# geo viden

NR. 2 • JUNI 2019

# GRUNDVAND
## i en ny klimatid

**Grundvandet stiger**
Danmark bliver varmere og vådere 14

**Terrænnær viden**
I dybden med det øverste 20

**Oversvømmet motorvej**
Klimatilpasning på den gale vej 30

# Kæmpemagneter, kedeldragter og geologisk kortlægning

At køre rundt på en mark på ATV med en kæmpe elektromagnet spændt bagpå er en almindelig arbejdsdag, når de øverste jordlag skal analyseres til klimatilpasning, nitratregulering og meget mere.

Foto: Johanne Uhrenholt Kusnitzoff, GEUS.

Kold vind og tiltagende forårssol kæmper om magten over de nysåede marker på Sydfyn, da freden pludselig forstyrres af motorlarm fra en rød ATV-motorcykel, der dukker op bag et læhegn. ATV'en har en særpræget anordning spændt efter sig, som bumler afsted hen over den ujævne, nypløjede jord. I sadlen sidder Rune Kraghede, videnskabelig assistent fra Aarhus Universitets Hydrogeofysiske Gruppe (HGG). I dag er sidste dag i en lang feltsæson med kortlægning af den danske overfladenære undergrund.

"Vi kører meget på markerne, og det går jo ikke, når afgrøderne for alvor begynder at vokse. Så må vi vente, til der bliver høstet," siger han.

## Elektromagnetiske signaler

Hele anordningen, som Rune Kraghede zigzagger afsted med henover markerne, ligner ikke den gennemsnitlige maskine, der færdes på en mark. På ATV'ens rat sidder en computerskærm, og på bagsædet sidder tre gule batterikasser fastmonteret med strips og remme. Ledningerne fra dem ledes over til en stor sort kælk med noget, der ligner en hightech tørresnor og bagerst, for enden af to lange kabler, sidder der en mindre kælk med en fastspændt gul firkant. Tilsammen udgør kortegen en nyudviklet teknik ved navn tTEM, der står for 'towed Transient Electro Magnetic'.

"Den virker ved, at den største kælk sender kraftige elektromagnetiske impulser ned i jorden, hvorefter måleren på kælken, der kører bagved, opfanger de signaler, der kastes tilbage fra jorden. Signalerne oversættes så til en meget præcis placering og udbredelse af de forskellige jordtyper, jeg er kørt henover, som ler, sand eller grus," fortæller Rune Kraghede.

Hver jordtype har nemlig en ganske specifik elektrisk ledningsevne, som systemet kan genkende og notere. Da der også er en GPS placeret på hver af de to kælke, ved systemet hele tiden, hvor det er, og kan derfor lave et præcist 3D-kort af undergrundens sammensætning.

"Og så ved man samtidig, hvor på marken man er kommet til," tilføjer han og peger på skærmen på ATV'ens styr, hvor en blågrå streg zigzagger henover marken i den bane, han har kørt. Han finder en tablet frem fra en taske og scroller lidt.

"Se, her kan du se et af resultaterne fra den mark, vi kørte på i går," siger han og holder skærmen frem. Der er et aflangt billede med røde, grønne og blå felter.

"Den røde er sand, den blå er ler og så videre. Det er faktisk nogle virkelig gode resultater, meget tydelige."

## Nitratudvaskning og oversvømmelser

De undergrundsanalyser, Rune Kraghede og kollegerne har arbejdet på i størstedelen af tiden siden efteråret 2018, er til to projekter ved navn rOPEN og MapField. Her er formålet at undersøge, hvordan man bedst begrænser kvælstofudledningen fra markerne samtidig med, at bonden kan gøde mest muligt.

"Med tTEM'en kan vi kortlægge de præcise steder på landmandens mark, hvor der for eksempel er meget permeable jordlag i den nære overflade, og det betyder, at her er der stor risiko for nitratudvaskning, når der kommer regn og vandet siver ned igennem rodzonen. Omvendt kan vi også udpege de steder, hvor der er lav risiko for udvaskning, og her kan der bruges mere nitrat, uden at det har en negativ effekt på miljøet," forklarer Rune Kraghede.

tTEM-metoden blev dog oprindeligt udviklet i forbindelse med et EU-finansieret projekt ved navn Topsoil, som blandt andet gik ud på at undersøge klimaændringernes indflydelse på grundvandsstigningen, der allerede påvirker flere byer i Danmark. Det fortæller projektlederen for tTEM-metoden ved Aarhus Universitet, Jesper Pedersen.

