Nitratreduktionskort på markskala – kan det lade sig gøre?

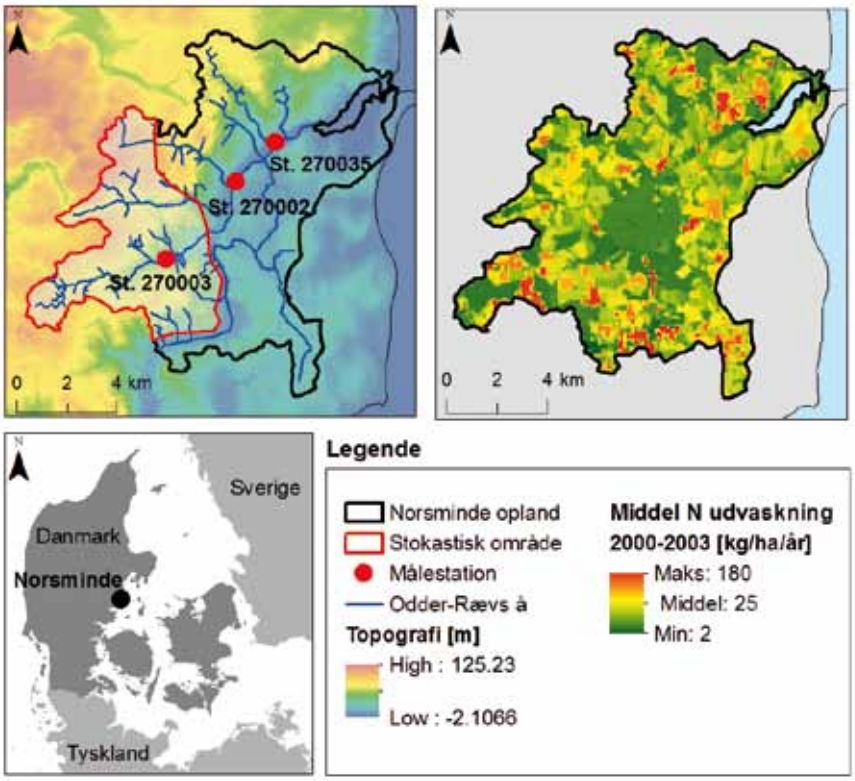
Nitratreduktionskort med fin opløsning er nødvendige for at kunne udnytte potentialet i en differentieret regulering optimalt. NiCA projektet har vist, at der kan laves reduktionskort på hektar skala, men usikkerheden øges, jo finere skala kortene opgøres på. Nøjagtigheden af kortene kan forbedres ved hjælp af lokale data

Jens Christian Refsgaard, Anne Lausten Hansen & Xin He

Baggrund og formål

Landbruget har halveret nitratudvaskningen gennem de sidste par årtier. Alligevel er der i statens vandplaner lagt op til yderligere betydelige reduktioner for at kunne opfylde kravene i EU's vandlovgivning. Natur- og Landbrugskommissionen foreslog i 2013, at reguleringen af landbruget skal målrettes og differentieres, så ikke alle områder bliver pålagt de samme restriktioner. Hermed kan der tages hensyn til, at de naturlige betingelser for nitratreduktion i undergrunden varierer betydeligt afhængig af de geologiske forhold. På landsplan ved vi, at 2/3 af den nitrat, der udvaskes fra markernes rodzone, bliver reduceret (= forsvinder), inden det når frem til fjorde og kystnære vande på grund af kemiske reaktioner i undergrunden og ådalene. Men vi ved også, at der er store lokale variationer i nitratreduktionen indenfor et opland. Det betyder, at der indenfor et opland findes både landbrugsarealer, hvor naturen selv sørger for reduktionen af nitrat, og hvor reguleringer derfor er unødvendige, men også arealer, hvor nitraten ikke reduceres i undergrunden, og hvor en forsat regulering er nødvendig. Disse arealer forsøger vi at kortlægge med de såkaldte nitratreduktionskort, som vi fremstiller ved brug af en kombination af målinger og modelberegninger. Nitratreduktionen kan ikke måles, og nitratreduktionskort kan derfor ikke bestemmes 100 % nøjagtig.

