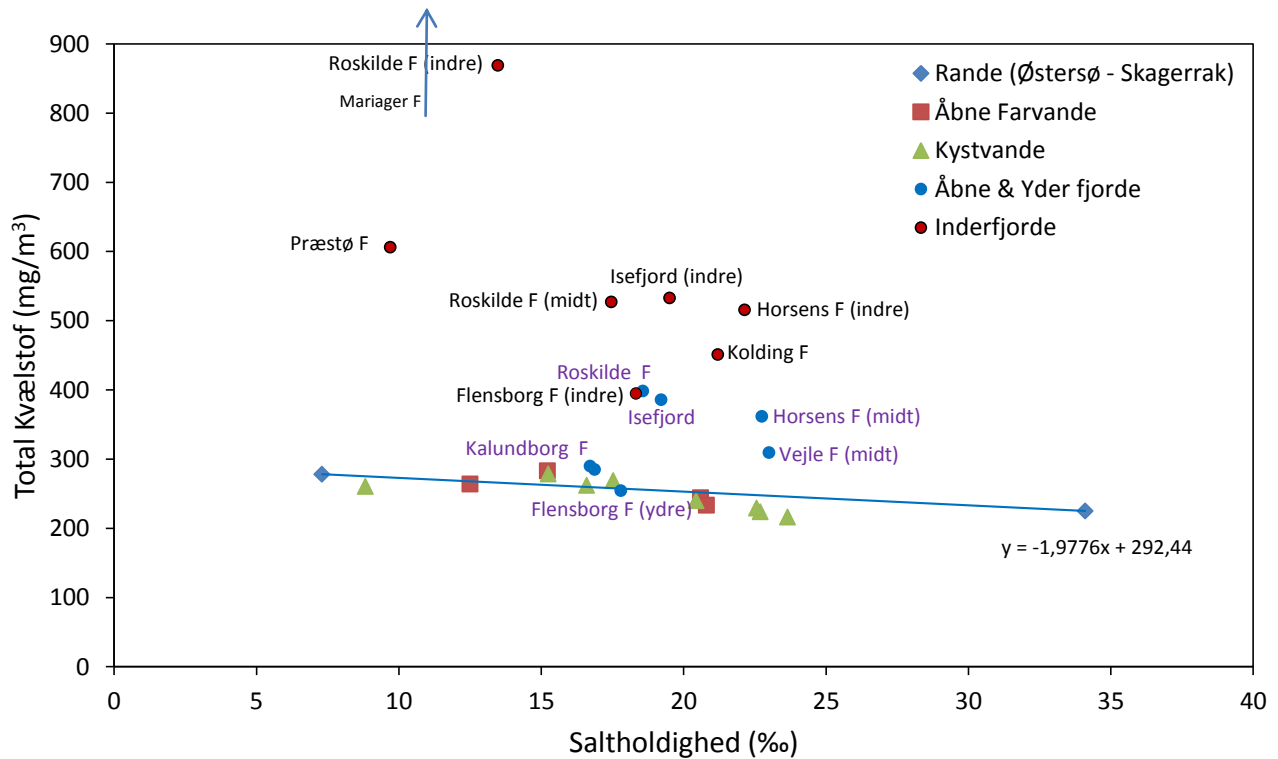
Det fremgår, at kun for stationerne i Storebælt, i Det sydfynske Øhav (SFØ) og til dels ved Sejerø ligger koncentrationerne over "blandings-linjen" som indikation af at de lokale tilførsler overstiger kvælstoftabene. De øvrige farvande og kystvande ligger på eller under blandingslinjen. Set i forhold til eventuelle forskelle mellem de 6-7 laboratorier, der har været involveret i analyserne for totalkvælstof så forekommer afvigelse fra blandingslinjen dog ikke væsentlige.



