

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

Grundvand og klima

Klimaforandringerne gør Danmark vådere, og det giver både udfordringer og mere viden om den terrænnære geologi.

Efter 2018's ekstremt varme og tørre sommer blev jeg ekstra opmærksom på, at vand kan være en mangelvare. De afsvedne grøntsagsbede, udtørrede søer og tørstige dyr og planter overalt gjorde indtryk på mange danskere og har angiveligt fået flere til at få øjnene op for klimaforandringerne og de udfordringer, der følger med dem. Men når man dykker ned i, hvad klimaforandringerne betyder for grundvandet i Danmark, mødes man imidlertid af et helt modsat problem. Nem-

lig, at der i mange områder af Danmark i perioder er alt for meget grundvand. Så meget, at det oversvømmer folks kældre og landmændenes marker og undergraver vejene. Det er eksempelvis et tilbagevendende problem i den midtjyske by Sunds, hvor grundvandsspejlet med jævne mellemrum bevæger sig op over terrænet. For faktisk medfører klimaforandringerne, at der bliver mere nedbør i Danmark. Især om vinteren, hvor det meste af grundvandet dannes.

Indtil for ganske nylig havde der ikke været ret mange undersøgelser af grundvandet i de øvre jordlag, da det typisk har været det dybe grundvand, drikkevandet, der har været interesse i. Det vendte dog i 2012, hvor Kolding Kommune som de første fik lavet en geologisk

undersøgelse af dynamik-kerne i det terrænnære grundvand. Koldingenserne havde nemlig længe døjet med oversvømmede kældre og nu måtte man efterhånden have svar på, hvor alt det vand kom fra. Undersøgelsen pegede på et stigende grundvandsspejl kombineret med følsom terrænnær geologi som årsagen til problemerne. En del af løsningen på oversvømmelser fra grundvandsstigninger kan være at igangsætte forskellige klimatilpasninger som plantning af træer eller etablering af dræn.

Som du kan læse i dette Geoviden kan nogle klimatilpasningsløsninger dog også ende med at gøre mere skade end gavn, hvis ikke man kender geologien i området godt nok på forhånd. For én ting er sikkert, når det

kommer til vand, nemlig at hvis du sætter en prop i ét sted, så løber bassinet over et andet. Vi har i bladet her zoomet ind på det terrænnære grundvand, og hvordan geologi og klimatologi kan hjælpe med at forebygge de problemer, som klimaforandringerne fører med sig på området.

På geoviden.dk/grundvand-ogklima finder du desuden en masse ekstra materiale om grundvand og klima. Her kan du blandt andet også se en video, der går tæt på, hvordan man forsker i forurening af grundvand. 9

God læselyst!



Johanne Uhrenholt Kusnitzoff
Redaktør og skribent

+ Find mere på geoviden.dk/grundvandogklima

For eksempel

- En film om forskning i nitratforurening af grundvand
- Forklaring af nøglebegreber
- Bladet og de enkelte artikler og illustrationer
- Links og henvisninger til videre læsning



UNDERGROUND
CHANNEL

Se filmen om grundvand og nitrat på
geoviden.dk/grundvandogklima

Eksperter der har bidraget til dette Geoviden



Esben Aukén
Professor
Aarhus Universitet



Jacob Kidmose
Seniorforsker
GEUS



Jesper Bjergsted Pedersen
Akademisk medarbejder
Aarhus Universitet



Klaus Hinsby
Seniorforsker
GEUS



Lars Trolborg
Specialkonsulent
GEUS



Martin Olesen
Ph.d.
DMI



Per Rasmussen
Seniorrådgiver
GEUS



Rune Kraghede
Videnskabelig assistent
Aarhus Universitet

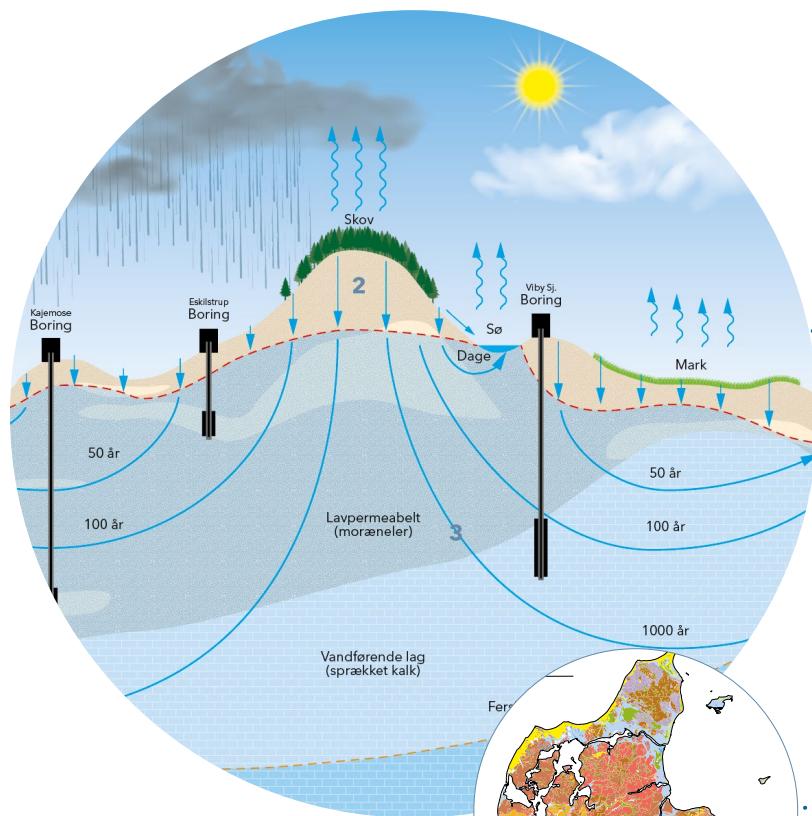


Torben Sonnenborg
Seniorforsker
GEUS



Jens Aamand
Forskningsprofessor
GEUS

Også en stor tak for hjælp og kommentarer til: Pernille Stockmarr, GEUS; Flemming Jørgensen, Region Midtjylland; Mike Boesen, Vejdirektoratet; Anders Kallesøe, GEUS; John Capellen, DMI; Allan Sørensen, DMI; Stig Schack Pedersen, GEUS; Silkeborg Kommune; Herning Kommune; Herning Vand og COWI.



Grundlæggende om
GRUNDVAND

4

Geologiske lag leder
grundvandet på vej

8

Grundvand i tal

12

Klimændringerne får
grundvandet til at stige

14

Hvor står dit
grundvand om 30 år?

18

Kæmpemagneter,
kedeldragter og
geologisk kortlægning

20

Oversvømmelser i Sunds kan
afværges med viden

25

23-årig model holder
styr på Danmarks vand

28

Klimatilpasning truede med
at oversvømme ny motorvej

30



Grundlæggende om GRUNDVAND

Vandet i haner, brusere og have-slanger har været så længe undervejs, at det kan være faldet som regn da vores forfædre stadig gik på jagt med bue og pil. Læs her, hvordan den rejse foregår.

De fleste har en intuitiv forståelse af, at hver gang det regner, vil der efter et stykke tid være tørt igen. Ikke alle tænker over, hvor alt vandet er forsvundet hen. Forenklet sagt bevæger det sig både opad, nedad og henad. Lige når det regner og er færdigt med at regne, vil en vis del af vandet straks fordampe fra overfladen og igen blive til vanddamp i atmosfæren. Størstedelen af nedbøren vil dog sive ned i jorden, hvoraf noget bliver til grundvand, men ikke det hele. En god del af vandet når kun til rodzonen, hvor det opfanges af planternes rødder og sendes tilbage op i luften gennem bladene. Noget andet bindes af organisk materiale og bliver i det øverste lag. Det vand, der slipper forbi rodzonen, fortsætter turen lodret nedefter, løbende i mellemrummene mellem jordpartiklerne og mineraler. Efter noget tid når det ned til den øverste del af den såkaldt mættede zone, hvorefter det kaldes grundvand. Lige over den

skillelinje finder man dog tit en overgangszon, kaldet kapillarzonen, hvor noget af grundvandet hæves op over grundvandszonen igen (se Figur 1). Det skyldes de såkaldte kapillærkræfter, der gør, at hvis en passage mellem porerummene bliver smal nok, vil vandet blive suget op. Derfor er kapillarzonen også tykkere i lerjorde end i sandjorde, hvor porerummene typisk er større og kapillærkræfterne derfor mindre.

Terrænnært og dybt grundvand

Den mættede zone er alt under den grænse i jorden, hvor alle porerum mellem jordpartiklerne er blevet fyldt med vand. Oven for grænsen er der stadig luft i mange af mellemrummene. Man kan sige, at det er vandstanden nede i jorden. Herfra og nedefter finder man grundvandet, der nu frem for at løbe lodret ned i små strømme, begynder at opføre sig mere som én sammenhængende vandmasse, hvori vandet også kan strømme sidelæns og for den sags skyld opad under visse forhold. Da det med tiden vil regne igen, kommer der nemlig nyt vand til, der maser på fra oven og derfor tvinger grundvandet nedefter og ud (se Figur 2).

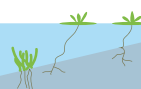
En meget stor del af vandet når dog ikke ret langt i den tilstand, før det rammer et dræn i form af en sø, et vandløb, en utæt kloak eller

andet. Herfra bliver det ført tilbage til havet, hvor det starter forfra som havvand, damp og så nedbør. Det vand, der ikke ryger den vej vil beholde sin status som grundvand i længere tid og vil fortsætte rejsen nedefter styret af tyngdekraften, landskabets hældning og trykforskelle. Undervejs støder vandet på forskellige jordlag, der både kan forsinke nedsivningen eller speede den op. Derfor er der mange veje ned gennem undergrunden. Nogle tager meget lang tid, fordi vandet møder et lag, hvor det kun kan sive langsomt, eksempelvis ler. Andre gange går det hurtigere, fordi vandet møder et lag, det kan strømme hurtigt igennem, som for eksempel sand eller grus. Grundvandet anses nu typisk for dybt grundvand, hvor det længere oppe, logisk nok, kaldes terrænnært grundvand. På det dybe stadie er der også risiko for at møde en drikkevandsboring, der pumper det op til overfladen igen, hvorfra det får lov at tage en tur til.

