

Beregning af afstrømningsnormaliseret belastningsniveau til vandområder

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: 19. januar 2016

Søren E. Larsen

Institut for Bioscience

Rekvirent:
Naturstyrelsen
Antal sider: 12

Faglig kommentering:
Jørgen Windolf
Kvalitetssikring, centret:
Poul Nordemann Jensen



AARHUS
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tlf.: 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
<http://dce.au.dk>

Indhold

| | |
|-------------------|----|
| Baggrund | 3 |
| Opgaveformulering | 3 |
| Datagrundlag | 4 |
| Metoder | 5 |
| Resultater | 8 |
| Konklusion | 11 |
| Referencer | 12 |

Baggrund

I Vandområdeplanerne er de aktuelle belastninger af kvælstof og fosfor beregnet for perioden frem til og med 2012. Disse årlige belastninger er vandføringsnormaliserede ved anvendelse af den gennemsnitlige vandføring for en længere periode, nemlig 1990-2012, således at belastninger justeres for afstrømningens indflydelse på udvaskning og transport af næringsstoffer i vandløbene. Der foreligger således en tidsserie af vandføringskorrigerede belastninger af N og P for hvert delopland i Vandområdeplanerne. Statusbelastningen, som skal beskrive et vandføringsnormaliseret belastningsniveau svarende til året 2012, er særdeles vigtigt i fastsættelsen af indsatsbehovet for de enkelte delvandsoplande.

For nuværende er statusbelastningen beregnet som et simpelt gennemsnit af de vandføringsnormaliserede belastninger i perioden 2008-2012, det vil sige som et gennemsnit over 5 år. Argumentet for at anvende et gennemsnit over 5 år er at man derved tager højde for år til år udsving i belastningerne, hvilket man ikke gør ved udelukkende at anvende den vandføringsnormaliserede belastning for 2012. I perioden før 2012 er der ligeledes gennemført en række tiltag, som skulle mindske belastningen af kvælstof. I dette notat undersøges om der er andre metoder til at opgøre statusbelastningen i 2012 - metoder som udviser en mindre relativ usikkerhed end det simple 5 årsgennemsnit.

Opgaveformulering

Fra Naturstyrelsen:

”Århus Universitet, DCE, anmodes om i samarbejde med Naturstyrelsen at genberegne statusbelastningen for kvælstof og fosfor for de enkelte delvandsoplande på en måde, der både tager højde for de årlige udsving, strukturel udvikling i landbruget og den udvikling, der har været i perioden qua de politiske tiltag. Metodeovervejelserne skal alene forholde sig til 2008-12-perioden og således ikke generelt, hvorvidt metoden er brugbar for en vilkårlig tidsserie. Konkret anmodes om genberegning på baggrund af:

- Et 3 års gennemsnit af vandføringsnormaliserede belastningsopgørelser
- En bestemmelse af belastningsniveau 2012 ud fra regression over 5 år (trendanalyse, hhv. lineær og eksponentiel)
- Evt. anden metode, som DCE finder bedst egnet.

Følgende forhold ønskes inddraget i vurderingen:

- Hvordan metoden tager højde for struktur- og politikudvikling i den pågældende periode.
- Hvilken betydning for usikkerhed i beskrivelse af belastningsniveau svarende til et enkelt år vil valg af metode have?”

Bemærkninger:

Det er ikke muligt isoleret at tage højde for eller kvantificere effekten af struktur og politik udviklingen i den pågældende periode. Det, der søges tilvejebragt og er beskrevet i notatet er en metode, der vurderer, hvorledes niveauet for næringsstofbelastningen var i 2012. De data, der analyseres er data, der er afstrømningskorrigerede på årsniveau. Efter afstrømningsnormalisering på årsniveau får man således frembragt data for næringsstofbelastningen, der i meget betydelig grad er 'renset' for betydningen af varierende

rende ferskvandsafstrømninger fra år til år. Der vil dog stadig være en vis resterende – forventeligt mindre, men ukendt - 'støj' i de frembragte normaliserede data. Denne støj kan være relateret til andet end landbrugspraksis de enkelte år. Her tænkes på den mulige effekt af sæsonvariationer i nedbør, vandafstrømning, temperatur mv.