Figur 2. Blandingsdiagram for saltholdighed og koncentration af totalkvælstof mellem overfladevand fra Østersøen og bundvand fra Skagerrak. Saltholdigheder og koncentrationer af totalkvælstof er baseret på 4 års gennemsnit (2003-2006) af årsmidler på de enkelte stationer i indre farvande, danske kystvande, Skagerrak og Østersøen. Alle data er hentet fra den Marine Database MADS. Den stiplede linje viser et teoretisk forløb af blandingskurven

Betydning af kilder til kvælstof i østlige fjorde

Koncentrationer af kvælstof i fjordene og hvordan disse ligger i forhold til "blandingslinjen" mellem vand fra Østersøen og fra Skagerrak er vist i Figur 3. For yderfjorde varierer overkoncentrationen (i forhold til blandingslinjen) mellem 35 % (Roskilde og Isefjord) og 0 % (Flensborg Fjord) svarende til at de lokale kilder bidrager med mellem 0 og 35 %. Det følger heraf, at kvælstofbidraget fra de åbne farvande (der igen bestemmes af tilførslerne fra Østersøen og Skagerrak) står for mellem 65 % og 100 % i de ydre dele af de fjorde, der er vist i Figur 3 (se Tabel 2).



Figur 3. Blandingsdiagram for saltholdighed og koncentration af totalkvælstof mellem overfladevand fra Østersøen og bundvand fra Skagerrak. Saltholdigheder og koncentrationer af totalkvælstof er baseret på 4 års gennemsnit (2003-2006) af årsmidler på de enkelte stationer i inderfjorde, yderfjorde og åbne fjorde (åbne indre farvande, danske kystvande) samt Skagerrak og Østersøen. Alle data er hentet fra den Marine Database MADS.

Tabel 2. Yderfjorde. Saltholdighed og koncentration af total-kvælstof (2003-2006) i overfladen på overvågningsstationer, miljømål for koncentration af total-kvælstof samt beregnet andel af kvælstof som stammer fra åbne farvande. Miljømål er justeret fra gennemsnit marts-oktober (vandplaner) til årsmidler.

Station	Saltholdighed	total-Kvælstof	Miljømål	N-andel fra indre farvande
	% S	mg N/m ³		
Vejle midtfjord (St. VEJ 4273)	23,0	309,2	253,6	80%
Horsens midtfjord (St. VEJ 6489)	22,7	361,6	184,8	68%
Isefjord ydre del (St. 10003)	19,2	385,6	281,5	66%
Roskilde Fj. (St. FBR75)	18,6	398,5	399,0	64%
Kalundborg indre Fj. (St. 41008)	16,7	290,0	154,4	89%
Kalundborg ydre Fj. (St. 41007)	16,9	285,0	155,8	91%
Flensborg ydre Fj. (St. KFF5)	17,8	254,4	153,3	101%

I de indre dele af fjorde som har en åben rand til indre farvande varierer "overkoncentrationen" af kvælstof mellem 34 % (Flensborg Fjord) og 75 % (Mariager Fjord) (se Figur 3) og dermed bidrager kvælstof fra den åbne rand med mellem 66 % og 25 % (se Tabel 3). Andelen angivet i Tabel 3 er beregnet på basis af forholdene ved målestationerne. Oprindeligt er deres placering vel valgt for at få et repræsentativt billede af forholdene i inderfjorderne, men det er indlysende at jo tættere man kommer på åernes munding så reduceres

indflydelsen fra de åbne farvande og jo længere man bevæger sig mod yderfjordene, så øges indflydelsen fra de åbne farvande.

Tabel 3. Inderfjorde. Saltholdighed og koncentration af total-kvælstof (2003-2006) i overfladen på overvågningsstationer, miljømål for koncentration af total-kvælstof samt beregnet andel af kvælstof som stammer fra åbne farvande. Med undtagelse af Kolding Fjord er miljømål justeret fra gennemsnit marts-oktober (vandplaner) til årsmidler.

Station	Saltholdighed	total-Kvælstof	Miljømål	N-andel fra
	‰ S	mg N/m ³		indre farvande
Præstø Fj. (STR 0802008)	9,7	606	395	45%
Roskilde Bredning (St. 60)	13,5	869	673	31%
Roskilde Fj. (FRB 65)	17,5	527	447	49%
Kolding Fj. (St. 3350)*	21,2	451	403	56%
Mariager Fj. (St. 5503)	10,6	1088	613	25%
Horsens Fj. (VEJ 5790)	22,1	515	271	48%
Isefjord (VSJ 10006)	19,5	533	288	48%
Flensborg Fj. (KFF2)	18,3	390	153	66%

*data fra april-november (derfor ingen sæsonkorrektion af miljømål)