"For eksempel i byen Sunds i Midtjylland kæmper man med oversvømmelser, når det regner meget, og her var det enormt vigtigt at få overblik over, hvordan strukturen i de øverste jordlag kunne spille ind på grundvandets flow."

tTEM giver et meget præcist billede af de øverste omtrent 100 meter af jorden, og det er netop de lag, der har betyd-

**Navn**
Rune Kraghede

**Stilling**
Videnskabelig assistent fra Aarhus Universitets Hydrogeofysiske Gruppe (HGG)

**Uddannelse**
Kandidat i Geoscience, Aarhus Universitet

**Arbejde**
At kortlægge de øverste jordlag, så forståelsen af blandt andet terrænnært grundvand kan blive bedre

## TEM-metoden kort fortalt

Transient Electro Magnetic eller TEM genererer et stærkt elektromagnetisk felt hele vejen rundt omkring sig, hvoraf en del af det går ned i jorden. Her kan den bagerste del af maskinen måle, hvor stor elektrisk modstand der er ned gennem jorden, hvilket kan oversættes til områder med forskellige jordarter som ler eller sand. Sand har stor elektrisk modstand, og ler har lav.

Der må ikke anvendes nogen form for metal i udstyret, da det vil forstyrre det elektromagnetiske signal. Derfor er det hele bygget i glasfiber og boltet sammen med specielle beslag, der er 3D-printet i karbonforstærkede plastmaterialer. Derfor skal der også være en vis afstand til ATV'en foran. Det betyder også, at man ikke kan køre under elmaster eller gå hen til magneten med en tændt mobiltelefon, imens udstyret er tændt.

Foto: Johanne Uhrenholt Kusnitzoff, GEUS.