Det bemærkes også, at analysen er foretaget på samlede næringstoftransporter, (diffust bidrag fra det åbne land + spildevand fra punktkilder).

Datagrundlag

Tidsserier med vandføringsnormaliserede belastninger af N og P opgjort til en række søer og kystvandområder i perioden 2001 - 2012 er leveret af Naturstyrelsen til DCE. DCE har af tidsmæssige årsager ikke haft mulighed for at kvalitetssikre datagrundlaget, hvorfor DCE fraskriver sig ansvaret for fejlregninger som følge af evt. fejlbehæftede data leveret af Naturstyrelsen.

DCE har dog bemærket negative og relativt meget små vandføringskorrigerede belastninger for et mindre antal søoplande (Vandområdeid=2). Fra Johan Lassen, Naturstyrelsen, har DCE modtaget følgende forklaring på dette: "For de omtalte eksempler ligger søerne i målt opland og er "låst fast" belastningsmæssigt i et delopland ml. to el. flere målestationer, som den årlige belastning afstemmes til. Søerne har ikke her selv en opstrømsliggende målestation, hvorfor belastningen til de omtalte søer bestemmes af bidraget til belastningen fra det pågældende delopland ml. målestationer. Hvis denne et år f. eks. er negativ, ja, så får vi også det pågældende år en negativ belastning til den/de søer, der måtte ligge i deloplandet og som ikke selv har en opstrømsliggende målestation. De store relative udsving, du ser for nogle af søerne, vil formentlig være søer, der er placeret på lignende vis i forhold til målestationerne. Udsvingene afspejler usikkerheden på belastningsopgørelsen". DCE gør opmærksom på at analyser er gennemført på alle data også negative belastninger og det er således op til Naturstyrelsen selv bagefter at håndtere disse få søoplande korrekt med hensyn til vurdering af de estimerede statusbelastninger for 2012.

Udover de nævnte data fra Naturstyrelsen har DCE inddraget egne tidsserier oparbejdet fra det nationale overvågningsprogram (NOVANA) i projektet. Det drejer sig om tidsserier af vandføringsnormaliserede belastninger af N, hvor også data fra 2013 og 2014 er inkluderet. Disse data omfatter dels data fra de såkaldte typeoplande (oplande med intens landbrugsdrift, men uden betydende spildevandsudledninger) samt data fra 114 kystnære målestationer med kontinuerte måletidsserier siden 1990 (oplandsareal:21.500 km²). Disse data anvendes hovedsageligt til at få et overblik over udviklingen i belastningerne i de to år efter 2012, som der på nuværende tidspunkt er data for. Der ved kan udviklingstendensen efter 2012 inddrages i beslutningen om den bedst egnede metode til estimering af statusbelastningen i 2012.

Måledata fra typeoplandene og de 114 kystnære stationer er hentet fra data fra det nationale overvågningsprogram NOVANA (Wiberg-Larsen et al., 2015). De vandføringsnormaliserede årlige transporter for disse oplande er beregnet efter metoden beskrevet i Windolf et al., 2012.

Metoder

DCE har valgt at estimere statusbelastningen for 2012 ved anvendelse af en række forskellige metoder. Her er de 6 forskellige metoder beskrevet i ord:

1. Som et simpelt gennemsnit beregnet på basis af data i perioden 2008-2012.
2. Som et estimat beregnet ved anvendelse af parameter estimater fra en lineær regression på data fra de 5 år i perioden 2008-2012
3. Som et estimat beregnet på baggrund af en eksponentiel regression på data fra de 5 år i perioden 2008-2012. Vandføringskorrigerede belastninger bliver her transformeret med den naturlige logaritme, dernæst fittet til en lineær regression og estimat tilbage transformeret med eksponentiel funktionen.
4. Som et simpelt gennemsnit beregnet på basis af data i perioden 2010-2012.
5. Som et estimat beregnet ved anvendelse af en model med to lineære regressioner på data i perioden 2004-2012. Første regression gælder for perioden 2004-2009, den anden for 2010-2012. Argumentet for dette er at der i mange vandområder sker et spring/knæk i tidsserien mellem 2009 og 2010.
6. Som et estimat beregnet ved anvendelse af en model med en lineær regression på data i perioden 2004-2009, og med en model med et fast niveau for perioden 2010-2012. Denne metode giver samme estimat som 3 års gennemsnittet, men har den fordel at den også indeholder en model for tidligere år. Argumentet for dette er at der i mange vandområder sker et spring/knæk i tidsserien mellem 2009 og 2010.