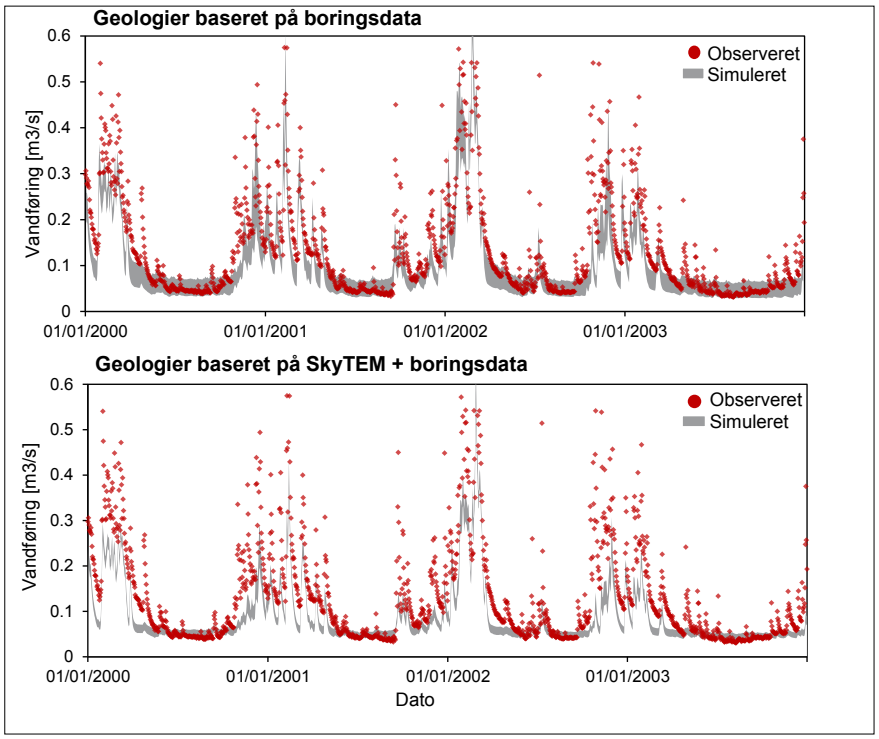
I NiCA projektet /1/ har vi undersøgt, hvor langt vi kan gå ned i skala ved beregning af nitratreduktionskort, og vi har sat tal på de tilhørende usikkerheder. Vi har vurderet, at manglende detailkendskab til geologien er den væsentligste ubekendte og vi har derfor beregnet, hvor stor usikkerhed det forårsager på nitratreduktionskortene. Vi har gennemført undersøgelserne i et stærkt kuperet morænelandskab i oplandet til Norsminde Fjord omkring Odder (Figur 1). De anvendte metoder er nærmere beskrevet i /2/ og /3/.



Figur 1. Oplandet til Norsminde Fjord med markering af det opstrøms delområde omkring målestation 270003, hvor de stokastiske geologiske modeller blev genereret. Desuden ses den gennemsnitlige årlige N udvaskning for perioden 2000-2003 der anvendes som input i nitratmodellerne.