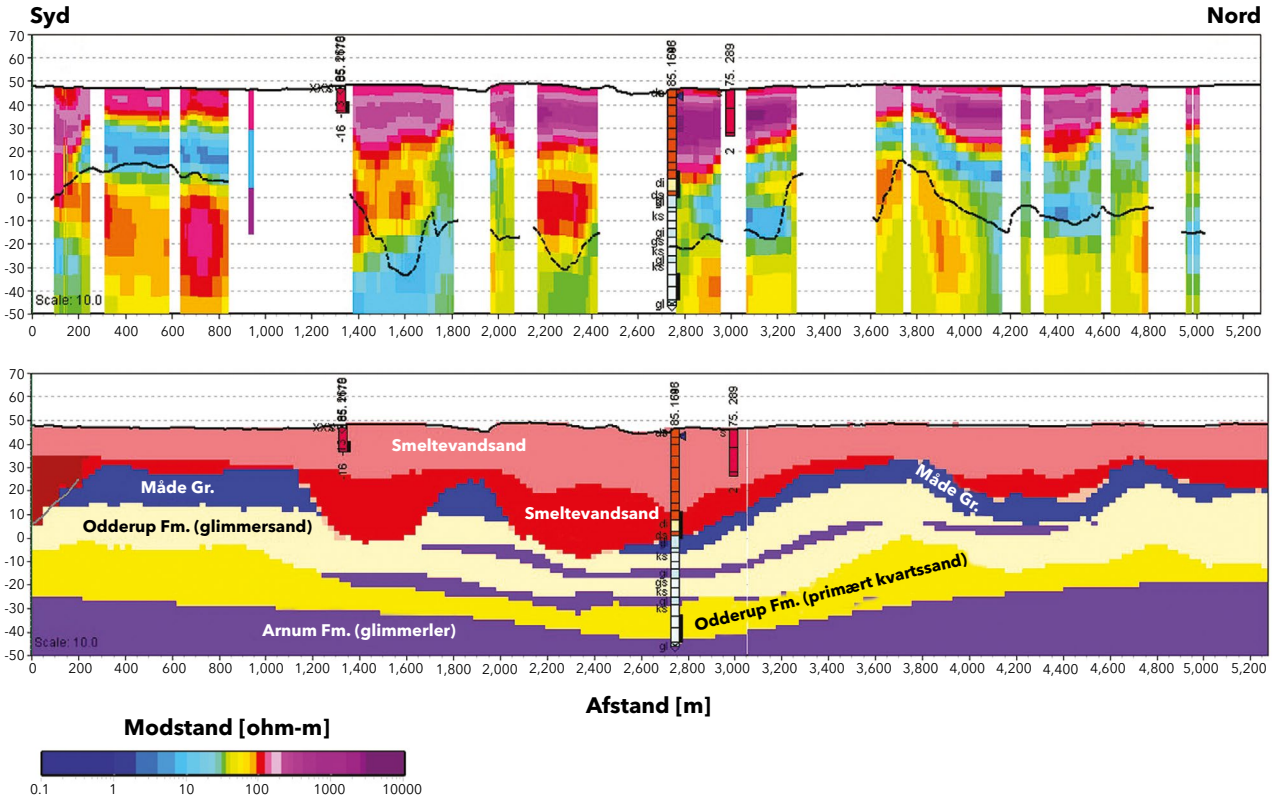



Illustration: Jesper Pedersen m.fl, Aarhus Universitet og Anders Kallesøe m.fl., GEUS.

Figur 9: Eksempel på en rå (øverst) og tolket (nederst) måling fra tTEM'en fra den jyske by Sunds, da resultaterne fra Sydfyn ikke er færdigbearbejdede. Rødlige farver viser høj elektrisk modstand i jorden, som er sandede jordarter, blå betyder lav elektrisk modstand, som er typisk for lerede jordlag. Ved at lægge de rå målinger sammen med hvad man i forvejen ved om geologien i området fra boringer mm., kan man få et meget præcist billede af, hvordan de geologiske lag går.

ning for, hvorvidt et område er følsomt over for pludselige stigninger i grundvandsspejlet, forklarer han.

## Til lands til vands og i luften

Den ATV-trukne kortlægningsmetode har også allerede tiltrukket sig opmærksomhed i udlandet, fortæller Jesper Pedersen. Blandt andet er den blevet brugt til at kortlægge det hydrologiske kredsløb i Mississippideltaet i USA, blandt andet med henblik på at forudsige oversvømmelser.

"Til det formål videreudviklede vi metoden sammen med det De Amerikanske Geologiske Undersøgelser (USGS), så vi kunne måle strukturen i den overfladenære undergrund under floden. Til det formål blev udstyret så trukket bag en gummibåd, men ellers er princippet stort set det samme," forklarer han.

Udover at metoden så kaldes floaTEM. Her kunne forskerne finde frem til de steder, hvor floden eksempelvis tilførte vand til grundvandsmagasiner eller hvor grundvandsmagasinerne tilførte vand til floden. En anden gren af TEM-metoden foregår i luften, dinglende under en helikopter. Den kaldes SkyTEM og er også udviklet af Aarhus Universitet.
"Igen, princippet er det samme, men med SkyTEM får du et overblik over undergrundens struktur i et stort område frem for en præcis, lokal måling med stor detaljegrad. Med SkyTEM bruger vi derfor også en større elektromagnet, der flyves henover et område af en helikopter, og hvis impulser trænger meget dybere ned i jorden, helt op til 500 meter afhængigt af jordtyperne," fortæller Jesper Pedersen.

Den metode er god til den mere overordnede kortlægning af, hvilke lag der cirka er hvor i jorden. Det er blandt andet godt, når man skal kortlægge grundvandsmagasiner i større skala, forklarer han.

"Men egentlig er det vel kun fantasien, der sætter grænser for, hvad man kan bruge teknologien til. Så vi er altid spændte på, hvem der tager fat i os ude på konferencerne og til møder, for man ved aldrig helt, hvad næste projekt bliver."

## Flymotor på Grønland

Det kan Rune Kraghede skrive under på. Sammen med en række kolleger flyver han og tTEM'en nemlig afsted til Grønland i år, hvor tTEM-systemet skal bruges til at lede efter en flymotor, der blev tabt på Indlandsisen af en forbiflyvende Airbus 380 i 2017 og siden er blevet begravet under sneen.

"Det bliver spændende at se, om det lykkes. Der var også et hold afsted sidste år uden held. Og nu er der jo faldet endnu mere sne oven på motoren, så det er ikke blevet nemmere. Men forhåbentlig kan vi løse opgaven i år med tTEM'en. Den slår nemlig kraftigt ud, hvis den kører henover metal," siger han.

Inden det gælder Indlandsisen er der dog en mark mere, der mangler at blive kørt, inden det er fyraften på Sydfyn. Efter en kort pause med en klapsammenmad og et par chokoladekiks lyner Rune Kraghede sin blå kedeldragt helt op i halsen og trækker hætten over hovedet, inden han springer på ATV'en og drejer på gashåndtaget.

