

# Effekter af danske kvælstoftilførsler for miljøtilstanden i danske vandområder

---

Notat fra DCE og DHI

Dato: 4. september 2015

Forfattere:

Karen Timmermann (AU) og Anders Chr. Erichsen (DHI)

Kvalitetssikring

DCE: Poul Nordemann Jensen

DHI: Anne Middelboe, Andreas Brogaard Buhl

# 1 Baggrund

DHI og DCE har beregnet indsatsbehov for alle danske vandområder i forbindelse med 2. generation af vandområdeplanerne, hvilket er beskrevet i rapportserien *"Implementeringen af modeller til brug for vandforvaltningen. Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder – del 1-3"* (Erichsen et al. 2014, Erichsen & Kaas 2014, Timmermann et al. 2014). Efterfølgende har Miljø- og Fødevareministeriet efterspurgt en vurdering af, hvor meget den enkelte indikator kan forventes at ændre sig (følsomhed), hvis de danske N tilførsler ændres (dvs. svarende til "den danske andel", som er beskrevet i delrapport 2). I dette notat redegøres derfor for betydningen af dansk kvælstof for de enkelte indikatorer i samtlige Vandrammedirektiv (VRD) vandområder. Beregningerne er ikke identiske med beregningerne i delrapport 2. I delrapport 2 er der benyttet en metode der beskriver, hvor tæt på målopfyldelse man kan komme i det enkelte vandområde, alene ved at reducere på danske landbaserede N tilførsler, mens beregningerne i dette notat angiver effekter (i %) på klorofyl,  $K_d$  og TN koncentrationen som følge af reduktioner i danske N tilførsler.

# 2 Introduktion

Betydningen af danske kvælstoftilførsler for miljøtilstanden varierer mellem de enkelte vandområder. Denne variation skyldes en række faktorer hvoraf opholdstid, ferskvandspåvirkning og dybdeforhold spiller en vigtig rolle. Dermed er der også forskel i effekten af kvælstof reduktioner mellem vandområderne. I vandområder hvor miljøtilstanden primært styres af kvælstof fra dansk opland, forventes en stor effekt af reducerede kvælstoftilførsler, hvorimod effekten af reduktioner vil være mindre i de vandområder hvor f.eks andre N-tilførsler (udenlandske kvælstofkilder og atmosfærisk bidrag – hvoraf noget også stammer fra Danmark) påvirker miljøtilstanden væsentligt.

Med baggrund i de udviklede statistiske og mekanistiske vandplansmodeller er det muligt at estimere effekten på VRD indikatorerne sommerklorofyl- og sommer- $K_d$ , foruden TN koncentrationerne, i de enkelte vandområder af reducerede kvælstoftilførsler fra danske landområder. Beregningerne er baseret på den modellerede respons (hældning) mellem N tilførsler og indikatorerne. Model responsen (hældningerne) beskriver størrelsen på ændringer i indikatorværdi som følge af en ændring i kvælstoftilførsler. Desto større hældningen mellem tilførsler og indikatoren er, desto mere tydelig vil en N reduktion slå igennem. Hældningerne er defineret som en % ændring i indikator per % ændring i dansk N tilførsel. Disse beregninger siger altså noget om den forventede effekt af reduktioner i danske kvælstoftilførsler på miljøtilstanden vurderet ud fra de enkelte indikatorer. Beregningerne er imidlertid ikke et udtryk for, om vandområderne opnår målopfyldelse, eller hvor meget reduktion der skal til for at opnå målopfyldelse. For at se hvilke samlede reduktioner, der skal til for at Danmark opfylder egen andel af nødvendige kvælstofreduktioner for at opnå målopfyldelse, henvises til delrapport 1.

## 3 Metode

Under arbejdet med at bestemme sommer-klorofyl mål i de danske vandområder (se Kaas et al., 2015) blev der foretaget en kategorisering af de enkelte vandområder baseret på en vurdering af ferskvandsafstrømningen. Denne inddeling har vi bibeholdt i denne følsomhedsanalyse, og metoden til at kunne vurdere betydningen af dansk kvælstof i alle VRD vandområder består derfor overordnet af:

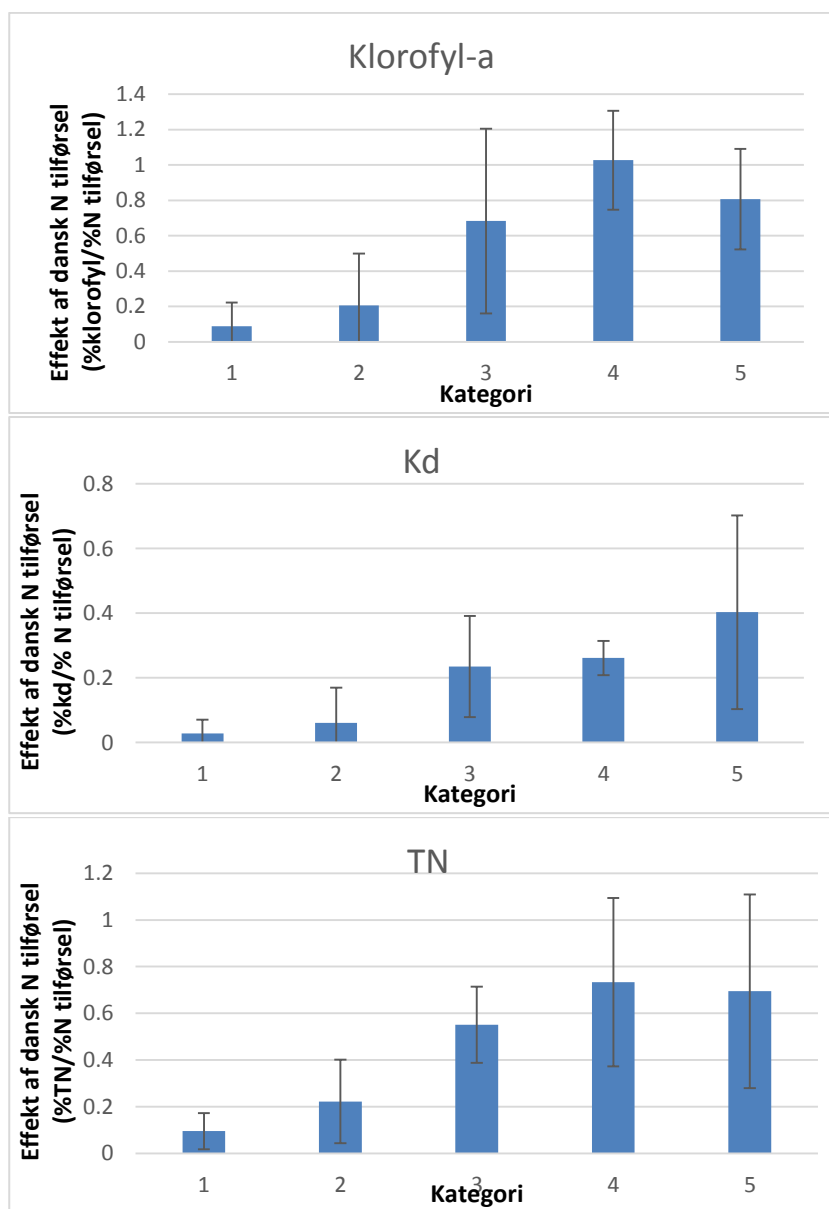
- Inddeling af alle danske vandområder i 5 kategorier baseret på graden af ferskvandpåvirkning, se Kaas et al., 2015, som indgår i den danske typologi. De 5 kategorier er:
  - Kategori 1: Åbent vand (n=36)
  - Kategori 2: Lettere ferskvandspåvirkede vandområder (f.eks. åbne fjorde/bugter) (n=53)
  - Kategori 3: Meget ferskvandspåvirkede vandområder (f.eks. lukkede fjorde) (n=17)
  - Kategori 4: Ferskvandsdominerede vandområder (f.eks. Randers inderfjord) (n=8)
  - Kategori 5: Slusefjorde (n=5)
- Beregning af den gennemsnitlige respons (hældning) mellem danske N tilførsler og indikatorer for hver kategori ud fra de vandområder, hvor der er opstillet specifikke mekanistiske og/eller statistiske modeller.
- De estimerede gennemsnitlige kategorirespons (hældninger) mellem N tilførsler og indikatorer overføres til samtlige vandområder baseret på typologien (se bilag 1). Vandområder med områdespecifikke modeller har i dette notat også fået tildelt den kategorispecifikke værdi, men der foreligger naturligvis områdespecifikke hældninger for disse vandområder.