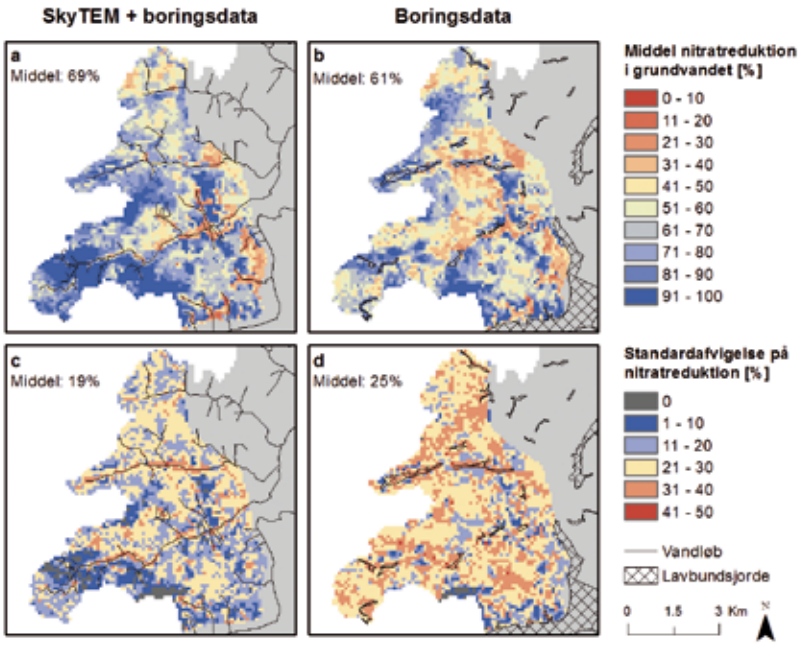
Geologisk modellering

For at opnå den bedst mulige rumlige opløsning af geologien i de øverste 30 m af undergrunden, har vi udviklet en ny version af SkyTEM systemet, som kan identificere sandlegemer i morænen med længder og tykkelser på ned til henholdsvis 50 m og 2 m /4/. Det nye SkyTEM system har været anv-



Figur 2. Modelsimuleringer af vandføring ved station 270003 fra kalibreringsperioden for de 10 geologier der kun er baseret på boringsdata (øverst) og de 10 geologier der er baseret både på boringer og geofysik (SkyTEM) data (nederst). Observerede data er vist som punkter, mens det grå bånd repræsenterer spredningen blandt de 10 modelsimuleringer /7/.

endt til en detaljeret helikopterbaseret geofysisk kortlægning af hele det 101 km² store opland. På grund af usikkerheder i måle- og tolkningsteknikker giver SkyTEM målingerne ikke fuld sikkerhed for, hvor der er ler eller sand. Vi har kvantificeret den geologiske usikkerhed i en del af Norsminde Fjord oplandet (stokastisk område – Figur 1) ved at generere flere lige sandsynlige realisationer af geologien ved brug af det stokastiske geologiske værktøj TProGS /5/. Vi har genereret 10 mulige geologier baseret på boringsdata alene samt 10 geologier, hvor både boringsdata og de nye SkyTEM data er benyttet. De geologiske modeller er alle i overensstemmelse med boringsdataene, mens interpolationerne mellem boringerne er forskellige for hver model. I de 10 geologier med både borings- og SkyTEM data, er SkyTEM dataene benyttet til at angive sandsynlighederne for sand/ler i alle punkter mellem boringsdataene, således at et punkt med 60 % sandsynlighed for sand vil have sand i det pågældende punkt i 6 ud af de 10 geologiske modeller /6/. Den geologiske usikkerhed er således repræsenteret ved variationen mellem de forskellige geologiske modeller.



Figur 3. Den gennemsnitlige nitratreduktion og usikkerheden herpå, repræsenteret ved standardafvigelsen mellem 30 modelberegninger, for hver beregningsgrid /10/.

Hydrologisk modellering

Ud fra de 20 forskellige geologier er der opstillet 20 hydrologiske modeller baseret på modelsystemet MIKE SHE med en integreret beskrivelse af overfladevand og grundvand i et 100 m beregningsgrid. Modellerne er ens bortset fra geologien i den vestlige del af oplandet (stokastisk område – Figur 1) hvor de forskellige geologier er indsat. De 20 modeller er kalibrerede mod observerede data for trykniveauer i grundvandet og vandføringer i vandløbet med brug af parameterestimeringsprogrammet PEST. Figur 2 viser kalibreringsresultater fra den opstrøms vandløbsstation (st. 270003), hvis opland udelukkende er indenfor området med stokastisk geologi. På figuren bemærkes, at spredningen mellem de modelsimulerede vandføringer bliver reduceret, når geofysikdata bliver medtaget.