I projektet estimeres ligeledes den samlede usikkerhed (udtrykt som en procent) for statusbelastningen beregnet ved hver af de 6 forskellige metoder. Modellerne i metode 5 og 6 indeholder henholdsvis 4 og 3 statistiske parametre og for at opnå en mindre usikkerhed er data fra den udvidet periode 2004-2012 inddraget i analysen.

Alle metoder anvender flere års data og argumentet for dette er, at der skal tages højde for dels variationer (fejlløb) samt for udviklingstendenser i de anvendte tidsserier. Det er således ikke nok kun at anvende belastningen for 2012, som et estimat for statusbelastningen. Vandføringskorrektionen har fjernet det meste af den variation i tidsserierne som stammer fra afstrømningen. Men der er flere kilder til fejlløb og udviklingstendenser i belastninger:

- Normaliseringen tager ikke hensyn til variationer i sæsonafstrømningen. De seneste år er der sket et skift mod højere afstrømninger i efteråret og mod lavere afstrømninger i det sene forår og start sommer. Dette kan betyde større tab af kvælstof til vandløb.
- Varmt og koldt klima har også, men dog en mindre effekt på udvaskningen af og omsætningen af kvælstof.
- Årlige forskelle i udledning fra punktkilder.

Senere beskrives de 6 metoder matematisk, men først skal nogle statistiske begreber defineres og forklares. Begreberne anvendes til at beskrive og beregne metodernes anvendelighed.

Bias

Bias er et statistisk begreb som er udtryk for den systematiske fejl eller skævhed, der opstår ved estimeringen af en parameter i en statistisk model. Hvis estimatet er uden bias, kaldes estimatet for centralt. Metoderne 2, 3, 5 og 6 giver alle sammen et centralt estimat for statusbelastningen i 2012. I teorien giver metode 1 og 4 også centrale estimater under antagelsen, at der ikke er en statistisk signifikant udviklingstendens til stede i tidsserien. Med begrundelse i det lave antal år i tidsserien (henholdsvis 5 og 3) antages det som udgangspunkt, at en signifikant trend i data ikke kan afvises og derfor beregnes bias for metode 1 og 4 som

$$\text{bias} = \text{gnmst} - \text{estimat fra lineær regression.}$$

Varians

Begrebet varians er et udtryk for den gennemsnitlige kvadreret standard fejl på et givent estimat. Beregning af variansen afhænger af estimeringsmetoden og formler skrives op i det følgende.

Usikkerheden samlet

Vi vil udtrykke den samlede usikkerhed (også benævnt ved RMSE="Root mean squared error") på et estimat som

$$\text{Usikkerhed (RMSE)} = \sqrt{\text{bias}^2 + \text{varians.}}$$

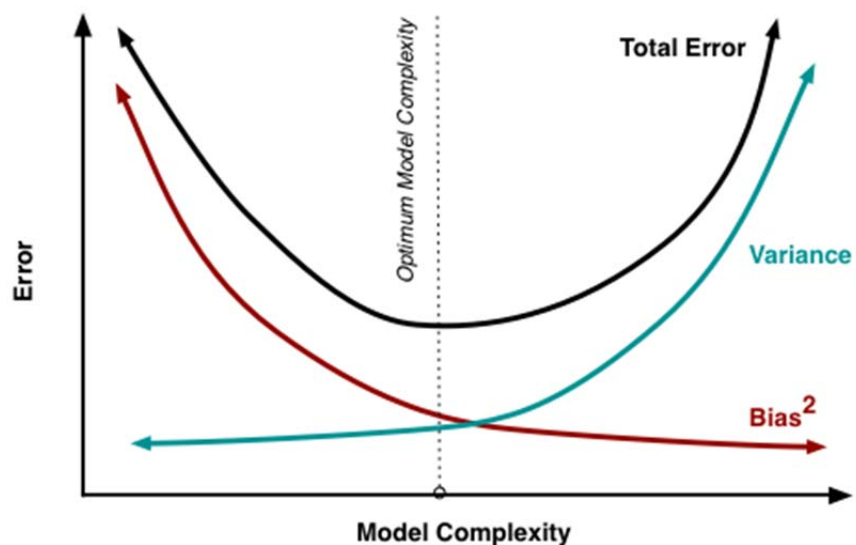
Usikkerheden kan også udtrykkes som et procent tal og det beregnes ved