Miljømål for koncentrationen af kvælstof

I vandplanerne antages, at der kan opnås en god økologisk tilstand ved reduktion af kvælstoftilførsler til et koncentrationsniveau, som svarer til en ålegræsdybde der ligger 26 % lavere end de dybder som blev estimeret for 100 år siden. Ved anvendelse af "ålegræsværktøjet" (relation mellem koncentration af totalkvælstof og ålegræssets dybdegrænse) er der beregnet mål for kvælstofkoncentrationen i de forskellige kystvande (Figur 4), yderfjorde (Tabel 2; Figur 5) og inderfjorde (Tabel 3; Figur 6). I Vandplanerne er kvælstofmålene angivet for perioden marts-oktober, mens miljømålene vist i Tabel 2, Tabel 3 samt i Figur 4-6 er konverteret til årsmidler baseret på kvælstofdata fra perioden 2003-2006, dvs. at hvis gennemsnitskoncentrationen af totalkvælstof for perioden januar-december var 20 % højere end for perioden marts-oktober, så blev vandplanernes miljømål for totalkvælstof øget med 20 % i Tabel 2 og Tabel 3.

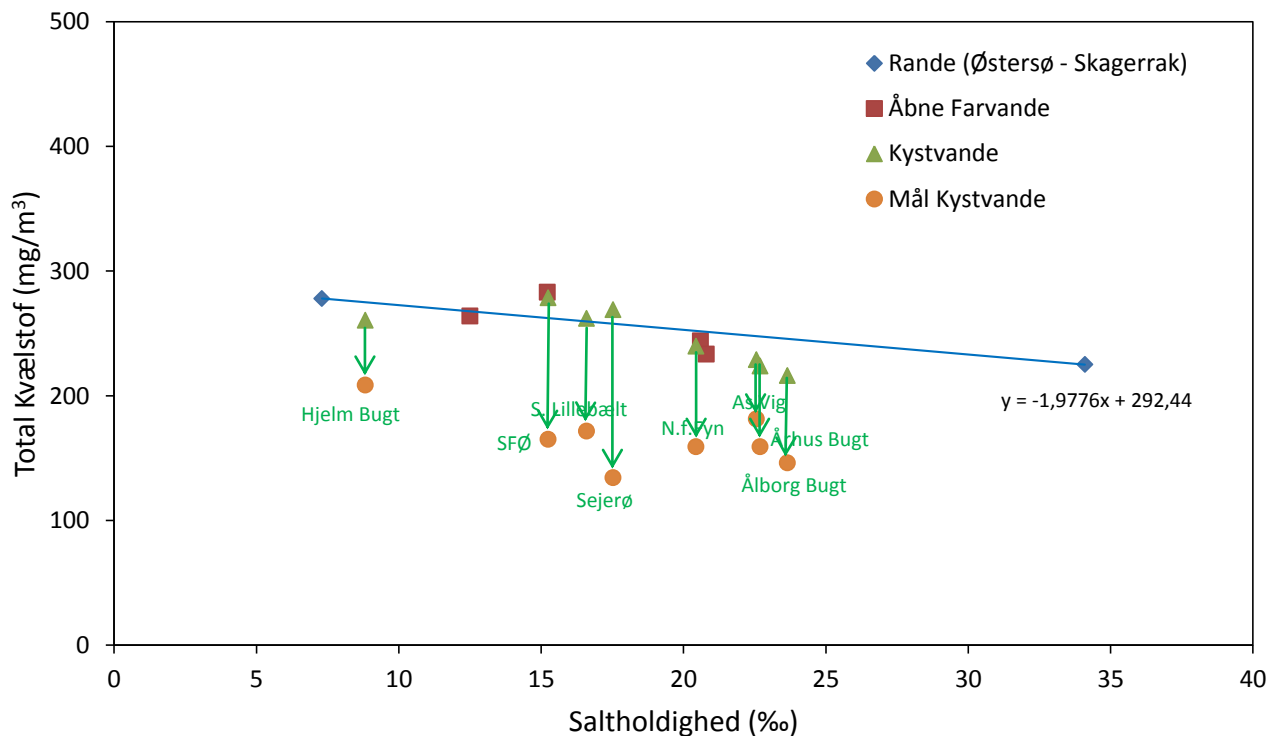
Kystvande

Miljømålene for kvælstof i kystvandene ligger markant under (24-48 %) den teoretiske "blandingslinje" mellem østersøvand og vand fra Skagerrak, og også langt under (20-50%) de kvælstofkoncentrationer som findes i dag (Figur 4). Da bundvandet i Skagerrak (= Nordatlantisk vand) ikke er nævneværdigt påvirket af menneskabt aktivitet, må man antage at en koncentration på 225 mg kvælstof/m³ har været og i fremtiden vil være konstant over tid.