Nitrat modellering

Nitraten reduceres under iltfrie forhold af reducerede forbindelser (organisk kulstof, pyrit og ferrojern som samlet bliver kaldt redoxkapacitet) i sedimenterne. Overgangen fra iltede til iltfrie forhold i undergrunden kaldes redoxgrænsen, og kendskab til dennes placering er meget vigtig i modellering af nitrattransport og reduktion. Der er dog meget svært at bestemme dybden til redoxgrænsen ud fra data, da dybden varierer meget over korte afstande, og der er meget få data til rådighed. Vi har derfor udviklet et koncept til at estimere dybden til redoxgrænsen. Konceptet er baseret på den hypotese, at redoxgrænsen har flyttet sig nedad siden sidste istid, fordi ilt i det nedsivende vand har forbrugt redoxkapaciteten i sedimenterne. Det rumlige mønster for dybden til redoxgrænsen bestemmes derfor af den lokale variation i grundvandsdannelse (transport af ilt fra overfladen) og sedimenttype (redoxkapacitet). Dybden af redoxgrænsen er herefter kalibreret ved at implementere den i en nitratmodel med en gridskala på 100 m. Kalibreringen sker ved at bevæge redoxgrænsen op og ned indtil modellens nitratfluks til Norsminde Fjord svarer til den målte fluks /8/. Modelsimuleringerne

af nitrattransport og -reduktion er gennemført som partikelbanesimuleringer, hvor der er tilført en partikel i bunden af rodzonen for hvert kg nitrat der udvaskes i et beregningsgrid. Nitratpartiklerne følger strømningslinierne på deres vej mod vandløbene og nitratfluksen til Norsminde Fjord opgøres så ved at tælle, hvor mange partikler, der ikke har passeret ned under redoxgrænsen undervejs. Som input til nitratmodellen benyttes beregnede nitratudvaskninger fra rodzonen /9/. Kalibreringen af redoxgrænsen er gennemført for tre forskellige forudsætninger om placeringen af redoxgrænsen nær vandløb og for det rumlige billede af grundvandsdannelse i kombination med de 20 forskellige geologiske/hydrologiske modeller, dvs. i alt 60 nitratmodeller.

Nitratreduktionskort og usikkerheder

For hver enkelt model beregnes nitratreduktionsprocenter i hver beregningscelle (100 m) som forholdet mellem de partikler, der reduceres undervejs til vandløbene, og den totale udvaskning fra rodzonen i de pågældende celler. Ud fra de 60 modelsimuleringer er gennemsnit og standardafvigelse for reduktionsprocenten i hver enkelt beregningsgrid beregnet, både for de 30 modeller (3 redoxgrænser x 10 geologier), der kun benytter data fra boringer, og for de 30 modeller, der også medtager SkyTEM geofysikdata (Figur 3). Standardafvigelsen mellem de 30 modeller kan betragtes som et mål for usikkerheden på nitratreduktionen som følge af geologisk usikkerhed og usikkerhed på dybden til redoxgrænsen. Ligesom for vandføringerne i Figur 2 bemærkes det, at usikkerheden er lavere, når SkyTEM data benyttes. Det bemærkes også, at usikkerheden specielt er stor for lavbundsområderne omkring vandløbene.

Hvor langt kan vi gå ned i skala?