$$\text{Usikkerhed(\%)} = \frac{100}{\text{estimat}} \sqrt{\text{bias}^2 + \text{varians.}}$$

Bias og varians trade off

Der er mulighed for at opnå en mindre varians mod at øge bias og omvendt. Man kan gøre bias mindre ved at øge antallet af parametre i en givet model, men derved forøges variansen også. Omvendt kan man formindskede variansen og samtidig øge bias ved at opstille en model med få parametre (se følgende figur fra Fortmann-Roe, S.; 2012).

Figur 1. Grafisk fremstilling af bias – varians tradeoff.



I evalueringen af metoderne lægges der vægt på den samlede usikkerhed på estimerne, men lille varians vægtes højere end lille bias, fordi det anses som en vigtigere egenskab at estimatet er centralt end meget præcist (lav varians).

I det følgende opskrives beregningsformler for dels estimat for statusbelastningen i 2012 samt for kvadratroden af estimatets varians som benævnes ved standardfejlen (SE), med reference til den statistiske lærebog af Snedecor og Cochran fra 1989. For de 6 forskellige metoder har vi:

5 års gennemsnit (Metode 1)

$$\hat{x}_{2012}^5 = \frac{1}{5} \sum_{i=2008}^{2012} x_i$$

$$SE(\hat{x}_{2012}^5) = \sqrt{\frac{1}{(5 \cdot 4)} \sum_{i=2008}^{2012} (x_i - \hat{x}_{2012}^5)^2}$$

5 års regression (Metode 2)

$$\hat{x}_{2012}^{5r} = \hat{\alpha} + \hat{\beta} \cdot 2012$$

$$SE(\hat{x}_{2012}^{5r}) = \sqrt{MSE_r} \cdot \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{2012^2}{\sum_{i=2008}^{2012} i^2}}$$

5 års eksponentiel regression (Metode 3)

$$\hat{x}_{2012}^{5exp} = \exp(\hat{\alpha} + \hat{\beta} \cdot 2012) \cdot \exp(0,5 \cdot MSE_{log})$$

$$SE(\hat{x}_{2012}^{5exp}) = \hat{x}_{2012}^{5exp} \cdot \sqrt{e^{s^2} - 1},$$

$$s = \sqrt{MSE_{log}} \cdot \sqrt{\frac{1}{5} + \frac{2012^2}{\sum_{i=2008}^{2012} i^2}}$$

3 års gennemsnit (Metode 4)

$$\hat{x}_{2012}^3 = \frac{1}{3} \sum_{i=2010}^{2012} x_i$$

$$SE(\hat{x}_{2012}^3) = \sqrt{\frac{1}{(3 \cdot 2)} \sum_{i=2010}^{2012} (x_i - \hat{x}_{2012}^3)^2}$$

Model med 2 regressioner (Metode 5)

$$\hat{x}_{2012}^{2mr} = \hat{\alpha}_2 + \hat{\beta}_2 \cdot 2012$$

$$SE(\hat{x}_{2012}^{2mr}) = \sqrt{MSE_{2mr}} \cdot \sqrt{\frac{1}{3} + \frac{2012^2}{\sum_{i=2010}^{2012} i^2}}$$