"Så er det sidste etape," siger han og sætter det lille vogntog i gang igen og forsvinder henover et bakkedrag.

tTEM-metoden anvendt

# Oversvømmelser i Sunds kan afværges med viden

Foto: Aarhus Universitet, HGG.

Et hold geologer fra Aarhus Universitet laver geofysiske målinger med en flydende elektromagnet på Sunds Sø for at finde ud af, hvordan undergrunden under søen påvirker grundvandstanden for resten af området.

**I Sunds ligger grundvandsspejlet tæt på jordoverfladen, og det kan give oversvømmelser, når det regner meget. Nu afslører geologien under byen, hvordan man bedst mindsker risikoen for grundvandsoversvømmelser i området.**

I Sunds nord for Herning er det populært at bo ned til den smukke Sunds Sø, der er Danmarks største hedesø. Ved vintertide, hvor det regner mere, er det desværre også forbundet med risiko for oversvømmelser, da grundvandsspejlet i byen ligger meget højt. Ofte under en meter fra jordoverfladen. Ved længere perioder med regn får dele af byen problemer med oversvømmelser fra både sø og grundvand. Dertil kommer, at kloakrørene under og omkring den midtjyske by er utætte og skal skiftes. Modsat hvad man måske skulle tro, kan det komme til at betyde endnu værre oversvømmelser rundt om i Sunds, da de hidtil utætte rør har virket som dræn for grundvandet. Helt op mod 800.000 m$^3$ vand om året er sandsynligvis ledt væk via de gamle kloakrør. Sidst men ikke mindst medfører klimaforandringerne mere nedbør, og i Midtjylland, som allerede har danmarksrekorden i nedbør, er det opskriften på problemer.

## Overblik over undergrunden

Heldigvis er der folk på sagen – både Aarhus Universitet, De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Region Midtjylland, Herning Kommune og Herning Vand A/S arbejder sammen om at finde den bedste løsning på problemet, så Sunds ikke drukner i stigende grundvand i de kommende år. Blandt andet fungerer byen som case i et stort EU-finansieret klimatilpasningsprojekt ved navn Topsoil, der netop skal finde ud af, hvordan bedre forståelse af den terrænnære geologi kan afhjælpe problemer med stigende grundvand.