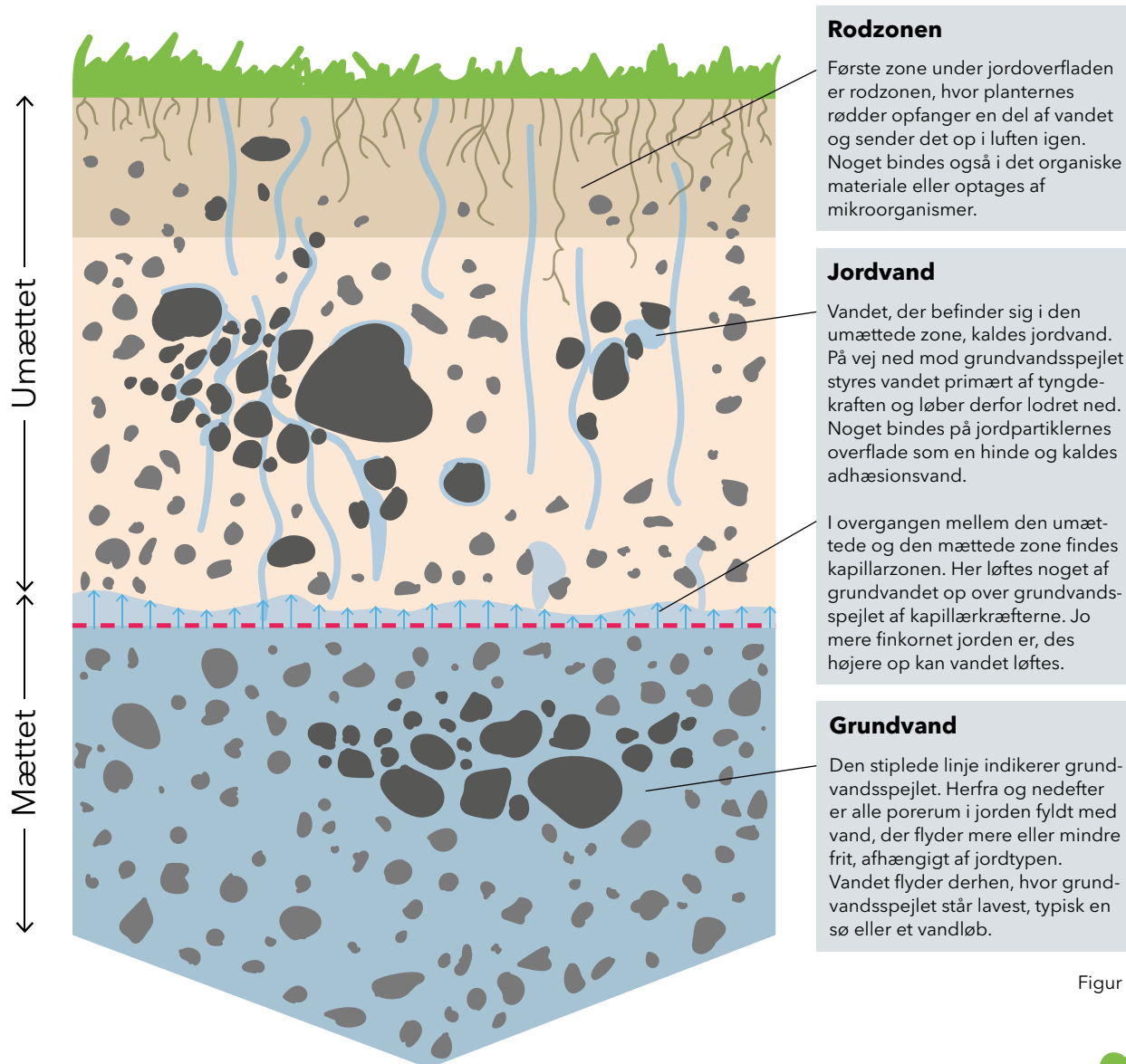
Den mættede undergrund

Fra grundvandsspejlet og nedefter er der altså vand i alle porerum. Grundvandsspejlet er dog sjældent en lige linje, da det tager tid for vandet at fordele sig ned- og udefter afhængigt af jordtyperne, det møder, og derfor følger spejlet i rimeligt høj grad terrænets form. I de

dybe lag er vandet nogle gange blevet fortrængt af gas, olie eller andet, der også kan bevæge sig mellem porerne i jordens mineraler. Men for det meste er der fyldt med vand. Nogle jordarter er dog så finkornede, at man ikke kan pumpe vandet op derfra, fordi det er fanget i de små rum mellem kornene. Når man kommer dybt nok ned, typisk omkring et par kilometer, begynder de geologiske lag desuden at blive mast sammen af trykket ovenfra. Til sidst er mineraler så kompakte, at der ikke er plads til frit vand. På overfladen kan der dog også opstå mættede zoner i perioder. Når det har regnet meget, eller hvis jorden ikke er ret vandgennemtrængelig, kan vandet i de øverste lag ikke nå at infiltrere til de dybere lag, og så opbygges der en lokal, mættet zone tæt på jordoverfladen. Regner det længe nok, bliver det til såkaldt blankt vand, altså vand der står på overfladen som en vandpyt eller sø. Hvis der er en lille hældning i landskabet, vil vandet begynde at løbe langs overfladen og ned i det nærmest vandløb eller nærmeste kloak og ende i havet. Når det stopper med at regne vil vandet lige så stille sive ned, og det øverste lag vil igen være umættet. Vandet er altså i konstant bevægelse rundt i den cyklus, der kaldes det hydrologiske kredsløb, som indbefatter alt vand på kloden. 9