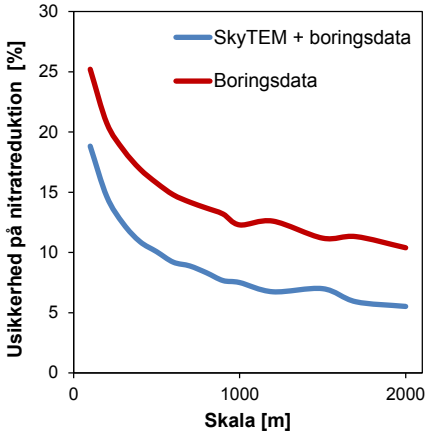
Figur 4 viser resultater fra en skalaanalyse, hvor resultaterne i de enkelte beregningsgrid er aggregeret og midlet fra 100 m til 200 m (middel over 4 beregningsgrid) og helt op til 2000 m (middel over 400 beregningsgrid), før standardafvigelserne er beregnet. Det bemærkes, at den gennemsnitlige standardafvigelse på 19 % og 25 % fra Figur 3(c og d) genfindes som startpunktet ved 100 m på de to kurver i Figur 4. Resultaterne i Figur 4 viser for det første, at usikkerheden på nitratreduktionen er forholdsvis stor, hvis vi anvender modelresultaterne på 100 m skala, men usikkerheden falder jo længere vi går op i skala. Dette fald i usikkerhed er størst op til 500 m, hvorefter kurverne flader noget ud.

For det andet viser figuren, at usikkerheden kan reduceres ved at anvende SkyTEM geofysikdata.

I Figur 3 fremgår det tydeligt, at nitratreduktionen varierer betydeligt over korte afstande. Men hvis reduktionskortene i stedet aggregeres til store områder som fx 1500 ha (ID15 oplande), svarende til en opdeling af området i Figur 3 i to oplande, vil der næsten ikke være forskelle i reduktionsprocent tilbage. Det er illustreret i Figur 5, hvor den statistiske fordeling af reduktionsprocenterne i Figur 3a (boringsdata + SkyTEM) er opgjort for 100 m (1 ha) og 1000 m (100 ha) skala. Figuren viser, at lokale variationer udjævnes jo større områder vi opgør reduktionskortet i, således at fordelingen af reduktionsprocenter bliver fladere og nærmer sig gennemsnittet for hele området.

Perspektiver

NiCA har dokumenteret, at det godt kan lade sig gøre at producere et nitratreduktionskort med en opløsning på markskala. Usikkerhedsanalysen viser dog, at nøjagtigheden af et sådant kort vil være stærkt begrænset, hvis det vises på hektar skala, mens en opgørelse med gennemsnitsværdier på 25 eller 100 hektar er meget mere nøjagtig. Resultaterne viser samtidig, at der kan være ganske betydelige forskelle i nitratreduktion mellem marker, der er placeret et par hundrede meter fra hinanden. Figur 5 viser, at vi ved at gå fra 100 m kort til 1000 m kort, skjuler ca. halvdelen af forskellene i reduktionsprocent i området. Som diskuteret i /11/ er der bedst økonomi i differentieret regulering, hvis forskellene i reduktionen inden for en landbrugsbedrift eller inden for et opland kan udnyttes fuldt ud. Der