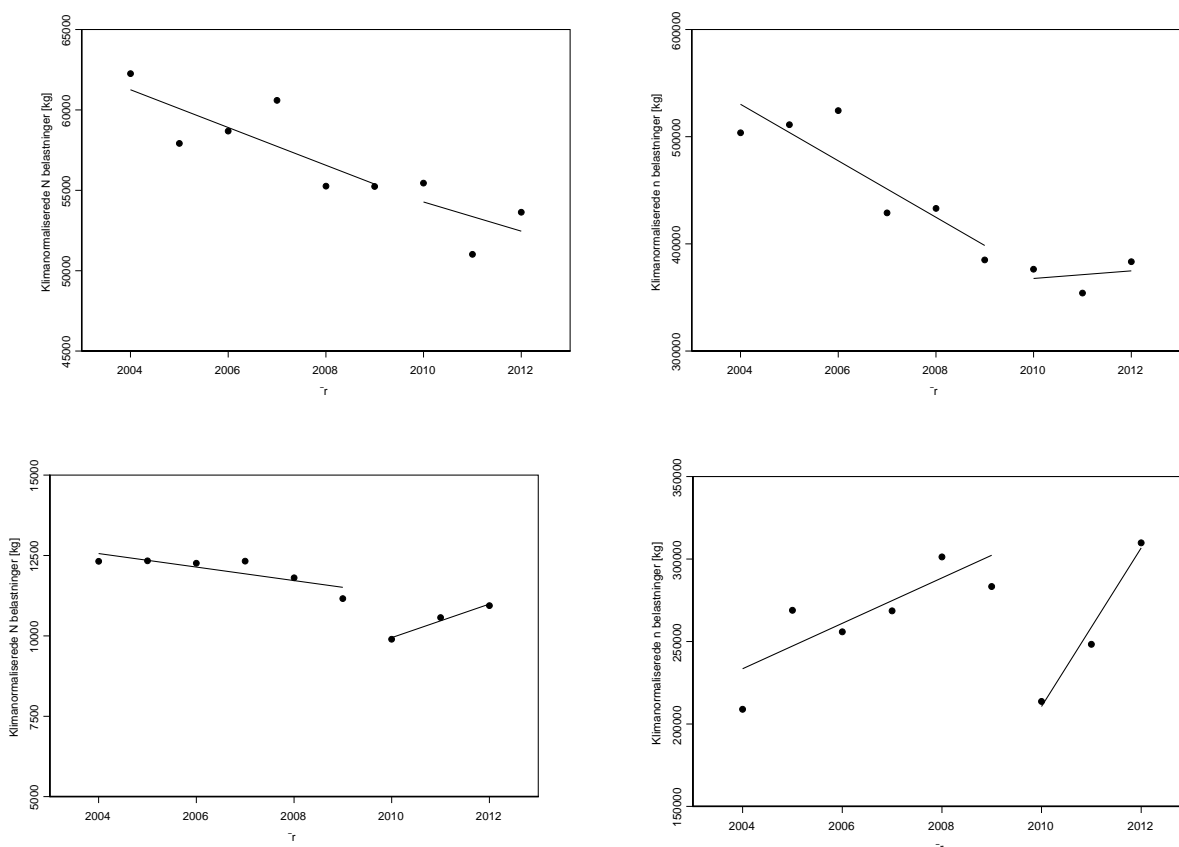
Model med 1 regression samt et 3 års gennemsnit (Metode 6)

$$\hat{x}_{2012}^{2ml} = \frac{1}{3} \sum_{i=2010}^{2012} x_i$$
$$SE(\hat{x}_{2012}^{2ml}) \approx \sqrt{\frac{1}{3} MSE_{2ml}}$$

I formlerne står MSE_t for den beregnede "Mean squared error" for modellen med benævnelsen t . Med $t=log$ menes der den lineære model for perioden 2008-2012, hvor belastninger er transformeret med den naturlige logaritme. Tegnet \approx angiver at formlen er approksimativ og den korrekte værdi kan kun beregnes via statistisk software.

Resultater

Opgaveformuleringen fra NST beskriver at metodeovervejelserne alene skal forholde sig til data fra perioden 2008-2012. Men nærmere analyse af data viser, at et stort antal af tidsserierne skifter karakter omkring årene 2009 og 2010, hvilket er et stærkt argument for at medtage flere år i metodeovervejelserne. Derfor er det valgt at udvide perioden til 2004-2012 for to af metoderne som beskrevet ovenfor. Som følgende figurer viser, så er udviklingen i perioden 2004-2012 også yderst varierende.