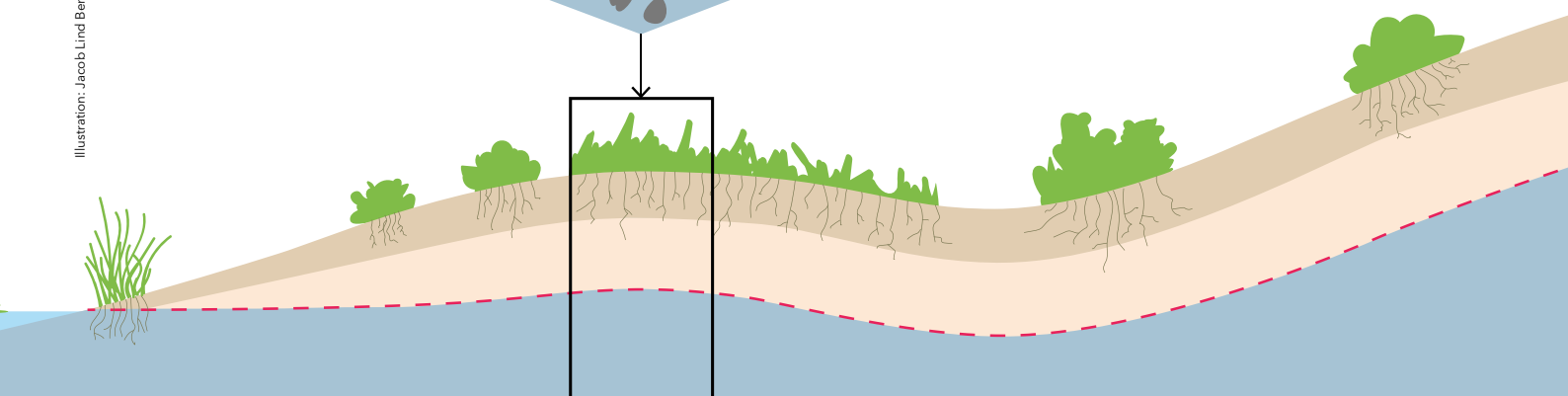


Grundvandets zoner

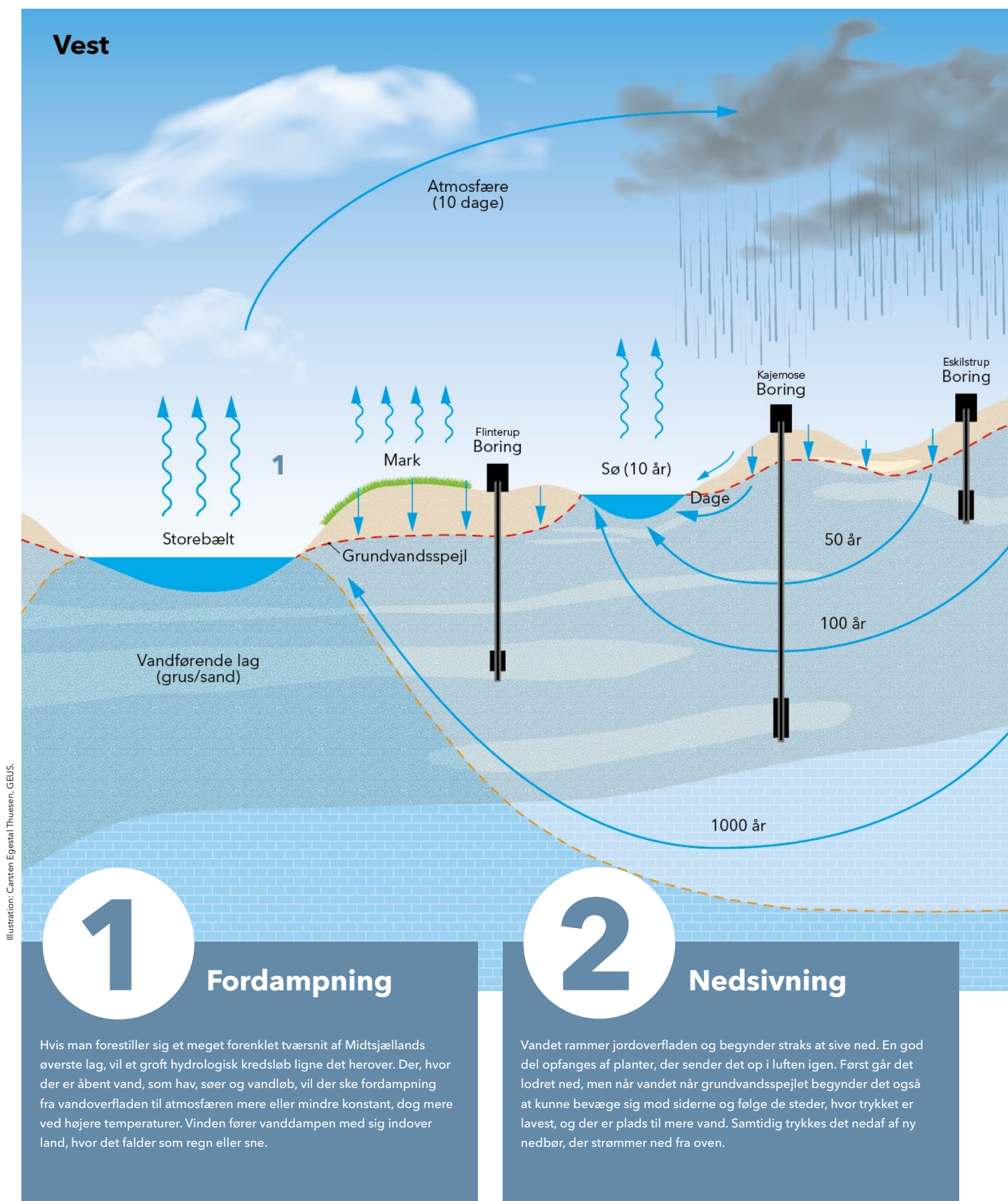


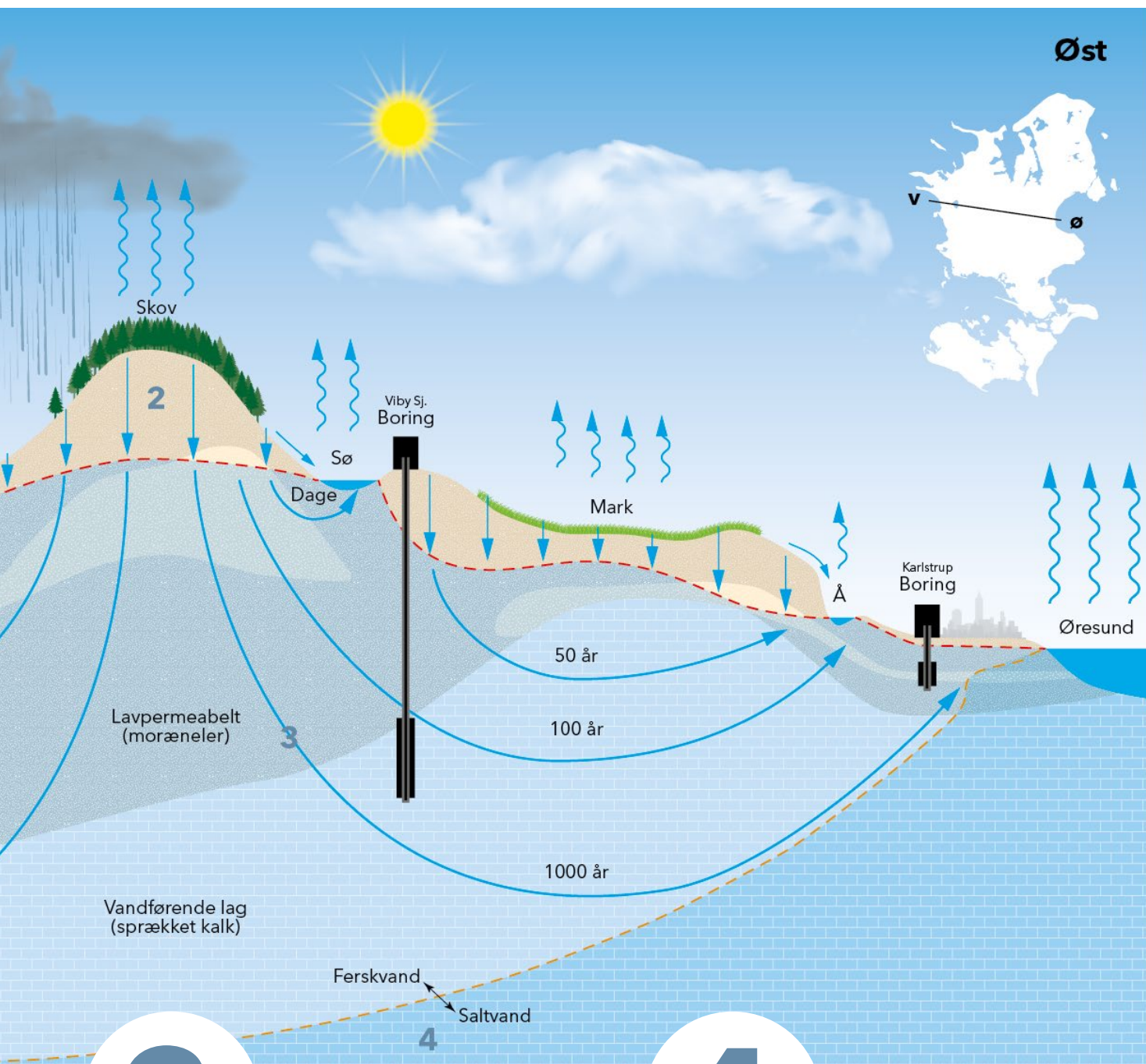
Figur 1

Illustration: Jacob Lind Bendtsen, GEUS.



Hydrologisk kredsløb





Figur 2

3

Grundvandsstrømning

På vej ned gennem jorden er der mange vekslende geologiske lag, der kan påvirke grundvandsstrømningshastighed og retning. Vandet har for eksempel svært ved at trænge gennem ler, og det er der en del af i den øverste sjællandske undergrund. Gennem sand og opsprækket kalk går det til gengæld hurtigt, og derfor er det også fra sandet man typisk pumper det op til drikkevand.

4

Saltvandet trænger sig på

Det salte vand fra havet trænger ned i havbunden ligesom nedbør på land, så derfor er der en zone under en ø, hvorfra alt vand nedefter faktisk er salt. Det er kun fordi, der hele tiden kommer nyt ferskvand fra oven, at de øverste lag er ferske, da det ferske vand presser det salte nedad og ud mod kysten. Til sidst blandes det dog også med det salte og bliver enten fossilt vand i den dybe undergrund eller ender ude i havet, hvor kredsløbet starter igen.



Glacial aflejringer i en udgravning på Fur Bakkekronen i Nordjylland.

1: Nederst i højre hjørne ses spidsen af et lerlag med silt, som har lav permeabilitet. 2: Det går over i et lyst, ensartet lag af fint, velsorteret sand med høj permeabilitet. 3: Derover ligger et lag af grus, der også har høj permeabilitet. 4: Øverst ses igen et lerlag med indslag af fint sand, der er rødt på grund af udfældning af oxideret jern eller rust. Helt nederst ligger løst sand og grus.

Foto: Riga Asbjørn Schack-Pedersen, GEUS.

Geologiske lag leder grundvandet på vej

Hvordan grundvandet er fordelt rundt omkring i landet afhænger i høj grad af, hvilken type jord, der dominerer overfladen, og hvordan lagene nedefter er fordelt. Det kan man stille nogle grundregler op for. Selvom virkeligheden ofte viser sig at være mere kompliceret...

Danmark får vi stort set udelukkende vores drikkevand fra grundvandet, hvilket blandt andet kan lade sig gøre på grund af vores geologi. De øvre dele af Danmark er lidt groft sagt én stor sandkasse fuld af en blanding af grus, sand, ler og kalk. Det tillader en stor mængde vand at samle sig i de øvre dele af undergrunden, som er relativt lettilgængelige. I Sverige og Norge ligger grundfjeldet for det meste helt oppe i overfladen, så her dannes ikke magasiner af vand på samme måde som i Danmark. De øverste lag af vores undergrund blev dannet i istiden og fremefter og kaldes kvartærgeologiske lag. De består typisk af veksellende sand-, grus- og lerlag, som bølgjer og bugter sig afsted under græs og asfalt.

Hvor hurtigt vandet løber igennem undergrunden bestemmes af, hvilke jordarter det møder. Sand og grus har relativt store mineralkorn, og derfor også store og velforbundne porerum, hvor vandet kan bevæge sig igennem. Lag, der indeholder

meget sand, grus eller begge dele kaldes derfor vandførende eller højpermeable. Ler for eksempel har derimod meget små mineralkorn, og derfor tilsvarende små og dårligt forbundne porerum. Her kan vandet næsten ikke bevæge sig igennem, i hvert fald går det meget langsomt. Derfor kaldes lerlag typisk vandstandsende eller lavpermeable lag.

Sprækker i jorden

Det er dejligt nemt, men virkeligheden er aldrig så simpel. Lagene er sjældent 100 procent sand eller ler, men kan være domineret af det ene eller det andet. Istidens iskapper har for eksempel moset godt og grundigt rundt i dem mange steder, så de er blevet brudt, blandet og forskudt. Også fortidens landskaber spiller ind som dale, der er blevet begravet af sedimentter fra iskappernes smeltevand, og som kan gennemskære andre lag og fungere som underjordiske motorveje for vandets strømning. Det er altså sjældent, man finder et helt homogent og ubrudt lag, og selv de lavpermeable lerlag kan snyde. Flere steder er de nemlig gennemskåret på kryds og tværs af lange og dybe sprækker, hvor vandet kan strømme næsten frit igennem som et vandfald. Endda hurtigere end i sand- og gruslagene. Man kan altså ikke regne med, at et lerlag i undergrunden altid vil være lige vandstandsende. Det afhænger af, hvor opsprækket det er, og derudover om hvor tykt, massivt og udbredt det er.

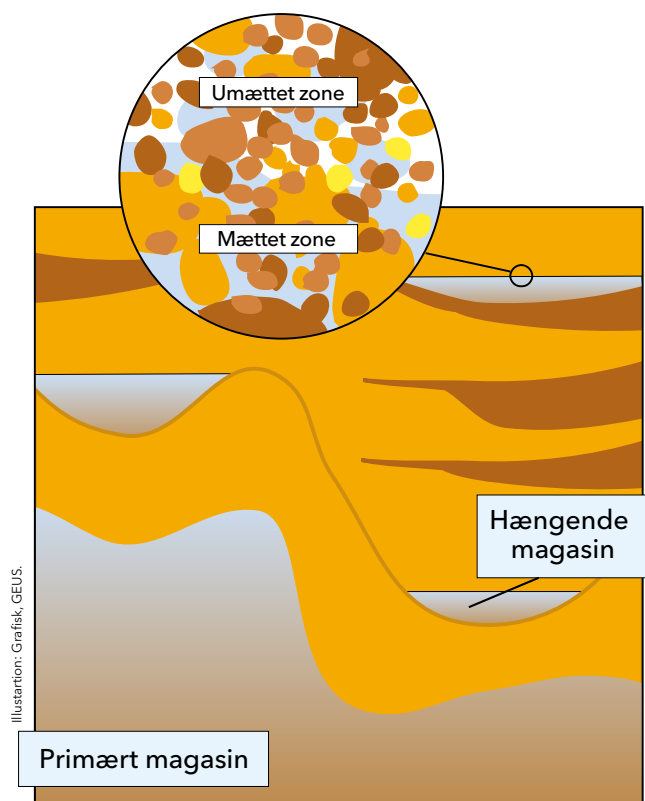
Landskabets topografi er også vigtig for grundvandets

strømning. Mens jordarterne bestemmer, hvor hurtigt vandet løber, bestemmer topografien i stor udstrækning, hvor det løber hen. Hvis området er kuperet, vil vandet søge ned til der, grundvandspejlet ligger lavest, typisk en sø eller et vandløb. Er der fladt, vil vandet i højere grad blive, hvor det er.