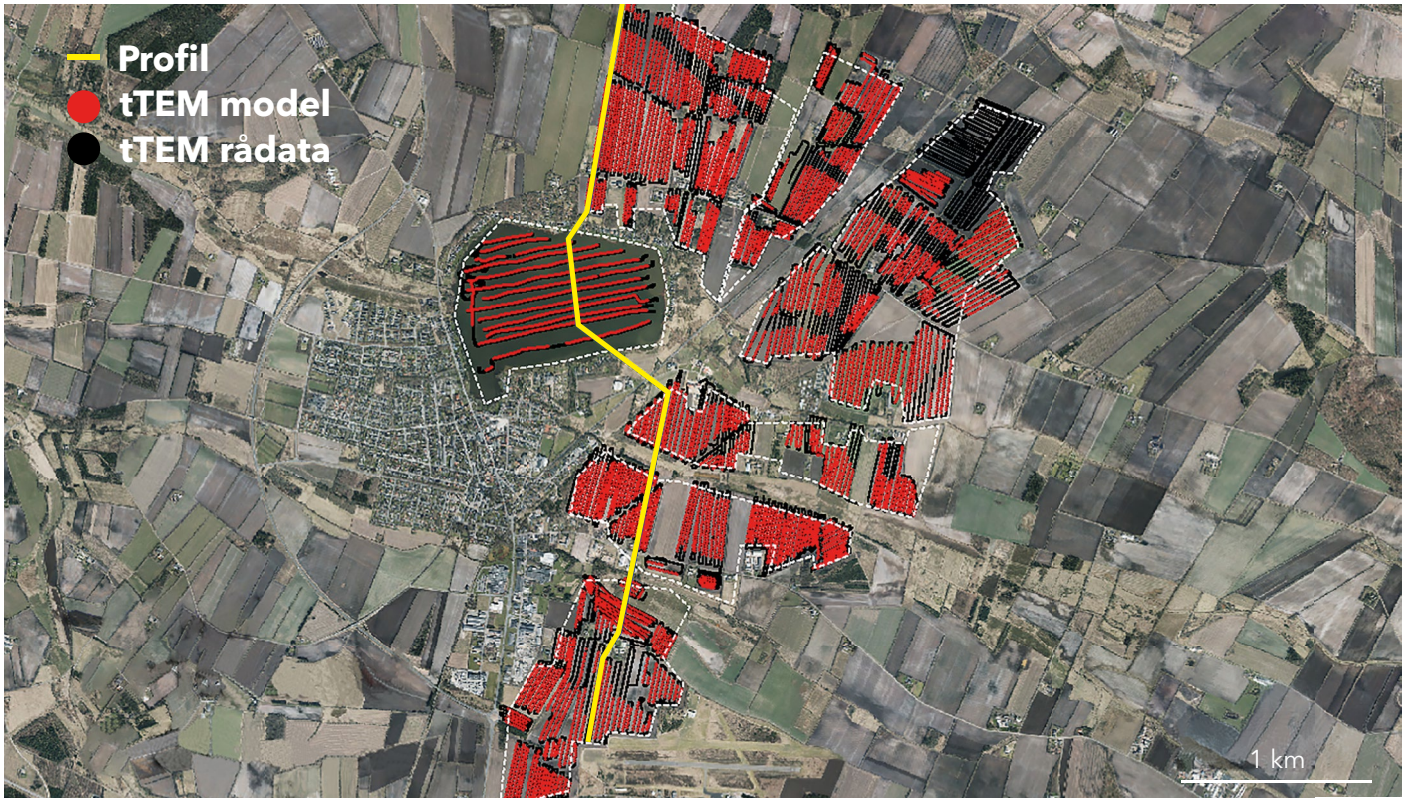
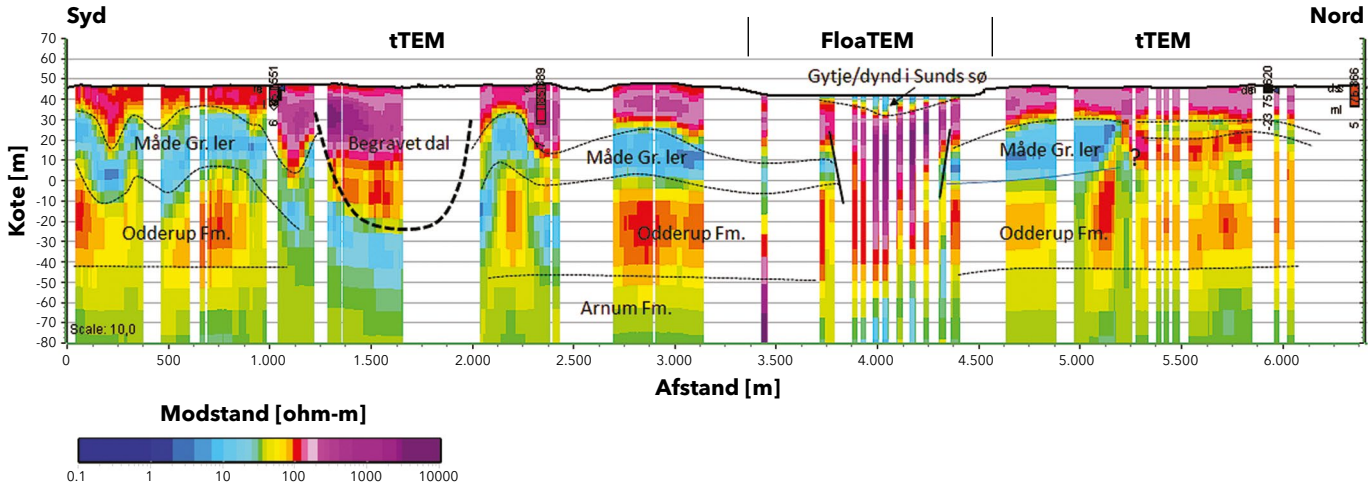



Illustration: Jesper Pedersen m.fl, Aarhus Universitet og Anders Kallesøe m.fl., GEUS.