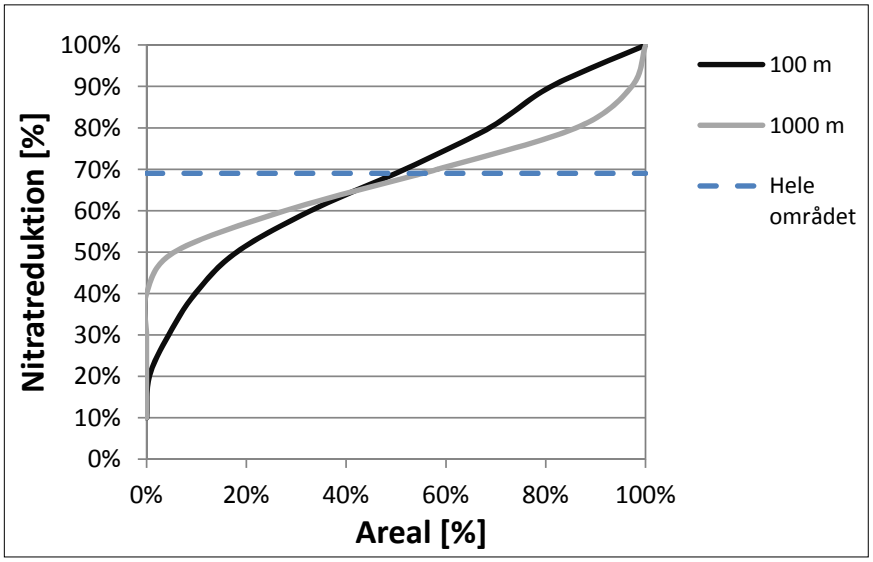


Figur 4. Usikkerheden på den procentvise nitratreduktion som funktion af længdeskala hvormed resultaterne aggregeres før standardafvigelserne beregnes. 500 m svarer fx til en aggregering over 25 beregningsceller /10/.

er således et dilemma mellem behovet for at have et reduktionskort med meget fin opløsning for at kunne udnytte det økonomiske og miljømæssige potentiale i differentieret regulering fuldt ud og det faktum, at usikkerheden øges, jo længere vi går ned i skala.

Vi kan se to svar på det dilemma. For det første skal vi reducere usikkerheden så meget som muligt. NiCA har vist, at udnyttelse af højtopløselige geofysikdata kan reducere usikkerheden betydeligt (Figur 4), men usikkerheden vil kunne reduceres yderligere, hvis der laves flere lokale målinger af f.eks. nitratflukse i små vandløb og dræn, af redoxgrænsens beliggenhed samt af nitratomsætningen i lavbundsjorde. For det andet kan vi overveje en

reguleringsmodel med tildeling af udledningstilladelser baseret på reduktionsprocenter på



Figur 5. Den statistiske fordeling af nitratreduktionsprocenter over det stokastiske område ved opgørelse af reduktionskort på 100 m (1 ha) og 1000 m (100 ha) skala. Gennemsnittet for hele området vises med den stiplede linie.

bedriftsskala, hvor usikkerheden er mere acceptabel, og samtidig give landmændene mulighed for at anvende de detaljerede reduktionskort sammen med egne målinger til at planlægge, hvorledes produktionen kan optimeres inden for rammerne af en sådan udledningstilladelse.

Referencer

/1/ Nitrate reduction in geologically heterogeneous catchments (NiCA) er finansieret af Det Strategiske Forskningsråd. Mere information kan findes på projektets hjemmeside www.nitrat.dk

/2/ Refsgaard JC, Auken E, Bamberg CA, Christensen BSB, Clausen T, Dalgaard E, Effersø F, Ernstsen V, Gertz F, Hansen AL, He X, Jacobsen BH, Jensen KH, Jørgensen F, Jørgensen LF, Koch J, Nilsson B, Petersen C, De Schepper G, Schamper C, Sørensen KI, Therrien R, Thirup C, Viezzoli A (2014) Nitrate reduction in geologically heterogeneous catchments – a framework for assessing the scale of predictive capability of hydrological models. Science of the Total Environment 468-469, 1278-1288.

/3/ Refsgaard JC, Auken E, Gertz F (2012) Nitratreduktion i grundvand som virkemiddel. Vand & Jord, 19(5), 107-111.

/4/ Pedersen J, Effersø F, Jørgensen F, Refsgaard JC, Auken E, Schamper C, Christiansen AV (2013) Mini-SkyTEM – et nyt kortlægningsværktøj. Vand & Jord, 20(3), 118-121.

/5/ He X, Koch J, Sonnenborg TO, Jørgensen F, Schamper C, Refsgaard JC (2014) Transition probability based stochastic geological modeling using airborne geophysical data and borehole data. Water Resources Research, 50, WR014593.