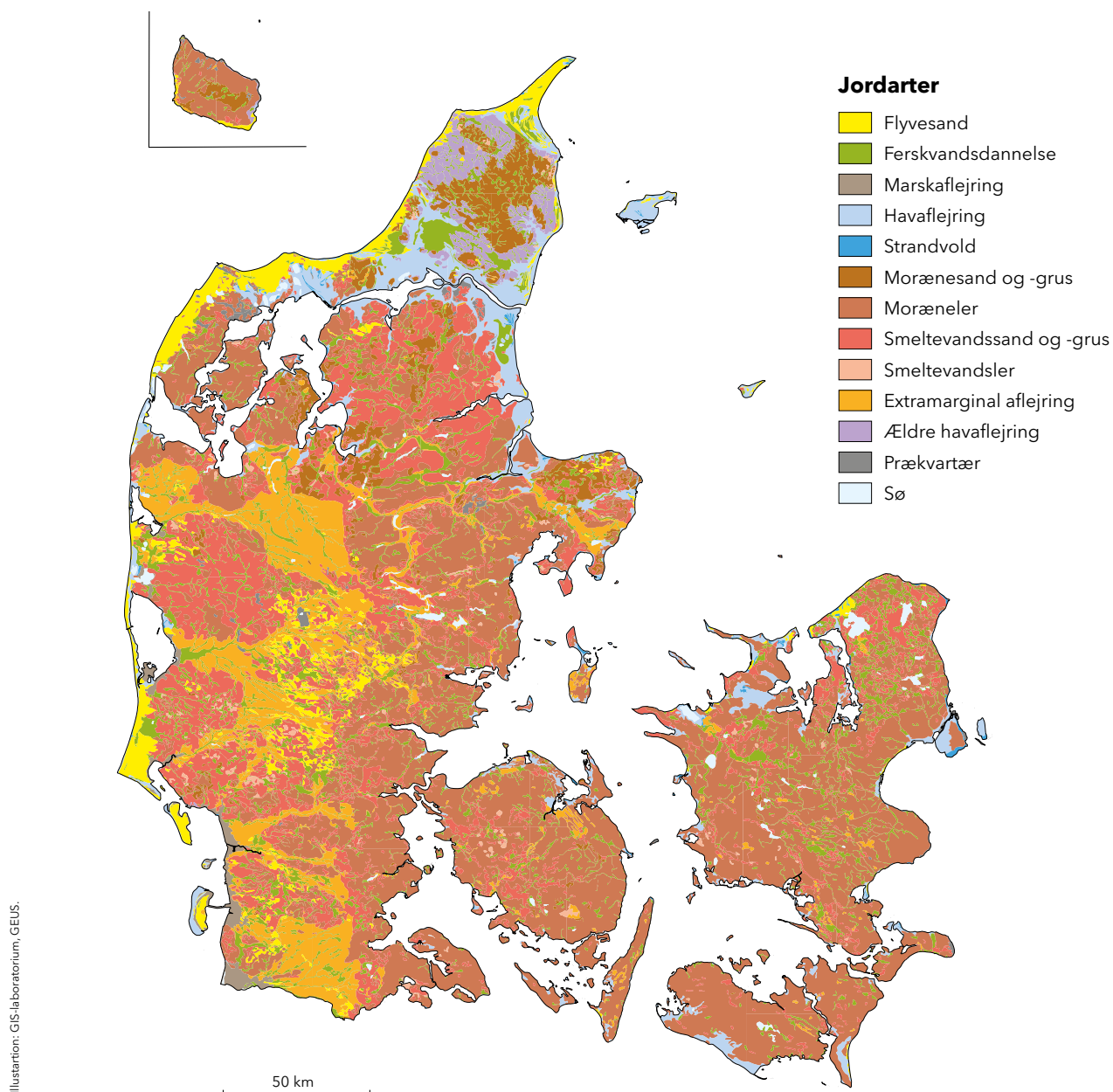
Danmarks grundvandsmagasiner

Det meste af Danmark har en eller anden form for grundvandsreserve, som kan forekomme i forskellige typer magasiner. Et grundvandsmagasin er defineret ved et afgrænset, rumligt

område mættet med fersk grundvand. Magasinerne kan være mere eller mindre sammenhængende afhængigt af, hvilke geologiske lag der er i området, og hvordan de er udbredt i undergrunden. Selvom der er et stort område med sandet undergrund, kan det bestå af flere enkelte magasiner, hvis der for eksempel går et lerlag på tværs. I Vestjylland, hvor undergrunden generelt er mere homogen og sanddomineret end i resten af landet, er grundvandsmagasinerne generelt store og sammenhængende. I resten af landet, hvor geologien har tendens til at være



Figur 3: På vej ned gennem jordlagene kan vandet blive fanget af lerlag, så der opstår et fritliggende grundvandsmagasin ovenfor grundvandspejlet. Det kaldes også et hængende magasin. De er særligt udbredte i områder med lag af moræner, som især dominerer det østlige Danmark.



Figur 4: Fordelingen af jordarter i en meters dybde i hele Danmark. Iskappens fremskred stoppede ved det, der i dag er den Jyske Højderyg, og det ses tydeligt på fordelingen af især moræneler og smeltevandssand. Selvom det kun er den øverste meter af undergrunden, har det stadig betydning for grundvandsdannelsen. Hvis regn falder på leret jord, vil det eksempelvis være længere om at sive ned i jorden, end hvis det falder på smeltevandssand.

lidt mere blandet, er magasinerne delt mere op. Hvis der ligger et lerlag på tværs af vandets strømning, vil det blive standset. Da der med tiden kommer nyt vand ned fra oven, vil vandet hurtigt ophobe sig oven på lerlaget og derfor begynde at strømme mod siderne eller samle sig i lavninger i lerlaget. Hvis lerlaget ligger over den mættede zone vil vandet i lavningerne danne et lokalt grundvandsmagasin, og der opstår en slags underjordisk lerskål fuld af vand, selvom lagene

udenom er umættede. Det kalder man også et hængende grundvandsmagasin eller hængende grundvandspejl. Man kan godt indvinde vand fra de hængende magasiner, men da de er en indesluttet enhed, der ikke rigtig har forbindelse til resten af grundvandet, kan de hurtigt løbe tør. Derudover vil vandet ofte være ret ungt, fordi det ikke er rejst ret langt fra overfladen, modsat vandet i de dybere magasiner. Derfor har det ikke været udsat for ret mange af de kemiske og

biologiske processer, som er med til at frakke og nedbryde skadelige stoffer på vandets vej ned gennem jorden. De hængende grundvandsmagasiner har derfor højere risiko for at indeholde større koncentrationer af for eksempel pesticider og nitrat, end vandet fra de større, dybere liggende grundvandsmagasiner. Kort fortalt - jo ældre vand, des længere har det rejst gennem jordlagene, og des mere filtreret og rent er det blevet.

Udover at være delt op i større eller mindre dele er der også forskel på trykniveauet i magasinerne. Det kan have betydning for, hvordan man indvinder vandet derfra. Hvis vandet er nået ned i hovedgrundvandszonen, altså den mættede zone, men løber ind under et lerlag, kan det blive mast sammen af det nytilkomne vand, så det kommer under tryk, da vandet ikke kan slippe gennem leret. Hvis man borer ned i sådan et lag vil boringen virke som en ventil, hvor grundvandet

pludselig springer op som et springvand. Sådan et magasin kaldes 'artesisisk'. De steder, hvor et vandførende sand- eller gruslag derimod ikke er helt fyldt op med vand, men når delvist op i den umættede zone,

ser i Østdanmark. På steder med meget sandet overflade vil nedbøren meget hurtigt trænge ned i jorden og begynde turen mod grundvandspejlet, hvor det selv bliver til nyt grundvand. Det betyder samtidig, at de øvre

lions liter for en jysk. Dertil kommer, at der er stor forskel på, hvor meget vandet fylder over og under jorden. I undergrunden kan vandet kun ligge i porerummene mellem jordpartiklerne, så derfor vil den regn, der kun fylder én millimeter i en regnmåler, optage et langt større rum nede i jorden.

” Hvor let vandet løber gennem undergrunden bestemmes af, hvilke jordarter det møder

kalder man frie magasiner. De er ikke under tryk, men vil typisk være mere følsomme for forurening. På grund af magasinets åbne top kan regnvand nemlig hurtigt sive ned gennem den umættede zone uden den store filtrering af hverken pesticider, nitrat eller andre potentielt skadelige stoffer.

Jordarter og grundvandsdannelse

Hvor hurtigt og hvor meget grundvand der dannes påvirkes også i høj grad af, hvad selve jordoverfladen består af. Som det første lag, regnen møder på sin vej ned gennem jorden, betyder det meget, om jordoverfladen er af ler eller sand. Kortet Figur 4 viser fordelingen af jordarter i en meters dybde i hele Danmark opmålt for hver 100. meter. Her kan man se, at overfladen i det østlige Danmark er domineret af moræneler, som er den jordart, der aflejres under gletsjere, og som er en blanding af sand, grus, ler og sten. Vestjyllands overflade består derimod næsten udelukkende af smeltevands-sedimenter i form af sand og grus. Faktisk går der en næsten lige linje gennem Jylland, kaldet hovedopholds-linjen, hvor isens fremmarch i istiderne standsede. Herfra og vestpå er der altså ikke blevet moset helt så meget rundt i lagene, så der er ikke blevet dannet de store mængder moræneler, man

lag hurtigt bliver tørre igen efter et regnskyl, hvilket gør det svært for nogle planter at gro. De mere lerede overflader gør det sværere for vandet at infiltrere, og derfor går grundvandsdannelsen langsommere i de egne. Her har man til gengæld mere vand i de øverste jordlag i længere tid, hvilket giver bedre vilkår for planter og dyr. Det er dog kun til en vis grænse, at det er en fordel, da det også kan give oversvømmelser, når det regner. Her er de østlige dele af landet mere udsat, end vestjyderne er. Overordnet set.

På grund af den sandede undergrund plus det faktum, at det er det område i Danmark, der modtager mest regn, er det i Vestjylland, der dannes mest grundvand om året. Selvom det kan svinge meget fra år til år, er der typisk to til tre gange større grundvandsdannelse end på Sjælland. Årsgennemsnittet for grundvandsdannelsen i Vestjylland er omkring 300 millimeter, hvor der på det meste af Sjælland typisk dannes omkring 100 millimeter om året eller mindre. Ingen af delene lyder nødvendigvis af meget, men hvis man tager et eksempel på et areal, måske en fodboldbane på 100 x 50 meter, giver det bedre mening. Det bliver nemlig til 500.000 liter vand på et år for en sjællandsk fodboldbane og op til to mil-

Ferskvand til saltvand

Grundvandet, som jo engang var regnvand, er ferskt. Men det er igen en sandhed med modifikationer, for jo længere ned i undergrunden det når, des mere salt bliver det. Der findes nemlig store saltaflejringer dybere nede i den danske undergrund, som efterhånden gør grundvandet salt. Aflejringerne stammer typisk fra mange millioner år gamle have, som med tiden er blevet inddampede, så kun saltet lå tilbage. Det er forskelligt, hvor dybt de ligger, nogle steder findes de i helt op til omkring 30 meters dybde, nogle steder skal man 300 meter eller længere ned. Når grundvandet når ned mod de salte lag, bliver det selv gradvist mere salt. Der er ikke en skarp overgang fra fersk- til saltvand, da begge dele fortynder hinanden i en overgangszone. Den overgangszone vil ofte være tæt på overfladen ved kysterne, hvor det salte havvand også trænger sig på, og dyb inde midt på land, hvor ferskvandet har overtaget. Det kan ses på Figur 2 på side 6-7.