Figur 10: Herover ses resultaterne fra den geofysiske TEM-måling fra Sunds. Figuren forestiller et cirka 6,5 km langt tværstnit gennem byen på tværs af Sunds Sø fra Syd mod Nord. Det øverste billede viser hvor TEM'en har kørt og sejlet (sort), hvilke data der mødte kravene til at bruges i modellen (rød), og den profil, der er analyseret ses som den gule streg. Det er denne, der ses på profilen under. Her skal toppen af kurven ses som jordoverfladen, som ligger omkring 45 meter over havniveau. tTEM'en har målt omkring 80 meter ned i undergrunden, og de hvide felter er steder, hvor der ikke kunne måles, eller data var for dårlige. Farvefelterne skal tolkes som elektrisk modstand (Ohm-m), hvor lilla er høj modstand (sand), og blå har lav modstand (ler). Sunds Sø ses i midten, hvor det lilla område under indikerer en stor forekomst af sandet jord, der gennemskærer det blå lag, der indikerer ler. Hvor der i den sydligste del af Sunds ser ud til at være et tykt, vandstandsende lerlag 10-20 meter fra overfladen, er der altså et 'hul' under søen, hvor grundvandet kan suse videre ned i undergrunden.

"Ved at kortlægge den præcise geologi i de øverste lag under en by som Sunds, kan vi pludselig bedre forstå, hvordan grundvandet påvirkes udefra, hvad enten det er fra nye kloakker, regn eller tørke," fortæller Flemming Jørgensen, der er geolog ved Region Midtjylland og projektleder på Topsoil.

"Målet er at bruge den viden til at finde de mest optimale og økonomiske måder at klima- og grundvandsikre Sunds by på, så både vandløb, grundvand og beboere bliver tilgodeset."

## Overraskende lerlag

I forbindelse med Topsoil-projektet har geologer fra Aarhus Universitet og GEUS derfor kortlagt de øverste 100 meter af Sunds' undergrund ved hjælp af TEM-metoden (se side 20-24), både den ATV- og gummibådstrukne udgave. Her kan forskerne pludselig skelne præcist mellem, hvor de vandledende og vandstandsende lag er, samt hvor forbundne de er. Derudover har de for første gang kunnet kortlægge geologien under søen, så den kan regnes med i det hydrologiske kredsløb. Alt sammen parametre, der har meget stor indflydelse på grundvandets flow i området. Inden projektets start var den gængse forståelse af den midtjyske hedes geologi, at det var én stor sandkasse i de første mange meters dybde. De nye målinger viser imidlertid, at virkeligheden er langt

mere kompleks (se Figur 10). De første 10-20 meter under terræn er ganske rigtigt sand, formentlig aflejret for omkring 20.000 år siden i den sene Weichsel-periode. Under sandlaget er der dog et tykt lerlag, kaldet Måde Gruppen, som er voldsomt uregelmæssigt og bugter sig op og ned, hvilket sandsynligvis skyldes forstyrrelser fra gletsjerbevægelser. Målingerne afslørede også en begravet dal fyldt med sand og grus, der snor sig på tværs af lerlagene fra nord mod syd fra Sunds Sø og gennem byen. Søens undergrund viste et tykt lag dynd, hvor der nedenunder var et 'hul' i lerlaget.

"Det er meget mere dynamisk og kompliceret, end man normalt går rundt og tror," siger Torben Sonnenborg, der er ingeniør og seniorforsker ved GEUS. Han er en af dem, der står for at omforme den nye geologiske model af Sunds til konkrete anbefalinger til kommunen om, hvilke klimasikringer der vil kunne afværge oversvømmelserne. De nye informationer er en stor fordel.

"Den nye viden om især det deformerede lerlag og de tykke lag gytje eller dynd i søen er afgørende for den fulde forståelse af, hvordan det terrænnære grundvand påvirkes af både søen, de nye kloakker og klimaforandringer. Det giver et meget bedre bud på den rigtige klimasikring," siger han.

## Fire mulige anbefalinger

Både lerlaget og det tykke lag dynd i søen har stor betydning for klimasikringsplanerne. Begge dele fungerer som en mere eller mindre effektiv barriere for vandgennemstrømningen, så det er vigtige aspekter at have med i sine beregninger, forklarer Torben Sonnenborg. Han fortæller, at han og kollegerne lige nu regner på flere metoder til klimasikring mod grundvandsstigning, hvor nogle også involverer Sunds Sø.

"En mulighed, vi regner på, er at ændre udløbet fra søen og derigennem finde en måde at kontrollere vandspejlet i søen på. Her er det for eksempel meget vigtigt at kende til blandt andet dyndlagets betydning for vandets strømning til og fra søen."