De hældninger som er benyttet i denne analyse stammer alle fra de områdespecifikke beregninger der ligger til grund for de endelige indsatsberegninger. Disse beregninger er beskrevet i (Erichsen & Kaas 2014, Timmermann et al. 2014) og den her beskrevne metode omfatter alene metoden til at bestemme følsomheden af dansk kvælstof i alle danske vandområder.

## 4 Resultater

Effekten af ændringer i danske kvælstoftilførsler (udtrykt ved hældningskoefficienter) for klorofyl,  $K_d$  og TN koncentrationer i hver af de 5 vandområdekategorier fremgår af figur 1. Generelt ses at betydningen af danske kvælstofreduktioner falder jo mindre ferskvandspåvirket et vandområde er, og dette gælder for både klorofyl- og  $K_d$  indikatorerne samt for TN koncentrationerne. F.eks. vil der i åbent-vandsområderne (kategori 1) være en mindre effekt af kvælstofreduktioner på både klorofyl,  $K_d$  og TN end i de mere lukkede fjorde (kategori 3) og ferskvandsdominerede vandområder (kategori 4). Slusefjordene (Kategori 5) responderer generelt meget på ændrede kvælstoftilførsler. Ligeledes ses, at  $K_d$  generelt er mindre følsom overfor ændringer i dansk N end klorofyl og TN og at dette gælder

for alle vandområdekategorier. Effekten af danske kvælstoftilførsler for hhv. klorofyl og  $K_d$  indikatorerne samt for TN koncentrationer i samtlige vandområder fremgår af bilag 1. Selvom responsen på ændrede danske N tilførsler i nogle (åben)vandsområder er relativt lav, viser resultaterne, at der er en effekt af dansk N tilførsel i alle vandområder.



**Figur 1A.**

Gennemsnitlig ( $\pm$ StDev) effekt af dansk N tilførsel for klorofylindikatoren i de 5 vandområde-kategorier (se tekst). Effekten er udtrykt som % ændring i klorofylindikatoren pr. % ændring i N tilførsler og er fremkommet ved modelberegnete relationer (hældningskoefficienter) mellem N tilførsler og klorofylindikatoren. Der indgår hhv. 29 (kat. 1), 16 (Kat. 2), 14 (kat. 3), 3 (kat. 4), og 2 (kat. 5) vandområder i beregningerne.

**Figur 1B.**

Gennemsnitlig ( $\pm$ StDev) effekt af dansk N tilførsel for  $K_d$ -indikatoren i de 5 vandområde-kategorier (se tekst). Effekten er udtrykt som % ændring i  $K_d$ -indikatoren pr. % ændring i N tilførsler og er fremkommet ved modelberegnete relationer (hældningskoefficienter) mellem N tilførsler og klorofylindikatoren. Der indgår hhv. 29 (kat. 1), 16 (Kat. 2), 11 (kat. 3), 3 (kat. 4), og 3 (kat. 5) vandområder i beregningerne.

**Figur 1C.**

Gennemsnitlig ( $\pm$ StDev) effekt af dansk N tilførsel for TN koncentrationen i de 5 vandområde-kategorier (se tekst). Effekten er udtrykt som % ændring i TN koncentrationen pr. % ændring i N tilførsler og er fremkommet ved modelberegnete relationer (hældningskoefficienter) mellem N tilførsler og TN koncentrationen. Der indgår hhv. 30 (kat. 1), 17 (Kat. 2), 15 (kat. 3), 5 (kat. 4), og 3 (kat. 5) vandområder i beregningerne.

## 5 Referencer

Erichsen, A.C., Timmermann, K., Kaas, H., Markager, S., Christensen, J., and Murray, C. (2014). Implementeringen af modeller til brug for vandforvaltningen. Modeller for Danske fjorde og kystnære Havområder -Del 1. Metode til bestemmelse af målbelastning. DHI og Aarhus Universitet.

Erichsen, A.C. & Kaas, H. 2015: NST projektet "Implementeringen af modeller til brug for vandforvaltningen". Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder - Del 2. Mekanistiske modeller og metode til bestemmelse af indsatsbehov. DHI.

Kaas, H., Timmermann, K., Erichsen, AC., Christensen, J., Murray, C. & Markager, S. (2015). Fastlæggelse af klorofyl a grænseværdier i fjorde og kystområder ved brug af modelværktøjer DHI og Aarhus Universitet.

Timmermann, K., Christensen, J., Murray, C. & Markager, S. 2015: NST projektet "Implementeringen af modeller til brug for vandforvaltningen". Modeller for Danske Fjorde og Kystnære Havområder - Del 3. Statistiske modeller og metode til bestemmelse af indsatsbehov. Aarhus Univesitet.