Selvom der er vand i porerummene hele vejen ned i undergrunden, er det altså kun en relativt lille del af det, vi kan udnytte, som hverken er for salt eller potentielt forurenet. Alt dette og mere til er vigtigt at kende til, når man skal anlægge en ny drikkevandsboring, men i lige så høj grad, når man skal finde ud af, hvordan man bedst beskytter grundvandet samtidig med, at man kan udnytte det på en bæredygtig måde. Læs mere om det på side 28-29. 📍

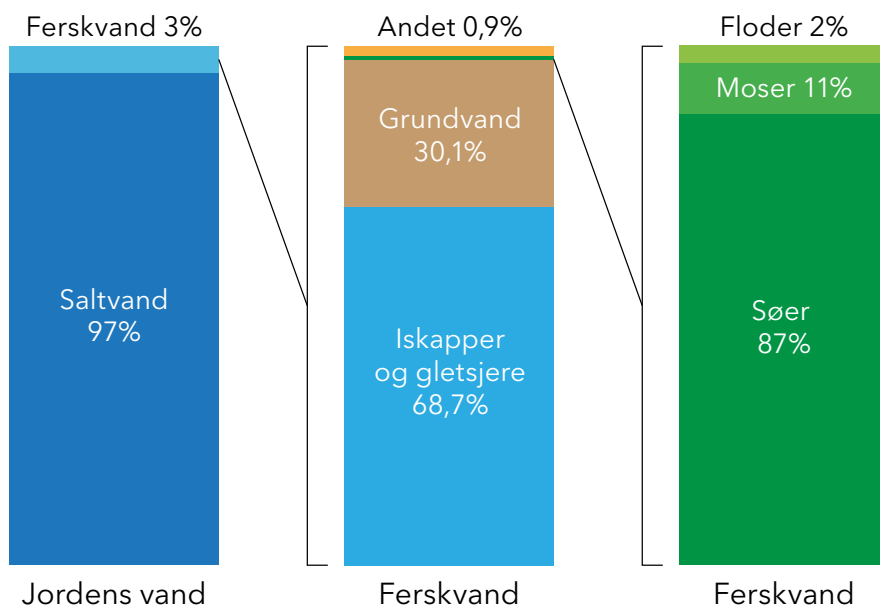


Grundvand i tal

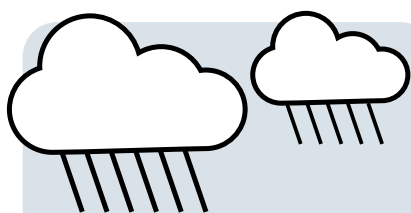


97% af alt vand på Jorden findes i oceanerne.

Kilde: Vandet i jorden, 2018



De lettilgængelige ferskvandmængder i floder, søer og højtliggende grundvand udgør **kun ca. 0,3%** af Jordens samlede vandmængde!



Det er kun cirka

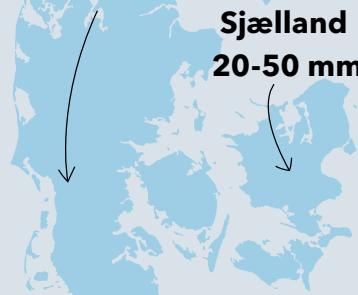
3-20%

af nettonedbøren, der når ned til de primære grundvandsmagasiner

Årlig fornyelse i de primære grundvandsmagasiner

Sydvestjylland
100-200 mm

Sjælland
20-50 mm



Hver dansker brugte i 2017 i gennemsnit

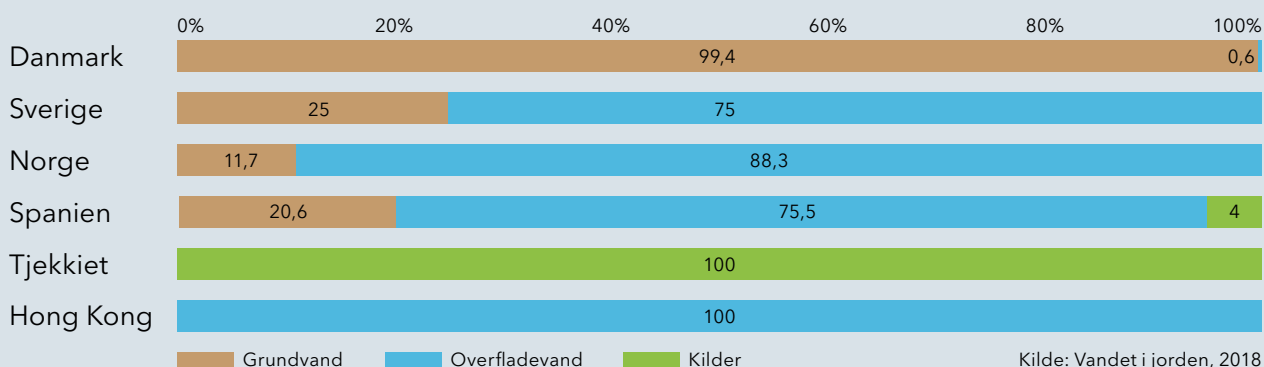
103 liter vand om dagen

Hvilket svarer til næsten

38.000 liter vand om året

Kilde: Vand i tal, 2018, DANVA

Næsten alt drikkevand i Danmark er grundvand



Kilde: Vandet i jorden, 2018

Illustration: Jacob Lind Bendtsen, GEUS

Danskernes vandforbrug er siden 1987 faldet med

40%

I 1986 fangede fiskerne i Gilleleje døde jomfruhummere på grund af et særligt voldsomt iltsvind i Kattegat, der skyldtes forurening med næringsstoffer.

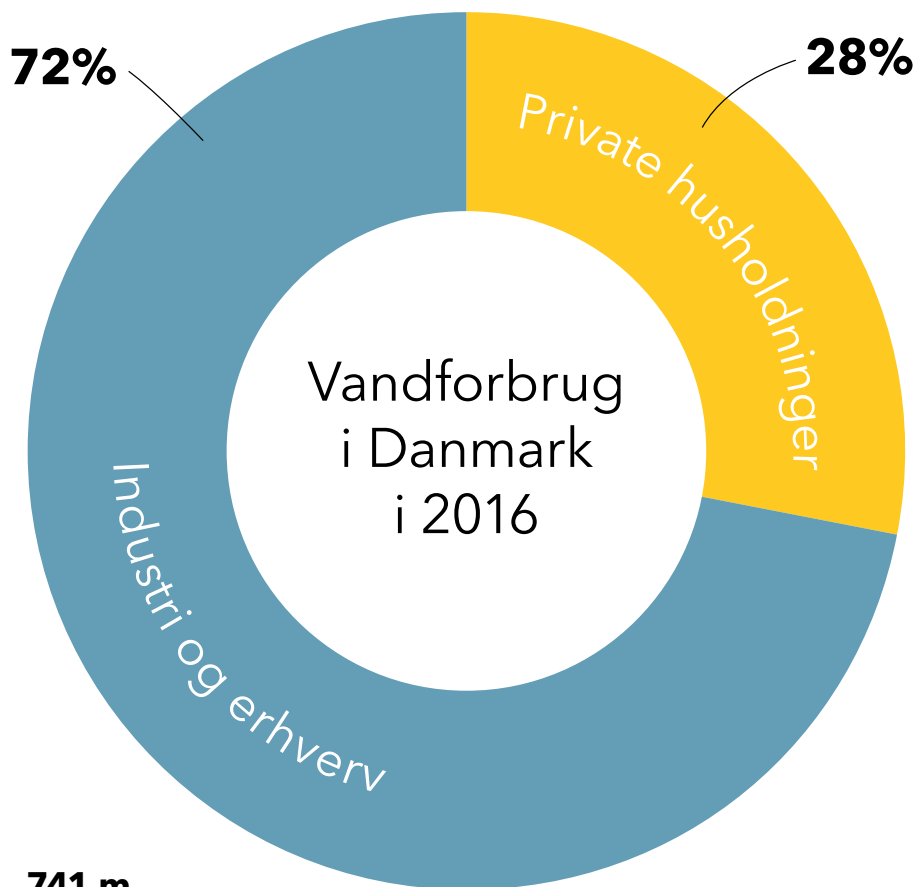
Det satte for alvor vandmiljø på dagsordenen, og dermed fulgte også fokus på vandforbruget. Det medførte, at der blev indført vandafgifter, krav om at opsætte vandmålere, opfundet sparevandhaner, lavet kampagner og meget mere.

Siden 1987 har danskernes gennemsnitlige vandforbrug derfor været støt faldende. Fra at bruge ca. 63.000 liter om året i 1986 bruger vi i dag gennemsnitligt ca. 38.000 liter årligt. Det er et fald på 40 %.

I 2016 udtalte den danske vand- og spildevandsforening DANVA, at nu kunne danskernes vandforbrug nok ikke blive mindre. Alligevel faldt forbruget det følgende år.

Den varme sommer i 2018 gør dog formentlig, at forbruget er steget en smule, men talene er ikke gjort op endnu.

Kilde: Vand i tal, 2018, DANVA



741 m



381 m



Det samlede vandforbrug i Danmark udgjorde i 2016

741

mio. m³ vand

Hvis alt det vand blev hældt i bokse med sider på 100 meter og stablet oven på hinanden, ville tårnet være næsten dobbelt så højt som Empire State Building i New York.

Kilde: Danmarks Statistik, Maj 2019



Klimaændringerne får grundvandet til at stige

Varmere luft kan indeholde mere vanddamp, og det giver mere regn. Det er det simple fysiske faktum, der gør, at verdens nedbørs- og vejrmønstre ændrer sig. Det betyder mere nedbør og mere grundvand i Danmark.