Kvælstofindholdet i Østersøvand har ikke været konstant, men historiske værdier vurderes forskelligt. Savchuk og medarbejdere (2008) vurderer at størrelsen af den førindustrielle kvælstoftilførsel har ligget på lidt under halvdelen af tilførslen i dag, men fordi tilførslen af fosfor har været endnu lavere end for kvælstof, har Østersøen været fosfor-begrænset (Savchuk et al. 2008), og koncentrationen af kvælstof har måske været den samme som i dag. Andre mener, at både kvælstoftilførsler og -koncentrationer har været markant lavere end i dag (f.eks. Voss et al. 2011). Men på kort og mellemlangt sigt er der ikke tegn på at koncentrationen af

kvælstof i den vestlige Østersø vil falde markant, og dermed heller ikke tilførslen fra Østersøen til indre danske farvande.

Set på den baggrund er miljømålene for totalkvælstof i kystvandene ikke realistiske og vil ikke kunne opfyldes, med mindre at kvælstoftilførslen fra Østersøen blev reduceret med 60-80 %. Det er et fælles mål for landene omkring Østersøen (dog ikke tiltrådt af Rusland), at kvælstoftilførslen skal reduceres med 35 %, men effekten af en reduktion vil tage lang tid om at slå igennem (30-50 år), fordi vandudskiftningen sker meget langsomt i Østersøen. Og ved faldende kvælstofkoncentrationer er der risiko for at blågrønalgerne kvælstoffiksering vil øges, så den reelle reduktion af kvælstofkoncentrationen i den vestlige Østersø vil være mindre end 35 %.