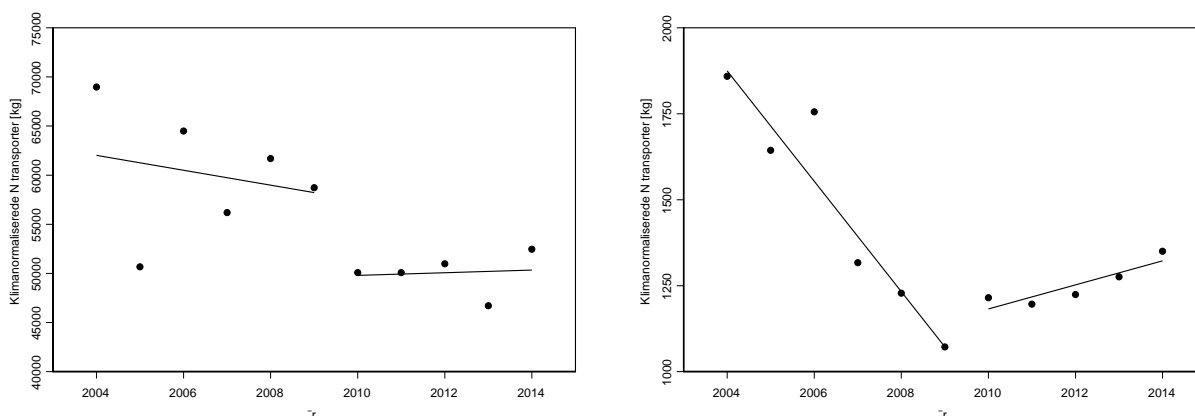


Figur 2. Eksempler på udviklinger i vandføringsnormaliserede belastninger af kvælstof i perioden 2004-2012. Metode 5 (to lineære regressioner) er anvendt som fit til data.

Disse figurer dækker med mindre variationer, de mulige forskellige udviklinger for den vandføringsnormaliserede belastning af kvælstof i perioden 2004-2012. For vandføringsnormaliserede belastninger af fosfor ser man flere typer af responser (ikke vist), så som stigende udviklingstendens i hele 2004-2012, stigende frem til 2009 derefter et fald, konstant i hele perioden, konstant frem til og med 2009 og derefter enten et fald eller en stigning. Figurerne her er vist med fit efter metode 5 (to lineære regressioner gennem perioden).

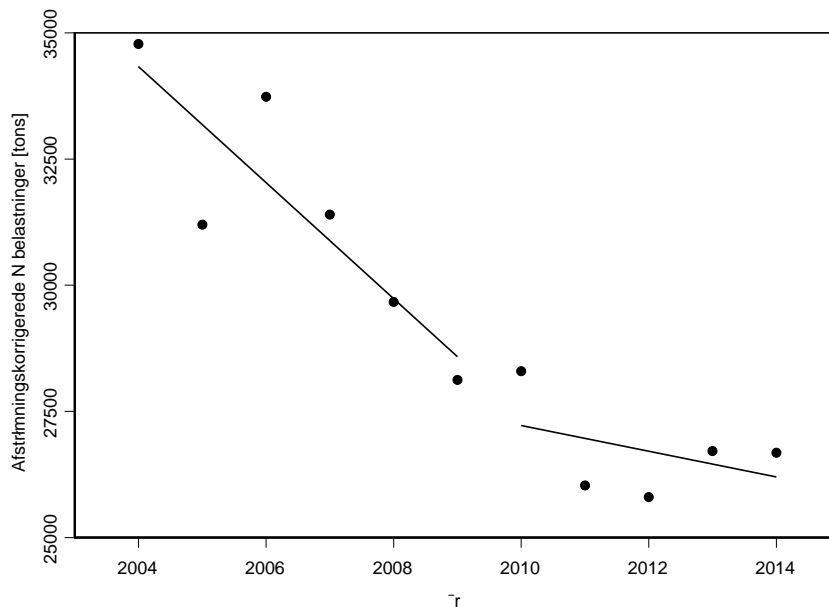
Beregninger viser for kvælstof, at metoden som anvender en eksponentiel regressionsanalyse for data i perioden 2008-2012 samlet set giver den mindste usikkerhed med et gennemsnit på 3,85%. Metoden, som anvender to regressionsligninger, er den med næst mindst samlede usikkerhed med et gennemsnit på 4,55%. For fosfor er eksponentiel regression igen den metode med mindst usikkerhed (3,48%) og igen metoden med to regressioner den med næstmindst usikkerhed (4,23%).