## Bilag 1:

Effekter af danske kvælstoftilførsler (angivet ved hældningskoefficienter) for klorofyl indikatoren,  $K_d$  indikatoren og TN koncentrationen i alle danske VRD vandområder. Hældningskoefficienterne er opgivet som % ændring i indikatorværdi pr. % ændring i N tilførsel fra dansk opland.

Omr ID	Vandområde navn	MMV	Gennemsnitlig hældning		
		Kategori	Klorofyl [%klorofyl per %Nload]	$K_d$ [% $K_d$ per %Nload]	TN [%TN per %Nload]
1	Roskilde Fjord, ydre	2	0.21	0.06	0.22
2	Roskilde Fjord, indre	3	0.68	0.24	0.55
6	Nordlige Øresund	1	0.09	0.03	0.10
9	København Havn	1	0.09	0.03	0.10
16	Korsør Nor	2	0.21	0.06	0.22
17	Basnæs Nor	2	0.21	0.06	0.22
18	Holsteinsborg Nor	2	0.21	0.06	0.22
24	Isefjord, ydre	2	0.21	0.06	0.22
25	Skælskør Fjord og Nor	2	0.21	0.06	0.22
26	Musholm Bugt, indre	2	0.21	0.06	0.22
28	Sejerøbugt	1	0.09	0.03	0.10
29	Kalundborg Fjord	2	0.21	0.06	0.22
34	Smålandsfarvandet, syd	2	0.21	0.06	0.22
35	Karrebæk Fjord	3	0.68	0.24	0.55
36	Dybsø Fjord	2	0.21	0.06	0.22
37	Avnø Fjord	2	0.21	0.06	0.22
38	Guldborgssund	2	0.21	0.06	0.22
41	Langelandsbælt, øst	1	0.09	0.03	0.10
44	Hjelm Bugt	1	0.09	0.03	0.10
45	Grønsund	1	0.09	0.03	0.10
46	Fakse Bugt	1	0.09	0.03	0.10
47	Præstø Fjord	2	0.21	0.06	0.22
48	Stege Bugt	2	0.21	0.06	0.22
49	Stege Nor	2	0.21	0.06	0.22
56	Østersøen, Bornholm	1	0.09	0.03	0.10
57	Østersøen, Christiansø	1	0.09	0.03	0.10
59	Nærá Strand	3	0.68	0.24	0.55
61	Dalby Bugt	3	0.68	0.24	0.55

62	Lillestrand	2	0.21	0.06	0.22
63	Nakkebølle Fjord	3	0.68	0.24	0.55
64	Skårupøre Sund	2	0.21	0.06	0.22
65	Thurøbund	2	0.21	0.06	0.22
68	Lindelse Nor	2	0.21	0.06	0.22
69	Vejlen	4	1.03	0.26	0.73
70	Salme Nor	4	1.03	0.26	0.73
71	Tryggelev Nor	4	1.03	0.26	0.73
72	Kløven	2	0.21	0.06	0.22
74	Bredningen	3	0.68	0.24	0.55
75	Emtekær Nor	3	0.68	0.24	0.55
76	Orestrand	2	0.21	0.06	0.22
78	Gamborg Nor	4	1.03	0.26	0.73
80	Gamborg Fjord	2	0.21	0.06	0.22
81	Bågå Nor	2	0.21	0.06	0.22
82	Aborgminde Nor	3	0.68	0.24	0.55
83	Holckenhavn Fjord	3	0.68	0.24	0.55
84	Kerteminde Fjord	3	0.68	0.24	0.55
85	Kertinge Nor	2	0.21	0.06	0.22
86	Nyborg Fjord	3	0.68	0.24	0.55
87	Helnæs Bugt	2	0.21	0.06	0.22
89	Lunkebugten	2	0.21	0.06	0.22
90	Langelandssund	1	0.09	0.03	0.10
92	Odense Fjord, ydre	3	0.68	0.24	0.55
93	Odense Fjord, indre	3	0.68	0.24	0.55
95	Storebælt, SV	1	0.09	0.03	0.10
96	Storebælt, NV	1	0.09	0.03	0.10
101	Genner Bugt	2	0.21	0.06	0.22
102	Åbenrå Fjord	2	0.21	0.06	0.22
103	Als Fjord	2	0.21	0.06	0.22
104	Als Sund	2	0.21	0.06	0.22
105	Augustenborg Fjord	2	0.21	0.06	0.22
106	Haderslev Fjord	2	0.21	0.06	0.22
107	Juvre Dyb, tide- vandsområde	1	0.09	0.03	0.10
108	Avnø Vig	2	0.21	0.06	0.22
109	Hejlsminde Nor	2	0.21	0.06	0.22
110	Nybøl Nor	2	0.21	0.06	0.22
111	Lister Dyb	1	0.09	0.03	0.10
113	Flensborg Fjord, indre	2	0.21	0.06	0.22
114	Flensborg Fjord, ydre	2	0.21	0.06	0.22
119	Vesterhavet, syd	1	0.09	0.03	0.10