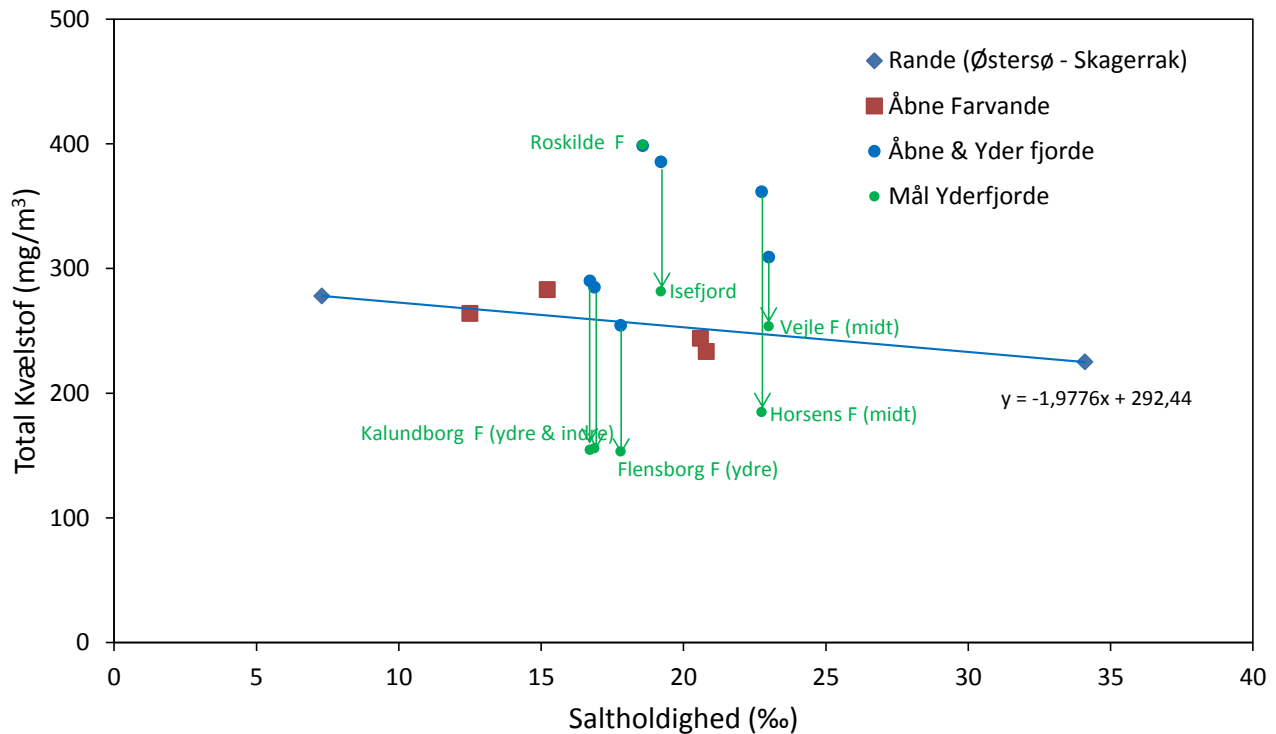


Figur 4. Blandingsdiagram for saltholdighed og koncentration af totalkvælstof mellem overfladevand fra Østersøen og bundvand fra Skagerrak. Koncentrationer i åbne farvande, kystvande samt miljømål for kvælstofkoncentrationer i kystvande. Miljømålene er konverteret til årsmidler. Pilene angiver størrelsen af reduktionen i koncentration af totalkvælstof fra koncentrationen (Δ) i perioden 2003-2006 til målene i Vandplanerne \circ .

Yderfjorde

Miljømålene for kvælstof i yderfjordene ligger både under (Kalundborg, Flensborg, Horsens midtfjord), på (Vejle midtfjord), lige over (Isefjord Yderbredning) og betydeligt over (Roskilde Fjord) den teoretiske "blandingslinje" mellem Østersøvand og vand fra Skagerrak (Figur 5). For Kalundborg Fjord, Flensborg Fjord og Horsens Fjord gælder, at miljømålene ikke vil kunne opfyldes, selv om koncentrationen af kvælstof i det udledte ferskvand er så lav som 100 mg/m³ (normalkoncentrationen i åvand er ca. 50 gange højere), og for at opfylde målet i den centrale del af Vejle Fjord og den ydre dele af Isefjord må kvælstofkoncentrationen i

åvandet ikke overstige 250 mg kvælstof/m³ og 300 mg kvælstof/m³. Hertil skal bemærkes, at vandløb som afvander naturoplande typisk har kvælstofkoncentrationer mellem 1000 og 2000 mg kvælstof/m³. Ligesom for kystvandene må de opstillede miljømål betegnes som urealistiske.

