

# Vandet er blevet klarere

Vandet i fjorde og kystnære farvande er ikke blevet klarere de seneste 25 år, hvis man ellers skal tro målingerne af sigtddyden med secchiskiver. Men på lavt vand i fjorde og kystnære farvande er de behæftet med en fejl, der skjuler en betydelig forbedring af vandets klarhed.

HANS SCHRØDER &  
NIELS KRISTIAN HØJERSLEV

Med den første vandmiljøplan fra 1987 fulgte et nationalt overvågningsprogram (NOVANA) for at måle, om planen nu også virkede.

Det har resulteret i et datamateriale, der er enestående i omfang og kvalitet. Her er noget af materialet brugt til at belyse sammenhængen mellem udledningen af næringsstofferne kvælstof (N) og fosfor (P) til havet på den ene side og sigtddyden og indholdet af klorofyl på den anden.

## Tidsserier

Figur 1 viser 10 tidsserier med årsmiddelværdier for hvert kalenderår i perioden 1989-2015. Data er taget fra spredte oplysninger i /1/ og gengivet af os på en ensartet, sammenlignelig måde. Diagrammerne viser nedbøren på Danmark og afstrømningen til havet fra Danmark med de dertil tilhørende udledninger af kvælstof og fosfor til havet (de fire øverste).

De seks nederste diagrammer viser sigtddyden, D, målt med secchiskive, lysdæmpningskoefficienten, c, der er et mål for koncentrationen af organisk og uorganisk svæv, og endelig koncentrationen af klorofyl. Fjorde og kystnære farvande står i venstre side (blå) og åbne farvande i højre (gul).

I alle serier er der indlagt en trendlinje, regressionslinjen, der betragtes som en del af en lang 'bølge'. Den er overlejret af korte 'bølger', der, hvis de blev lagt sammen, ville udligne hinanden og resultere i trendlinjen. Der er med andre ord tale om 'støj', tilfældige

udsving fra en ellers rolig udvikling repræsenteret ved trendlinjen.

Der er tre bratte fald i serierne for nedbør og afstrømning:

- 1994-1996, fyldte kvadrater
- 1999-2001, fyldte trekantede
- 2007-2009, fyldte cirkler der fremkalder korresponderende fald i udledningen af N og P.

I alle tre tilfælde falder udledningerne af N og P betragteligt. Fx falder udledningen af N til noget nær det halve på to år. Samtidig er sigtddyde og klorofyl målt på en lang række stationer i havet omkring Danmark. Det er 'forsøg' i fuld skala.

Der er en slående lighed mellem de korte bølger i afstrømningen og kvælstofudledningen. De svinger på samme måde omkring trendlinjen. Lignende korte bølger, og en i begyndelsen endnu hurtigere faldende trend, ses også i fosforudledningen.

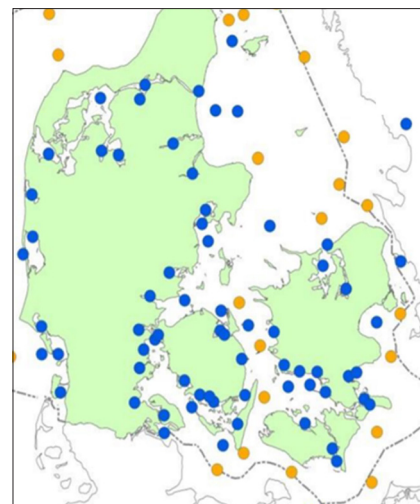
Trendlinjen for afstrømningen stiger som følge af stigende nedbør. Alt andet lige ville vi have set en stigning i N- og P-udledningerne, men vandmiljøplanerne har modvirket denne stigning og fremkaldt et fald.

## Sigtddyden og vandets indhold af klorofyl

Målestationernes placering i fjorde og kystnære farvande (blå) og åbne farvande (gul) fremgår af figur 2.

De korte bølger i udledningen af kvælstof og fosfor fremkalder korresponderende korte bølger i sigtddyden og klorofylkoncentrationen over alt i havet. Alt er 'efter bogen' på de korte bølger. Men ikke de lange.

I fjorde og kystnære farvande, hvor Danmarks bidrag til N- og P-tilførslen er stort, er



Figur 2. Målestationernes placering i fjorde og kystnære farvande (blå) og åbne farvande (gul). Gengivet fra /1/.

der tilsyneladende ingen forbedring i sigtddyden, trendlinjen er vandret. I de åbne farvande, derimod, hvor Danmarks bidrag er lille, er der en tydelig trend. På 25 år er sigtddyden steget 3/4 m. I den forbindelse skal det bemærkes, at også landene omkring os har nedbragt deres udledninger af N og P til havet forpligtet af internationale havkonventioner.