120	Knudedyb tidevandsområde	1	0.09	0.03	0.10
121	Grådyb tidevandsområde	1	0.09	0.03	0.10
122	Vejle Fjord, ydre	2	0.21	0.06	0.22
123	Vejle Fjord, indre	3	0.68	0.24	0.55
124	Kolding Fjord, indre	2	0.21	0.06	0.22
125	Kolding Fjord, ydre	2	0.21	0.06	0.22
127	Horsens Fjord, ydre	2	0.21	0.06	0.22
128	Horsens Fjord, indre	2	0.21	0.06	0.22
129	Nissum Fjord, ydre	5	0.81	0.40	0.69
130	Nissum Fjord, mellem	5	0.81	0.40	0.69
131	Nissum Fjord, Felsted Kog	5	0.81	0.40	0.69
132	Ringkøbing Fjord	5	0.81	0.40	0.69
133	Vesterhavet, nord	1	0.09	0.03	0.10
135	Randers Fjord, Grund Fjord	4	1.03	0.26	0.73
136	Randers Fjord, Randers-Møllerup	4	1.03	0.26	0.73
137	Randers Fjord, ydre	3	0.68	0.24	0.55
138	Hevring Bugt	1	0.09	0.03	0.10
139	Anholt	1	0.09	0.03	0.10
140	Djursland Øst	1	0.09	0.03	0.10
141	Ebeltoft Vig	2	0.21	0.06	0.22
142	Stavns Fjord	2	0.21	0.06	0.22
144	Knebel Vig	2	0.21	0.06	0.22
145	Kalø Vig, indre	2	0.21	0.06	0.22
146	Norsminde Fjord	3	0.68	0.24	0.55
147	Århus Bugt, Kalø og Begtrup Vig	2	0.21	0.06	0.22
154	Kattegat, Læsø	1	0.09	0.03	0.10
156	Nissum Bredning, Thisted Bredning, Kås Bredning, Løgstør Bredning, Nibe Bredning og Lange-rak	3	0.68	0.24	0.55
157	Bjørnholms Bugt, Riisgårde Bredning, Skive Fjord og Lovns Bredning	4	1.03	0.26	0.73
158	Hjarbæk Fjord	5	0.81	0.40	0.69
159	Mariager Fjord, indre	4	1.03	0.26	0.73
160	Mariager Fjord, ydre	2	0.21	0.06	0.22



165	Isefjord, indre	2	0.21	0.06	0.22
200	Kattegat, Nordsjælland	1	0.09	0.03	0.10
201	Køge Bugt	1	0.09	0.03	0.10
204	Jammerland Bugt	1	0.09	0.03	0.10
205	Kattegat, Nordsjælland >20 m	1	0.09	0.03	0.10
206	Smålandsfarvandet, åbne del	1	0.09	0.03	0.10
207	Nakskov Fjord	2	0.21	0.06	0.22
208	Femerbælt	1	0.09	0.03	0.10
209	Rødsand	2	0.21	0.06	0.22
212	Faaborg Fjord	2	0.21	0.06	0.22
213	Torø Vig og Torø Nor	2	0.21	0.06	0.22
214	Det Sydfynske Øhav	1	0.09	0.03	0.10
216	Lillebælt, syd	1	0.09	0.03	0.10
217	Lillebælt, Bredningen	1	0.09	0.03	0.10
219	Århus Bugt syd, Samsø og Nordlige Bælthav	1	0.09	0.03	0.10
221	Skagerak	1	0.09	0.03	0.10
222	Kattegat, Aalborg Bugt	1	0.09	0.03	0.10
224	Nordlige Lillebælt	1	0.09	0.03	0.10
225	Nordlige Kattegat, Ålbæk Bugt	1	0.09	0.03	0.10