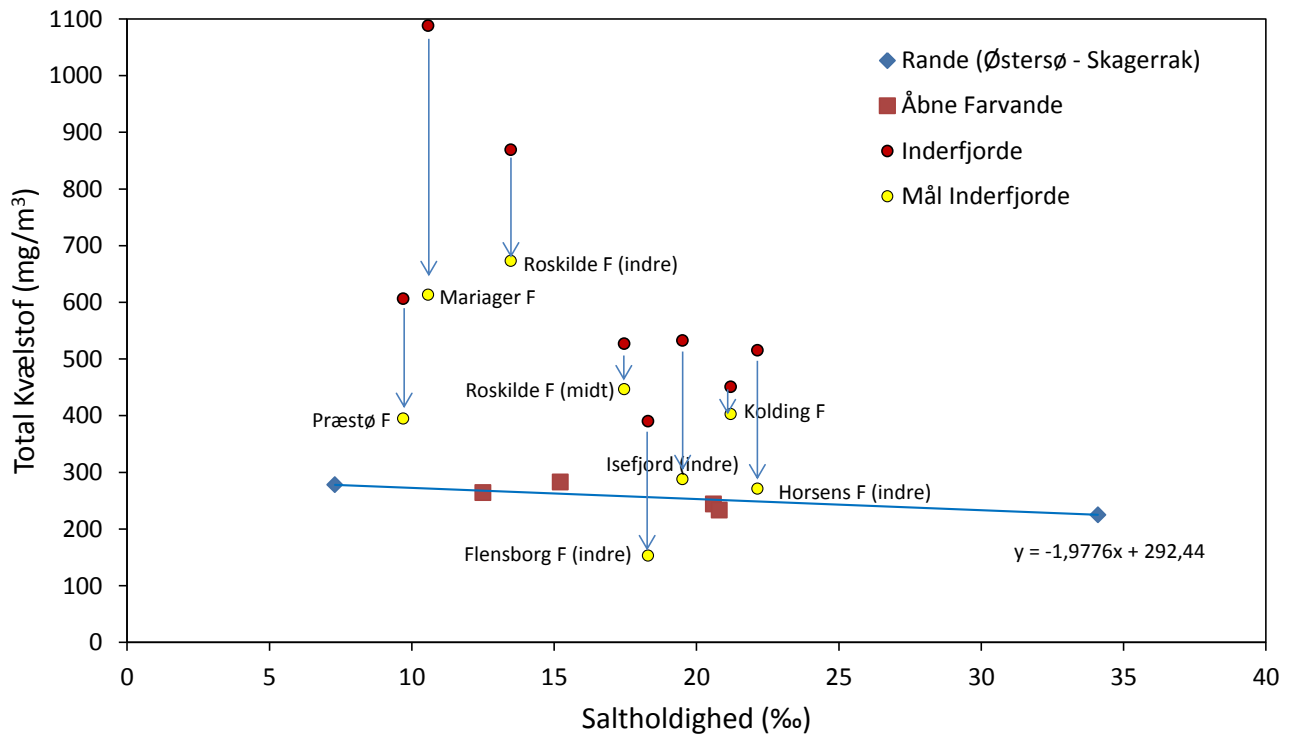


Figur 5. Blandingsdiagram for saltholdighed og koncentration af totalkvælstof mellem overfladevand fra Østersøen og bundvand fra Skagerrak. Koncentrationer i åbne farvande, yderfjorde samt miljømål for kvælstofkoncentrationer i yderfjorde.

Inderfjorde

Miljømålene for kvælstof i inderfjordene ligger både under (Flensborg), på (Horsens Inderfjord, Isefjord Inderbredning) og over den teoretiske "blandingslinje" mellem Østersøvand og vand fra Skagerrak (Figur 6). Som for yderfjorde vil de miljømål, der ligger under eller på "blandingslinjen" være urealistiske. Det drejer sig om Flensborg Fjord, Horsens Fjord og Isefjord.

De 3 inderfjorde (Mariager, Roskilde og Præstø) med meget høje kvælstofkoncentrationer er karakteriseret ved lange opholdstider af vand og kvælstof, fordi udveksling med de åbne farvande reduceres af "tærskler" ved fjordens munding eller af en lang snæver passage. Her giver det størst mening at reducere i kvælstoftilførsler fra land.



Figur 6. Blandingsdiagram for saltholdighed og koncentration af totalkvælstof mellem overfladevand fra Østersøen og bundvand fra Skagerrak. Koncentrationer i åbne farvande, inderfjorde samt miljømål for kvælstofkoncentrationer i inderfjorde. Pile angiver størrelsen af reduktioner for at nå målene angivet i vandplanerne. Kvælstofkoncentrationer i Kolding Fjord er kun tilgængelig for perioden marts/april til oktober/november - miljømålene er derfor ikke konverteret til årsmidler.

Referencer

DHI (2011) Effekt af Næringssaltsreduktioner på Miljøtilstanden i de Åbne Indre Danske Farvande.
http://www.lf.dk/~media/lf/Miljo%20klima/vandplaner/IndreDanskeFarvande_rev_71_bgr.ashx

MADS: Saltholdighed: <http://www.dmu.dk/vand/havmiljoe/mads/ctd/data/>

MADS: Kvælstof: <http://www.dmu.dk/vand/havmiljoe/mads/vandkemi/data/>

Savchuk OP, Wulff F, Hille S, Humborg C, Pollehne F (2008) The Baltic Sea a century ago — a reconstruction from model simulations, verified by observations. *Journal of Marine Systems*, 74: 485-494

Voss M, Dippner JW, Humborg C, Hürdler J, Korth F, Neumann T, Schernewski G, Venohr M (2011) History and scenarios of future development of Baltic Sea eutrophication. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 92: 307-322