Vores klima er under forandring, og det kan allerede mærkes mange steder. Også i Danmark. Faktisk har ændringen stået på i nogen tid, nu begynder det bare at være ændringer, der er store nok til, at vi umiddelbart selv kan se og mærke dem. Siden man begyndte at måle nedbør i Danmark for omkring 150 år siden, er den årlige mængde regn, der falder over Danmark steget med ti centimeter. Det lyder ikke af alverden, men det er vel at mærke ti centimeter på hele landets areal. Det er helt enorme mængder vand, der skal være plads til i jorden og i vandløbene. Temperaturer-

tiel sammenhæng mellem luftens temperatur og den mængde vanddamp, den kan indeholde. Derfor vil selv små stigninger i temperaturen betyde relativt store ændringer i mængden af vanddamp, der kan stige op fra have og vandløb.

Nedbør og grundvand

Når atmosfæren indeholder mere vanddamp, indeholder den samtidig mere potentiel energi. Den energi skruer sandsynligvis op for intensiteten i de vejrfænomener, vi allerede kender, så regnbygerne og stormene bliver mere voldsomme. Det betyder selvfølgelig ikke, at alle regnbyger pludselig bliver til skybrud, men at der kan komme flere byger, end vi ser nu, og at nogle af dem bliver mere voldsomme. For eksempel regner forskerne med, at de ekstreme skybrud, man tidligere har set i gennemsnit én gang på 100 år, fremover vil komme til at ske én gang hvert 25. år i stedet for.

Omskiftelige årstider

Vejret i Danmark og det meste af Norden er imidlertid indrettet sådan, at langt

en. Om sommeren sørger planterne for at lede en del af vandet tilbage til luften via rødderne og bladene, når de vokser. Sammen med det vand, der fordampes direkte fra overfladen, kan det være en stor del af nedbøren, sommetider næsten det hele, hvis det er en varm sommerdag. Om vinteren vokser planterne ikke og overfladetemperaturen er lav, og derfor er det nu en meget lille del af nedbøren, der fordampes. En større del af vandet vil nu infiltrere undergrunden eller flyde oven på, når jorden når sit mætningspunkt, hvor alle porer er fyldt. Det er normalt ikke et problem med den øgede nedsivning i vintermånederne, da det netop er sådan størstedelen af vores

grundvand bliver dannet. På udsatte steder, hvor grundvandet står højt, vil de øgede regnmængder dog lede til flere og værre oversvømmelser, hvis ikke man laver effektiv klimasikring. Ifølge klimafremskrivninger fra DMI vil der i år 2100 falde mellem 3,1 og 18 procent mere nedbør om vinteren, end der gør i dag. Om sommeren vil der derimod falde mellem 0,5 og 16,6 procent mindre nedbør. Det er en stor usikkerhed, der viser, at der kan blive brug for enten meget store klimatilpasninger i nogle områder eller måske slet ingen. På næste side kan du se DMI's udregninger af, hvor meget temperatur og nedbør kan komme til at stige i Danmark og globalt frem mod 2100. 

” Det betyder selvfølgelig ikke, at alle regnbyger pludselig bliver til skybrud

ne stiger også, og ser lige nu ud til at blive ved med det i en eller anden grad. Derfor estimerer klimaforskerne, at nedbørsmængderne også fortsætter med at stige. Der er nemlig en eksponen-

det meste nedbør falder om vinteren. Det mønster ser ud til at blive endnu mere udtalt fremover. Mange steder er der dog allerede udfordringer med de øgede nedbørsmængder om vinter-

Klimamodellernes forudsigelser

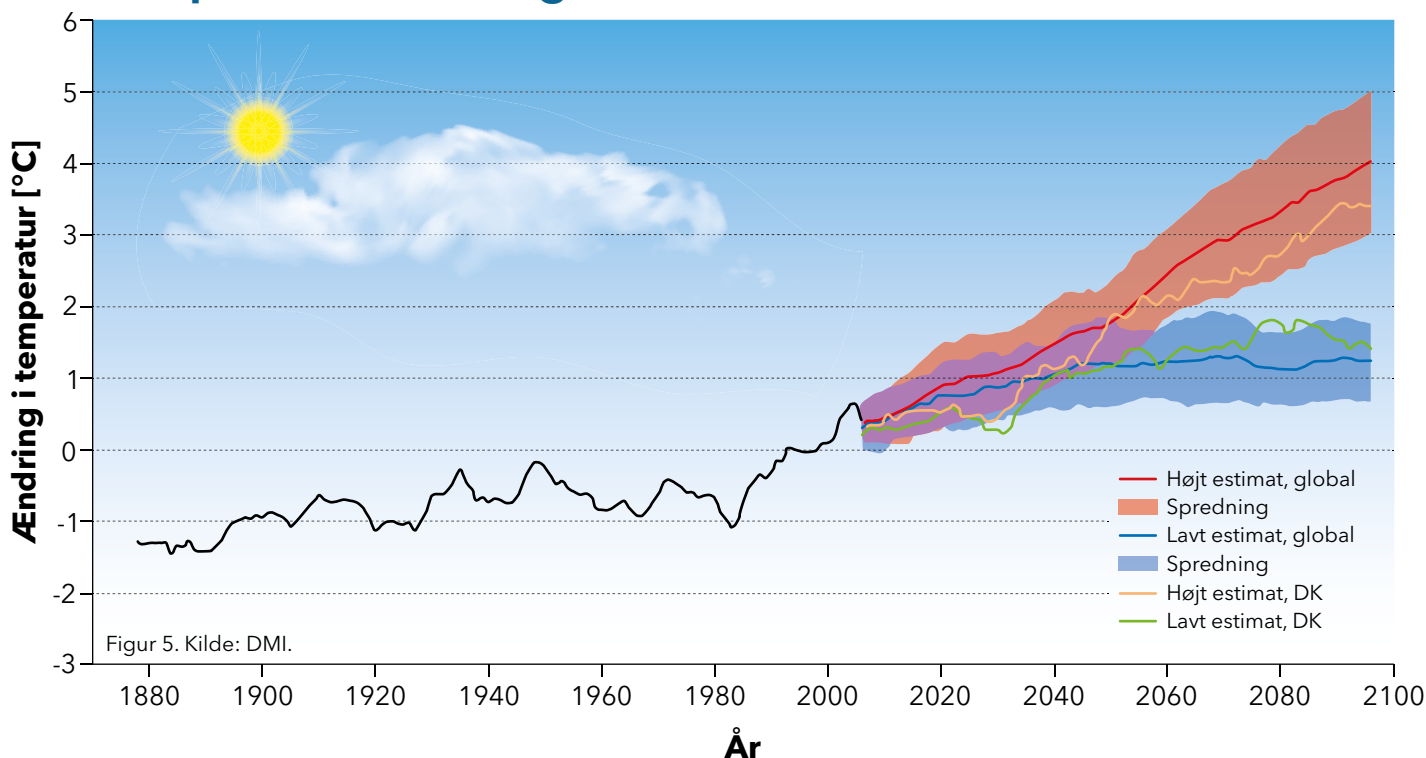
For at kunne tilpasse sig klimaforandringerne, må man forstå klimaforandringerne og allerhelst forudsige dem, før de sker. Ved hjælp af mange tusinde forskere fra hele verden og fra vidt forskellige forskningsgrene er der blevet skabt en række klimamodeller, der gør det muligt. Til en vis grad.

Der er selvsagt store usikkerheder involveret i at forudsige fremtiden, da myriader af små og store parametre spiller ind og én lille ændring et sted kan påvirke hele systemet enormt meget. Derfor arbejder forskerne ofte med flere klimamodeller på en gang, da der forekommer små og store variationer i deres forudsigelser. På den måde får man en slags gennemsnit, og altså en mere sikker ide om udviklingen, end hvis man kun så på én model.

⊕ Læs mere om klimamodeller på geoviden.dk/grundvandogklima

⊕ Læs mere om sæsonændringerne i nedbør på geoviden.dk/grundvandogklima

Temperaturudvikling 1874 - 2100



1

Det bliver varmere

Temperaturen på Jorden stiger, som grafen herover viser. Fra 1874 og frem til nu er middeltemperaturen i Danmark steget med ca. 1,5°C, som den sorte kurve viser, og stigningen fortsætter. Samfundets udledning af drivhusgasser som CO₂ bevirker, at en stigende del af Solens indstråling bliver i atmosfæren, og det får temperaturen til at stige. Den sorte kurve viser udviklingen i Danmark fra 1874 til 2005, og de farvede kurver er temperaturen i fremtiden ifølge fire forskellige klimascenarier.

2

Globale ændringer

Kurverne fra 2005 og frem til 2100 viser, hvor meget temperaturen sandsynligvis kommer til at stige i hhv. Danmark og på globalt plan. Den røde kurve viser den globale udvikling, hvis vi fortsætter med samme udledning af drivhusgasser, som vi har nu. Den blå viser et scenarie, hvor udslippet peaket i 2020 for derefter at falde drastisk. De skraverede felter bag begge kurver er spredningen på modellernes forudsigelser. Fortsætter udledningen af drivhusgas (rød) vil middeltemperaturen stige mellem ca. 3 og 5°C globalt. Scenariet med en faldende udledning (blå) forudsiger en stigning på mellem ca. 0,6 og 1,7°C.