/6/ Koch J, He X, Jensen KH, Refsgaard JC. (2014) Challenges in conditioning a stochastic geological model of a heterogeneous glacial aquifer to a comprehensive soft dataset Hydrology and Earth System Sciences, 18, 2907-2923.

/7/ He X, Hansen AL, Jørgensen F, Refsgaard JC (submitted) Assessing hydrological predictive uncertainties from geological model structural uncertainty using transition probability geostatistics.

/8/ Hansen AL, Christensen BSB, Ernstsen V, He X, Refsgaard JC (2014a) A concept for estimating depth of the redox interface for catchment-scale nitrate modelling in a till area in Denmark. Hydrogeology Journal.

/9/ Thirup C (2013) Nitrate leaching in the Norsminde area. NiCA Technical Note. Kan downloades fra www.nitrat.dk.

/10/ Hansen AL, Gundermann D, He X, Refsgaard JC (2014b) Uncertainty assessment of spatially distributed nitrate reduction potential in groundwater using multiple geological realizations. Journal of Hydrology, 519, 225-237.

/11/ Jakobsen BH (2015) Hvad er den økonomiske gevinst ved målrettet regulering på markniveau. Vand & Jord, dette nummer.

Jens Christian Refsgaard (jcr@geus.dk) er professor i Hydrologisk Afdeling ved GEUS og leder af NiCA projektet.
Anne Lausten Hansen (alha@geus.dk) er postdoc i Hydrologisk Afdeling ved GEUS.
Xin He (xhe@geus.dk) er postdoc i Hydrologisk Afdeling ved GEUS.

Grøn omstilling og helhed i forvaltningen

Den røde tråd i Natur & Miljø 2015 "Grøn omstilling og helhed i forvaltningen" sætter fokus på den offentlige forvaltnings medvirken til at skabe både grøn omstilling og helhed.

På konferencen vil dilemmaer omkring den offentlige forvaltning af Natur- og Miljølovgivningen blive behandlet. De offentlige forvaltninger udfordres af, at der fra mange sider er en holdning til, at der er en modsætning mellem forvaltningen af faste regler, helhedstænkning og dialog. Der efterspørges fra flere sider helhedstænkning, større dialog og inddragelse i sagsbehandlingen. Tanken om helhedstænkning kan ses som en reaktion på, at nogle borgere og virksomheder oplever at forvaltningen tænker i siloer. Men sådan behøver det ikke at være. Du kan læse mere på http://naturogmiljo2015.dk/

Vand og Jord nr. 3 vil handle om netop grøn omstilling og helhed i forvaltningen med afsæt i konferencen.

SB

Klager over vandplaner

Naturstyrelsen har oversendt ca. 150 klager over vedtagelsen af de 23 statslige vandplaner til Natur- og Miljøklagenævnet (NMKN). Naturstyrelsen bemærkninger til sagerne er samtidig sendt i 3 ugers høring hos de involverede parter, og NMKN forventes at orientere om status for klagesagerne i april (www.nmkn.dk).

CHK

Klimatilpasning i Europa

Hvad har Litauen og Spanien gang i hvad angår klimatilpasning? Og har de implementeret MRE procedurer?

MRE står for Monitoring, Reporting and Evaluation procedures.

EU's Miljøagentur har udgivet en rapport om klimatilpasnings procedurer i landene. Og af den fremgår det at Litauen har MRE, men at Spanien ikke har. Danmark har heller ikke procedurer etableret, men har ifølge rapporten planer om at etablere det.
Læs mere i rapporten som er på 130 sider.

European Environmental Agency: National adaption policy processes in European countries – 2014. ISBN 978-92-485-3, doi: 10.2800/21627. Rapporten kan fås gratis via EU Bookshop (http://bookshop.europa.eu)

MH