Aarhus Universitets egne data, oparbejdet fra det nationale overvågningsprogram NOVANA, omfatter vandføringsnormaliserede tidsserie data fra en række typeoplade samt summerede data fra målt opland i Danmark omfattende i alt 114 kystnære målestationer med kontinuerte måledata fra 1990-2014 (opland 21.500 km²). Disse viser, at udviklingen i 2013 og 2014 giver kvælstof-belastninger på niveau med 2012 og i flere tilfælde også belastninger med et lidt større niveau end i 2012. Dette er illustreret i figur 3 (typeoplade) samt i figur 4 (Målt opland i Danmark).



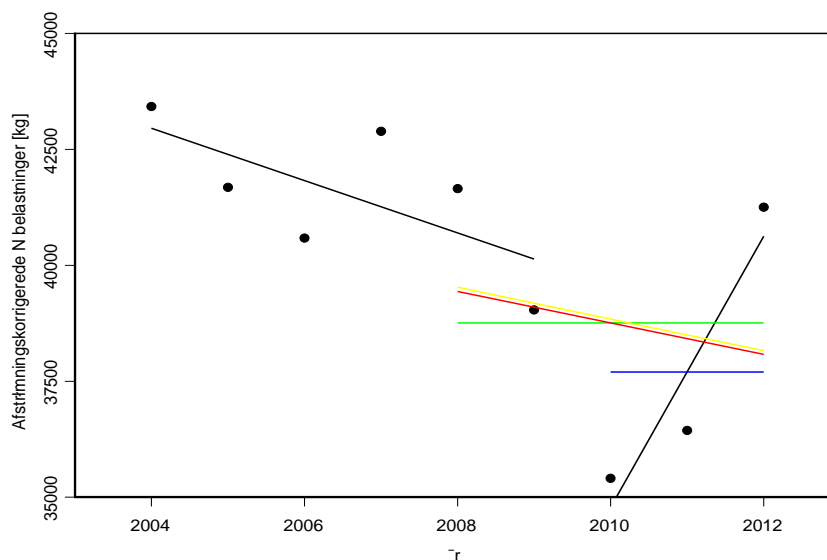
Figur 3. To eksempler på udviklingen i vandføringsnormaliseret kvælstoftransport fra to typeoplade. Data fra Aarhus Universitet, oparbejdet fra det nationale overvågningsprogram NOVANA.

Figur 4. Udviklingen i afstrømningsnormaliserede kvælstoftransporter fra det samlede målte opland i Danmark med kontinuerlige tidsserier (114 stationer, 1990-2014, 21.500 km²).



Derfor er eksponentiel regression for data i perioden 2008-2012 ikke den optimale model og vil generelt give for små estimerede statusbelastninger i 2012. Figureerne i figur 2 er fittet med metode 5 og det vil sige der fittes to lineære linjer - en for perioden 2004-2009 og en for perioden 2010-2012. Denne model har 4 parametre og ser ud til fint at kunne rumme de 4 forskellige udviklingstendenser vist i figur 2 samt også de to forskellige tidsserier vist i figur 3. Metode 5 er altså en generel metode med en model som kan beskrive rigtigt mange udviklingsforløb i tidsserierne i perioden 2004-2012.

Figur 5. Resultat af alle 6 metoder på et valgt kystopland. Grøn: Metode 1; Rød: Metode 2; Gul: Metode 3; Blå: Metode 4; Sort: Metode 5; Sort (2004-2009), blå (2010-2012): Metode 6.