> **Det er jo eksempelvis svært at plante en skov midt i en by**

Ud over tilpasningen af udløbet er der en række andre muligheder, som generelt er effektive til at styre grundvandet i et område, og som forskerne også har regnet på for Sunds-området:

**1. Plante skov**, hvis blade fordamper store mængder vand tilbage til atmosfæren.

**2. Lave ekstra grundvandsdræn**, der kan styres, så grundvandsspejlet i nogen grad kan kontrolleres ved at lede regnvand ud i vandløb eller søer.

**3. Begrænse lokal afledning af regnvand** (LAR), hvor man lader regnvandet filtrere direkte ned i grundvandet via bevoksede arealer som folks haver og offentlige opsamlingsbassiner. Denne metode kan få grundvandsspejlet til at stige meget, hvis det i forvejen ligger højt.

Hvad der præcis bliver løsningen i Sunds, er der dog stadig ingen der ved. Og selvom forskerne finder frem til, at én løsning er den mest effektive, vil det stadig være usikkert, om det rent faktisk bliver den, forklarer Torben Sonnenborg.

"Vi sidder jo bare herinde og regner på, hvad der objektivt set er mest effektivt, men der er jo en masse andre hensyn at tage, når det føres ud i virkeligheden, hvor det påvirker folks liv," siger han.

Eksempelvis kan beregningerne sagtens vise, at beplantning af skov er det mest effektive, men derfor skal der stadig regnes en masse praktiske hensyn ind.

"Det er jo eksempelvis svært at plante en skov midt i en by," siger Torben Sonnenborg.

Forskernes rapport med anbefalinger baseret på den nye geologiske og hydrologiske model sendes til Herning Kommune i efteråret 2019.

Foto: Torben Sonnenborg, GEUS.

Når der bygges nyt i Sunds, er man efterhånden begyndt at starte med at sprede en meter sand og grus på området, så jordoverfladen hæves. På den måde er der mindre sandsynlighed for, at de nye huse får vand i kældrene eller våde græsplæner.

# geo viden

**Udgiver:** Geocenter Danmark
**Ansvarshavende:**
Mette Buck Jensen, GEUS
**Redaktør og skribent:**
Johanne Uhrenholt Kusnitzoff, GEUS
**Design:** Annabeth Andersen, GEUS
**Tryk:** Rosendahls A/S
**Forside:** Modellering af oversvømmelse ved Storå i Vestjylland. Illustration: Cowi. Læs mere på side 28-29.
**Eftertryk:** Tilladt med kildeangivelse
**Kontakt:** geoviden@geus.dk

**ISSN:** 1604-6935 (papir)
**ISSN:** 1604-8172 (elektronisk)

Geoviden udgives af Geocenter Danmark og er målrettet undervisningen i gymnasierne. Bladet udkommer tre-fire gange om året. Abonnement er gratis og tegnes på geoviden.dk. Her kan man også læse bladet og finde ekstramateriale som video.

GEOCENTER DANMARK

Geocenter Danmark, der udgiver Geoviden, er et samarbejde mellem De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS), Institut for Geoscience ved Aarhus Universitet samt Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning og Statens Naturhistoriske Museum begge ved Københavns Universitet. Geocenter Danmark er et center for geovidenskabelig forskning, uddannelse, rådgivning, innovation og formidling på højt internationalt niveau.

Har du ris eller ros, så send os en mail på geoviden@geus.dk

NORDISK MILJØMÆRKNING
TRYKSAG
541 176

Kilde: Shutterstock.

## NÆSTE NUMMER

Efterårsudgaven af Geoviden handler om Indlandsisen i Grønland, der ved total afsmelting faktisk kunne få vandstanden i verdenshavene til at stige med omkring 7 meter.

**De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS)**
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 38 14 20 00
E-mail: geus@geus.dk

GEUS

**Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning (IGN)**
Øster Voldgade 10
1350 København K
Tlf: 35 32 25 00
E-mail: ign@ign.ku.dk

**Statens Naturhistoriske Museum (SNM)**
Øster Voldgade 5–7
1350 København K
Tlf: 35 32 23 45
E-mail: snm@snm.ku.dk

**Institut for Geoscience (IG)**
Aarhus Universitet
Høegh-Guldbergs Gade 2, B.1670
8000 Aahus C
Tlf: 89 42 94 00
E-mail: geologi@au.dk