Jo mere kvælstof og fosfor, vi tilfører en afgrøde, desto større udbytte får vi (op til forgiftningspunktet), forudsat at de andre næringsstoffer er til stede i de rette forhold. Det gælder på landjorden, og det gælder i havet. Her er 'udbyttet' plankton, men resultatet af at tilføre mere N og P er det samme: Et større udbytte, mere planteplankton, og dermed en højere koncentration af lysdæmpende organisk svæv.

Der gælder følgende tilnærmede lovmæssighed /2/:

Figur 1. Tidsserier med årsmiddelværdier for hvert kalenderår i perioden 1989-2015. Diagrammerne viser nedbøren på Danmark og afstrømningen til havet fra Danmark med de dertil tilhørende udledninger af kvælstof og fosfor til havet (de fire øverste). De seks nederste diagrammer viser sigtddyben,  $D$ , målt med secchiskive, lysdæmpningskoefficienten,  $c$ , der er et mål for koncentrationen af organisk og uorganisk svæv, og endelig koncentrationen af klorofyl. Fjorde og kystnære farvande står i venstre side (blå) og åbne farvande i højre (gul).

$$Dc = 6$$

hvor  $D$  er sigtddyben [m] målt med en secchiskive, og  $c$  [1/m] er lysdæmpningen i en kollimeret, tynd lysstråle, et mål for koncentrationen af blandingen af organisk og uorganisk svæv i vandsøjlen. De to tidsserier for  $c$  næstnederst er beregnet af denne enkle ligning. Sammenholdes de korte bølger i  $c$  med bølgerne i klorofylkoncentrationen ses en lighed, der tyder på, at klorofylkoncentrationen, som en første ordens tilnærmelse, er et udmærket mål for koncentrationen af organisk svæv.

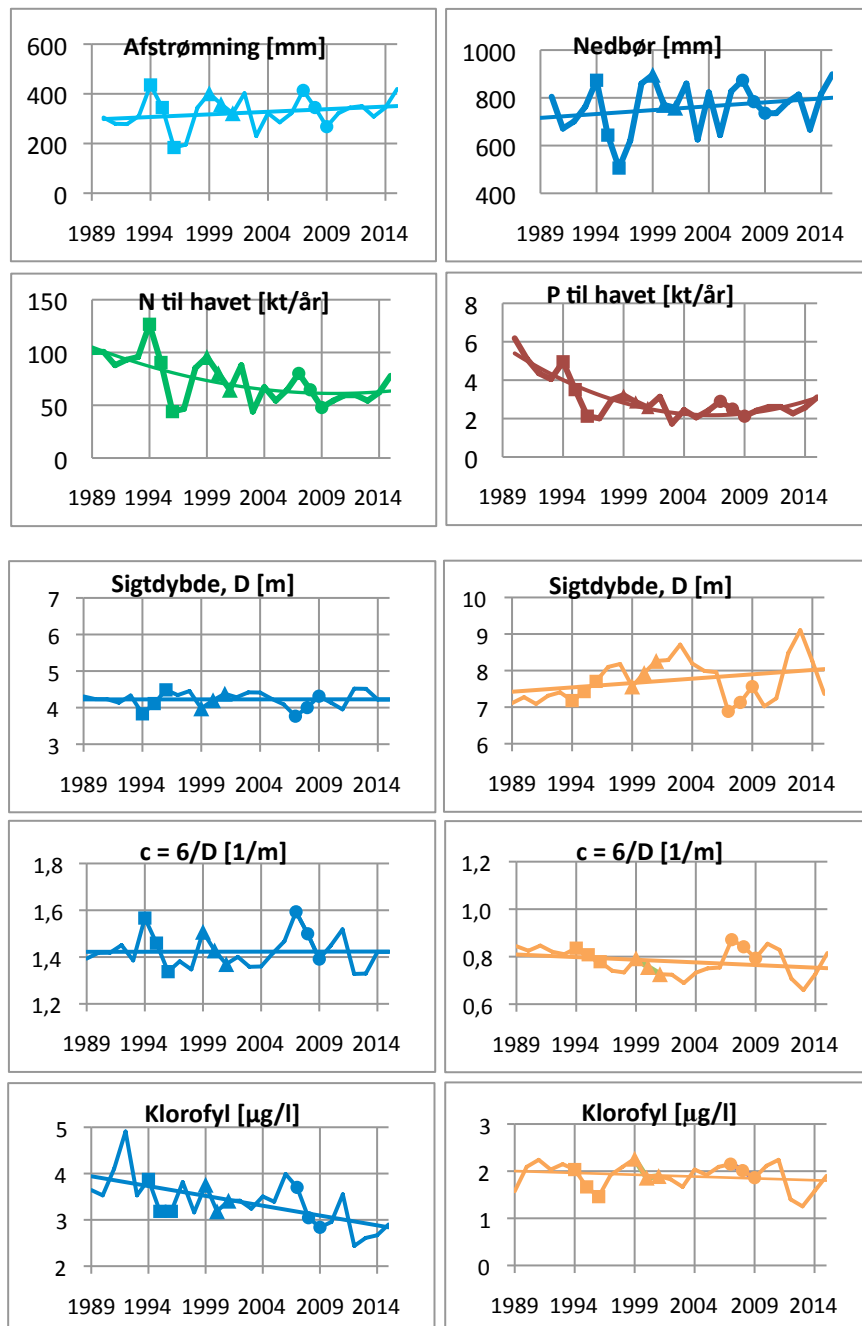
### Trenden i sigtddyben i fjorde og kystnære farvande er skjult