Metoderne 1 og 2 baseret på 5 års perioden 2008-2012 er generelt ikke optimale, som figurerne i figur 2 viser, fordi der sker et skift i udviklingen for de fleste tidsseriers vedkommende omkring årene 2009 og 2010. Metode 3 kunne være en kandidat, men fejler for en del tidsserie, hvor der er en stigende tendens i årene 2011 og 2012. Metode 4, som er et 3 års gennemsnit er en god kandidat, men har noget bias for de tidsserier med en udviklingstendens i de 3 sidste år, og det drejer sig om en hel del tidsserier. Metode 6 er i princippet det samme som metode 4, og det efterlader metode 5, som den bedste kandidat. Denne metode indeholder en model for perioden 2010-2012 som både kan beskrive stigende, faldende og konstante belastninger, hvilket er hvad der optræder i data. Man er nødt til at inkludere flere data i modellen (2004-2009) således at parametre estimeres med en større præcision. Man kan godt estimere en regressionslinje på de 3 data punkter fra perioden 2010-2012, men MSE og dermed usikkerheden bliver større sammenlignet med modellen med de to regressionslinjer.

Metoderne 2, 3, 5 og 6 indeholder alle modeller med udviklingstendenser og er derfor i stand til at inkludere effekter af strukturelle ændringer i landbruget samt effekter af politiske tiltag på udledninger af næringsstoffer. Dette er muligt i oplande, hvor kvælstoftransporten erfaringsmæssigt responderer hurtigt på ændringer i landbrugspraksis.

Konklusion

I dette notat har DCE anvendt 6 forskellige metoder til at estimere en kvælstof og fosfor statusbelastning for året 2012 og for et stort antal vandområder på basis af vandføringskorrigerede belastninger for enten perioden 2008-2012 eller perioden 2010-2012. To af metoderne inkluderer ligeledes data fra 2004-2007, men disse data anvendes ikke til estimering af belastningen i 2012, men er medtaget for at illustrere udviklingen i belastninger i perioden 2004-2009. Estimer for statusbelastningen i 2012, beregnet for alle 6 metoder samt estimerernes usikkerhed, leveres til Naturstyrelsen i 4 Excel regneark.

DCE finder, med reference til den totale usikkerhed samt udviklingen af belastninger i 2013 og 14 (Typeoplande og samlet målt opland i Danmark), at metode 5 bedst beskriver statusbelastningen i 2012. I metoden indsættes året 2012 i den estimeret ligning for perioden 2010-2012 og derved fremkommer estimatet for belastningen i 2012. Denne metode beskriver udviklingen i vandføringskorrigerede belastninger i perioden 2004-2012 ved anvendelse af to regression linjer og kan dermed tage højde for eventuelle effekter af strukturændringer i landbruget samt politiske tiltag i denne periode. Metoden kan alene beskrive udviklingstendenserne, men ikke årsagen til udviklingstendenserne. Der har ikke været lagt op til i projektet at inddrage en nærmere analyse af udviklingstendenser i punktkilder i vandområderne, men ændringer i punktkilder i den analyserede periode kan også have en effekt på udviklingstendenser i belastningerne.

DCE anbefaler, at Naturstyrelsen supplerer de beregnede estimer for statusbelastningen i 2012 med plots af vandføringskorrigerede belastninger for perioden 2004-2012 eller anden tilsvarende periode, således at udviklingen belyses grafisk. Endvidere anbefaler DCE at data for 2013 og 2014 oparbejdes så estimatet for 2012 kan konsolideres.

Referencer

Fortmann_Roe, S. (2012) Understanding the Bias-Variance Tradeoff. <http://scott.fortmann-roe.com/docs/BiasVariance.html>

Snedecor, G. W. og Cochran, W. G. (1989) Statistical Methods, Iowa State University Press, Ames, Iowa 50010.

Wiberg-Larsen, P., Windolf, J., Bøgestrand, J., Larsen, S.E., Tornbjerg, H., Ovesen, N.B., Nielsen, A., Kronvang, B., og Kjeldgaard, A. (2015) Vandløb 2014. NOVANA. Aarhus Universitet, DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi, 54 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 165. <http://dce2.au.dk/pub/SR165.pdf>

Windolf, J., Bøgestrand, J. og Kjeldgaard, A. (2012) Beregning af kvælstoftilførsel til en række udpegede danske fjorde. Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi. http://dce.au.dk/fileadmin/dmu.au.dk/Notat_kvaelstoftilfoersel_til_fjorde.pdf