3

Danske forhold

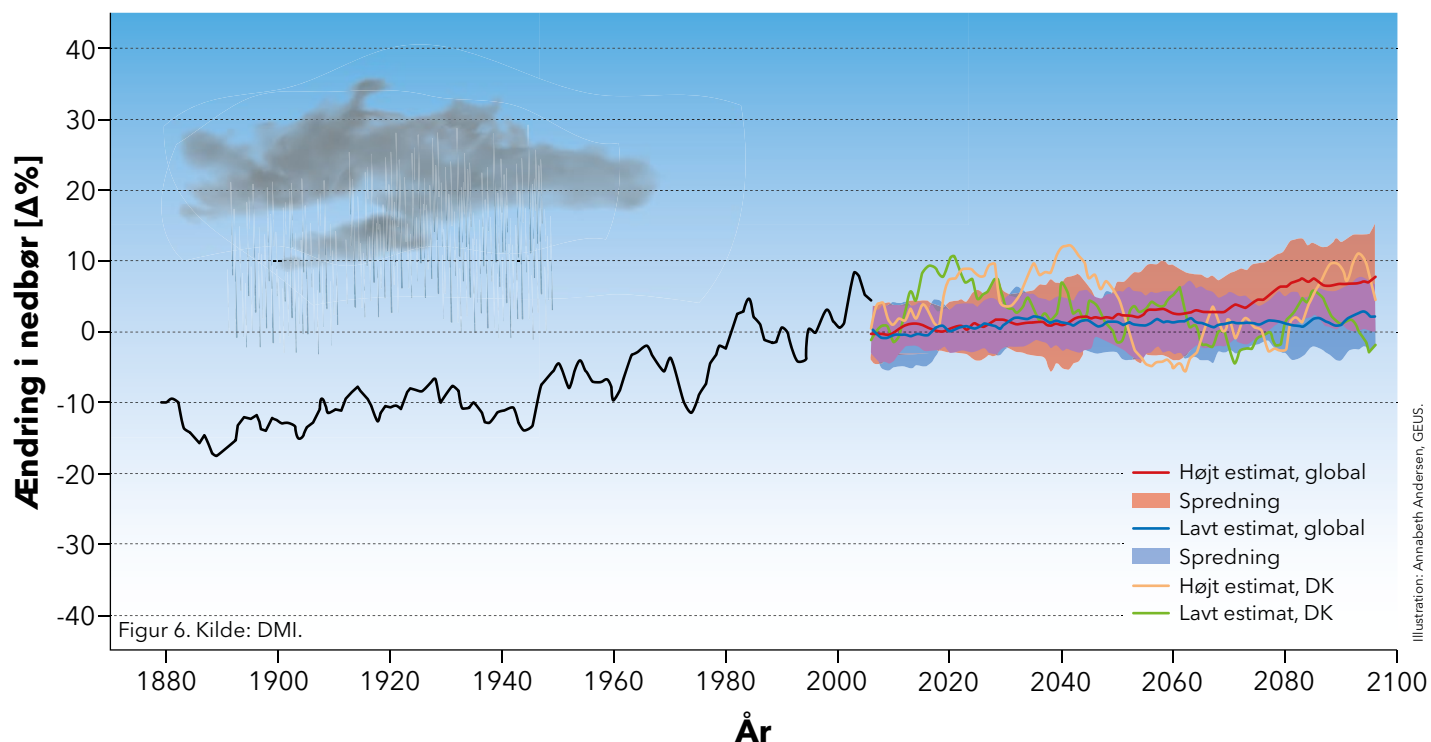
Den orange og grønne kurve viser et estimat for, hvordan temperaturen sandsynligvis vil stige i Danmark frem til år 2100. Modsat de røde og blå estimater, som er et gennemsnit af ca. 40 forskellige klimamodeller, er de danske baseret på en enkelt, der tager udgangspunkt i nordeuropæiske klimamønstre og forhold. Derfor er der ingen spredning på, men til gengæld kan man få udsvingene fra år til år med.

4

Dansk estimat for 2100

Ifølge det danske estimat, hvor drivhusgasudledningen fortsætter uændret (orange), vil temperaturen i Danmark være steget med omkring 3,5°C i 2100 i forhold til en gennemsnitlig middeltemperatur i årene 1986-2005. Det optimistiske scenarie (grøn) forudsiger en stigning i middeltemperatur på omkring 1,2°C.

Nedbørsudvikling 1874 - 2100



1

Danmark er blevet vådere

Varm luft kan indeholde mere vanddamp, og bl.a. derfor forventes nedbøren at stige i takt med temperaturen. Den sorte kurve ovenfor viser den procentvise ændring i årlig middelnedbør i Danmark målt fra 1874 til 2005. Derfra ses de globale (rød og blå) og danske (orange og grøn) fremskrivninger af udviklingen frem mod år 2100. Siden målingerne begyndte omkring 1870 er den årlige gennemsnitsnedbør i Danmark steget med omkring 100 mm eller 10 cm. I dag modtager Danmark årligt omkring 792 mm i gennemsnit.

3

Nedbørsændringen i Danmark

Den danske fremskrivning er lavet ligesom temperaturfremskrivningen ved at tage udgangspunkt i én regional klimamodel i stedet for en samling af mange forskellige. På den måde kan man få de naturlige udsving med. Det pessimistiske estimat (orange) forudsiger, at Danmark i år 2100 vil modtage omkring 5 % mere nedbør end gennemsnittet for 1986-2005. Ifølge det optimistiske scenarie (grøn) vil der i 2100 være sket et fald på omkring 2 %.

2

Mere regn forude

Ligesom med fremskrivningen for temperaturudvikling har klimaforskere fra DMI udregnet fire scenarier for udviklingen i nedbør frem mod 2100. Den globale tendens ses som hhv. den røde og blå kurve med tilhørende spredningsfelter, der viser usikkerheden. Ligesom ved temperaturen viser den røde fremskrivning det scenarie, hvor udledningen af drivhusgasser fortsætter som i dag. Her vil den årlige middelnedbør stige med mellem 0 og 16 %. Det optimistiske scenarie, der forudsætter peak i udledningen i 2020 og efterfølgende hurtigt fald, er omkring -3 til +7 %.

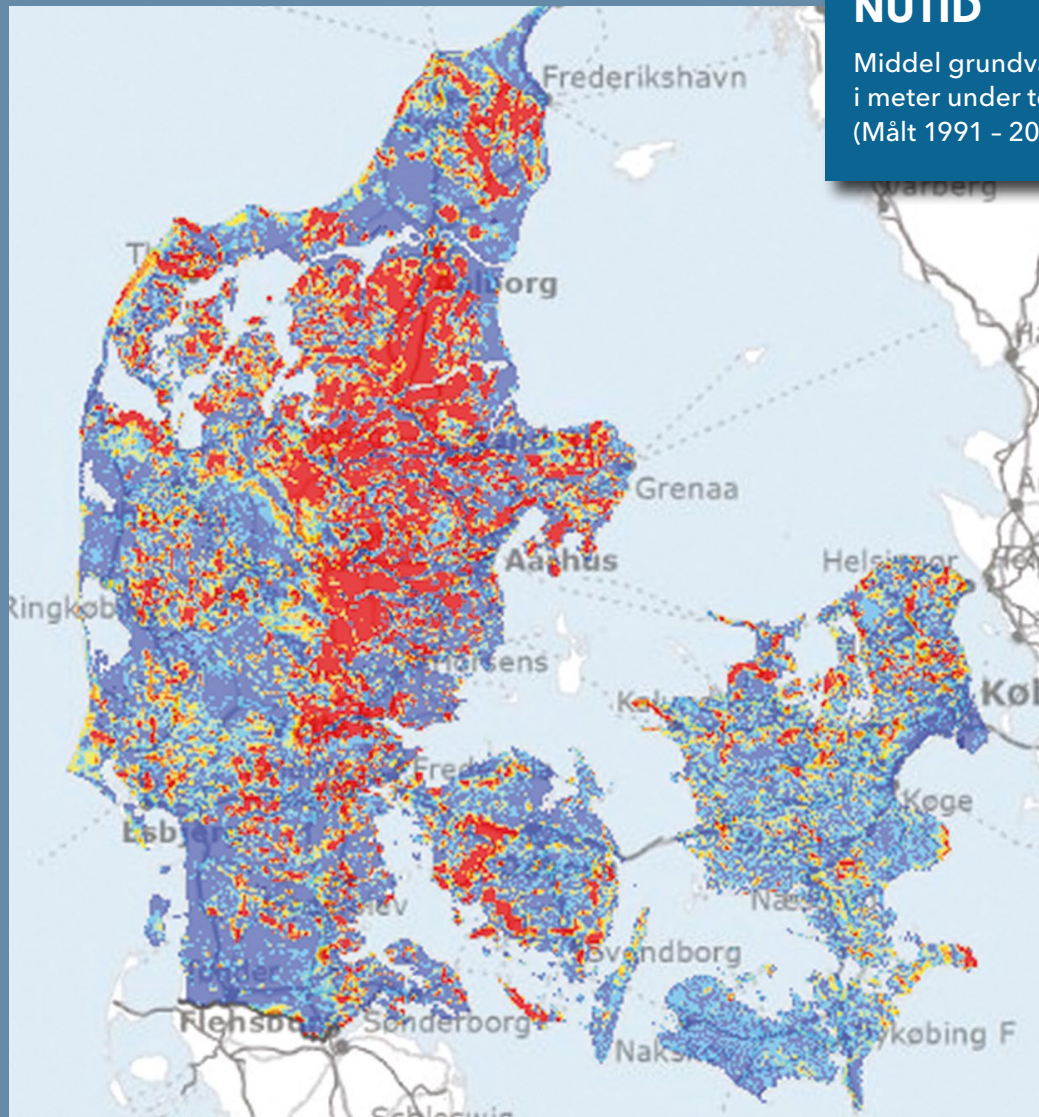
4

Ulige fordeling

Danmark ligger faktisk omkring en skillelinje, hvor der mod nord vil komme mere nedbør i fremtiden, mens der mod syd ser ud til at komme mindre. Nedbørsændringerne fordeles nemlig forskelligt over hele Jorden, og derfor vil nogle områder blive mere tørre, mens Danmark bliver vådere. Ligeledes stiger temperaturen ikke lige hurtigt over hele kloden, nogle steder går det hurtigere end andre.

NUTID

Middel grundvandsstand
i meter under terræn
(Målt 1991 - 2010)



Figur 7: De blå farver indikerer steder, hvor afstanden fra jordoverflade til grundvandsspejl er lille, så her ligger grundvandet tæt på terrænet. Røde farver viser, at der er langt ned til grundvandsspejlet. Især Øst- og Nordjylland og det sydvestlige Fyn er præget af dybtliggende grundvand. I Store dele af Sjælland er der dog højest et par meter ned til grundvandet.

Kilde: Klimatilpasning.dk.

Hvor står dit grundvand om 30 år?

Når det regner mere, dannes der mere grundvand, og derfor stiger grundvandsspejlet. På et interaktivt grundvandskort kan du selv se hvor og hvor meget.

Hvor meget grundvand, der dannes i et område, afhænger af mængden af nedbør minus fordampning, overfladisk afstrømning og oppumpning. Det kaldes

også nettonedbør. På side 14-17 kan man læse, at nedbørsmængderne i Danmark kommer til at stige, og ved at koble den viden med de tilgængelige data om grundvandsbalancen i Danmark kan man få et bud på, hvordan udviklingen i nedbør påvirker grundvandsstanden fremover. Derfor har det tidligere Klima- og Energiministerium og nu Miljøstyrelsen fået lavet et interaktivt grundvandskort, der viser netop det. Her er det muligt at se, hvor højt grundvandet i gennemsnit vil stå

i Danmark i år 2050 sammenlignet med, hvor højt det står i dag. Herover kan du se to eksempler fra kortet på grundvandsstanden i dag (Figur 7) og et estimat for ændringen frem mod 2050 (Figur 8). Kortet bygger på et klimascenarie, kaldet A1B, hvor man frem mod år 2050 skal skifte til en energiforsyning, der er spredt jævnt ud over mange kilder og altså ikke længere har fokus på fossilt brændsel. Ligesom estimerne for nedbør og temperatur på side 16-17 bygger grundvandsestimaterne på flere forskellige klimamodeller. På den måde får man det bedst mulige billede af sandheden. For nemheds skyld er resultatet delt op i tre, så man ikke ser alle modellernes spredning på én gang.