I fjorde og kystnære farvande er der som sagt ingen trend i sigtddyben på trods af, at klorofylkoncentrationen her er faldet fem gange så meget som i de åbne farvande. Når vi ser en stigning i sigtddyben i de åbne farvande, må der derfor også være en stigning i fjorde og kystnære farvande. Desuden er det sådan, at når der er respons på de korte bølger, når sigtddyben reagerer på hurtige ændringer i udledningerne, så gør den det også på langsomme. Den forventede stigende trend i sigtddyben i fjorde og kystnære farvande må således være skjult.

Det har været foreslået, at den er skjult af, at resuspensionen, både af organisk og uorganisk svæv, er steget som følge af ophobninger af organisk materiale, og som følge af at foregående års iltsvind har ændret økosystemerne i retning af ringere evne til at fastholde materiale på bunden. Det er imidlertid usandsynligt, at resuspensionen har udviklet sig med en trend, der netop udligener trenden i sigtddyben.

Forklaringen er, at målingerne af sigtddyben med secchiskiver er behæftet med en fejl, der vokser i takt med at klorofylkoncentrationen, og dermed koncentrationen af organisk svæv, falder. Vanddybden skal være over 2,2 gange sigtddyben for at undgå fejlen  $/3/$ . Det er den ikke på målestationerne i fjorde og kystnære farvande.

Når koncentrationen af organisk svæv fal-



der, får vi to modsat rettede virkninger: 1) Sigtdybden vokser, fordi vandet bliver klarere, 2) Sigtdybden falder, fordi bunden af samme grund 'lyser op' og derved nedsætter kontrasten mellem skiven og dens baggrund, så den skal længere op for at kunne ses  $/4/$ .

Det vurderes, at fejlen skjuler en stigning i sigtddyben på næsten en meter i fjorde og kystnære farvande.

### Referencer

- /1/ NOVANA, 1989 – . Nationalt Center for Miljø og Energi (DCE), Aarhus Universitet.
- /2/ Højerslev, N. K., 1986. Optical properties of sea water. In: Landolt-Börnstein, New Ser. Group V, Vol. 3, Oceanography, subvol. a. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo. p. 447-451.
- /3/ Højerslev, N. K., 2002. On the small potential of color

remote sensing of the sea waters between Norway, Sweden, Denmark, Germany and Poland. Conference paper in Ocean Optics XVI in Santa Fe.

- /4/ Jerlov, N. G., 1976. Marine Optics. Elsevier Oceanogr. Ser. 14, 2nd ed. Elsevier sci. publ. comp., Amsterdam, Oxford, New York: p. 93-96.

HANS SCHRÖDER er civilingeniør. Han har arbejdet i DHI og det daværende VKI blandt andet med en omfattende redegørelse for udledningen af kvælstof fra dansk landbrug i perioden 1950 – 1980 og konsekvenserne for vandmiljøet. hans@schroder.dk

NIELS KRISTIAN HØJERSLEV er fysisk oceanograf og lektor mag. lic. et dr. scient. emer. Han har siden 1968 arbejdet på NBI og tidligere på Institut for Fysisk Oceanografi samt Geofysisk Institut under KU med emner inden for marin optik. nkh@gfy.ku.dk