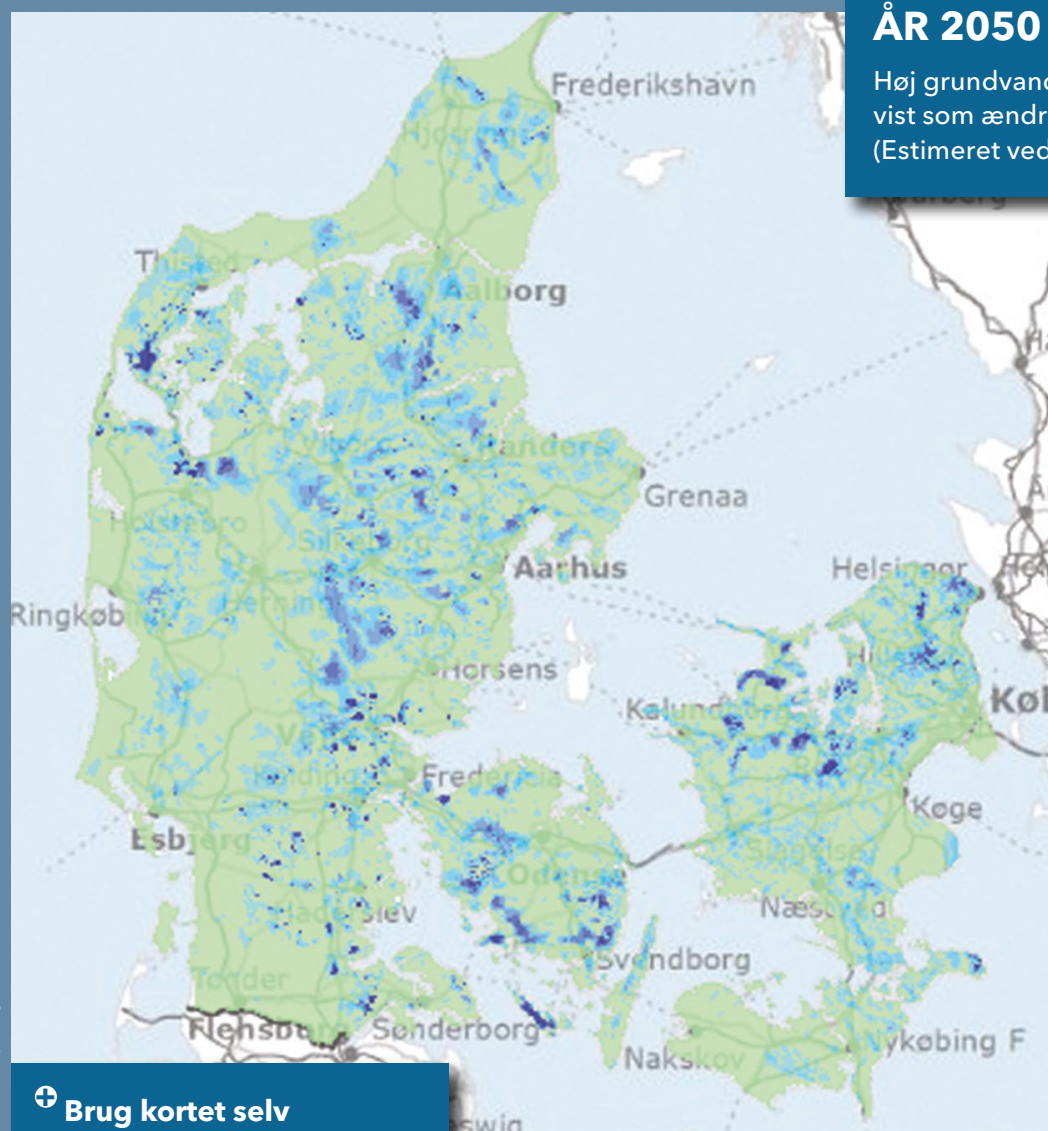
Man kan altså vælge at se grundvandsstanden givet ved:

1. Den del af estimatet, der viser den største stigning i nedbør frem mod 2050 (våd model).

2. Den del af estimatet, der

ÅR 2050

Høj grundvandstand i 2050
vist som ændring i meter
(Estimeret ved våd klimamodel)



Figur 8: Stigningen i den gennemsnitlige grundvandstand i 2050 i forhold til det nuværende niveau. Estimatet bygger på det såkaldte våde klimascenarie, som ligger i den høje ende af de samlede klimamodellers forudsigelser. Jo mere blå farve, des mere stiger grundvandspejlet, så ifølge denne beregning vil grundvandstanden faktisk stige i hele landet.

Brug kortet selv

Det interaktive kort viser hvor højt eller lavt grundvandet står i dit område, og hvordan det måske vil se ud i år 2050.

Læs mere på
geoviden.dk/grundvandogklima

viser en middel stigning i nedbør frem mod 2050 (median model).

3. Den del af estimatet, der viser den mindste stigning i nedbør frem mod 2050 (tør model).

Derudover kan man se den grundvandstand, der var middel for perioden 1991 til 2010, som skal fungere som nutiden.

Grundvand over terræn

Nogle steder, hvor grundvandet allerede ligger højt,

vil grundvandet lejlighedsvis eller permanent bevæge sig op over terrænniveau med de stigende nedbørsmængder. Eksempelvis kan man klikke på området lige nord for Rudkøbing på Langeland og se, at her vil middelgrundvandsstanden sandsynligvis være steget med 2-3 meter i 2050, hvis man tager udgangspunkt i en median klimamodel. Lige nu ligger grundvandet omkring 2 meter nede, så der kan der måske være brug for klimasikring i form af dræn, plantning af skov med mere,

så der ikke kommer oversvømmelser. Andre steder, hvor grundvandet ligger dybt nede, vil man ikke mærke nogen særlig ændring. På naboøen Ærø ligger grundvandet for eksempel cirka 18 meter nede, og her forudsiger modellen, at der ved det våde klimascenarie vil ske en 5 meters stigning. Her vil der altså stadig være omkring 13 meter fra jordoverfladen ned til grundvandsspejlet.

Beregningerne bygger på den såkaldte DK-model, der modellerer ferskvandskreds-

løbet i hele Danmark i felter på 500 x 500 meter. Du kan læse mere om modellen på side 28. Grundvandskortet er lavet med data fra GEUS og med støtte fra Koordineringsenheden for Forskning i Klimatilpasning (KFT). Der er en række usikkerheder forbundet med alle estimerne, så kortet kan altså ikke bruges som eneste basis for beslutninger om for eksempel klimasikring af kælderen. Læs mere om det på klimatilpasning.dk



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.



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 sy-

stemet 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



Navn
Rune Kraghede

Stilling
Videnskabelig assistent
fra Aarhus Universitets
Hydrogeofysiske Grup-
pe (HGG)

Uddannelse
Kandidat i Geoscience,
Aarhus Universitet

Arbejde
At kortlægge de øver-
ste jordlag, så forstå-
elsen af blandt andet
terrænnært grundvand
kan blive bedre

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."

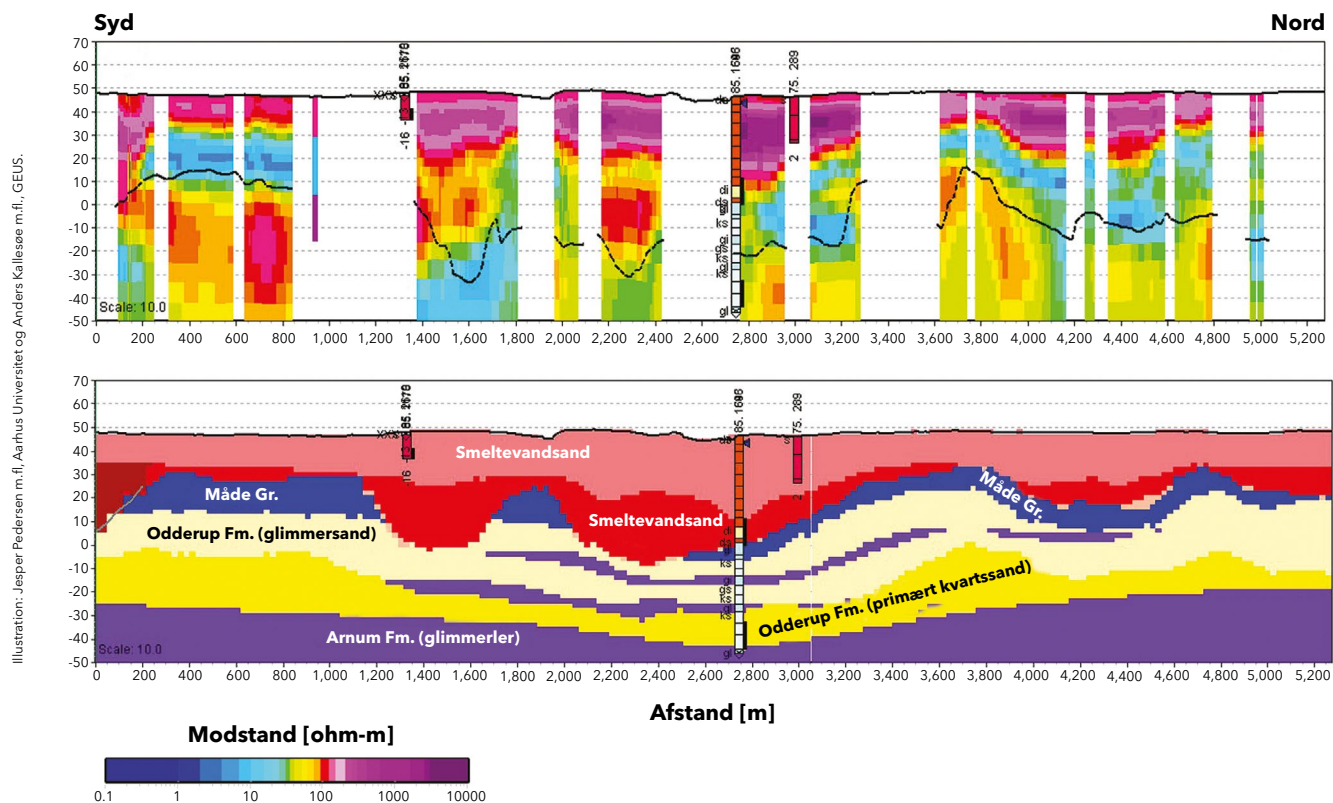
tTEM giver et meget præcist billede af de øverste omtrent 100 meter af jorden, og det er netop de lag, der har betyd-

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.





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 borer 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 detaljegrade. 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 forbi-flyvende 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 hættens 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. 9

fTEM-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 grundvandspejlet 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.

Sunds nord for Herning er det populære 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 over-

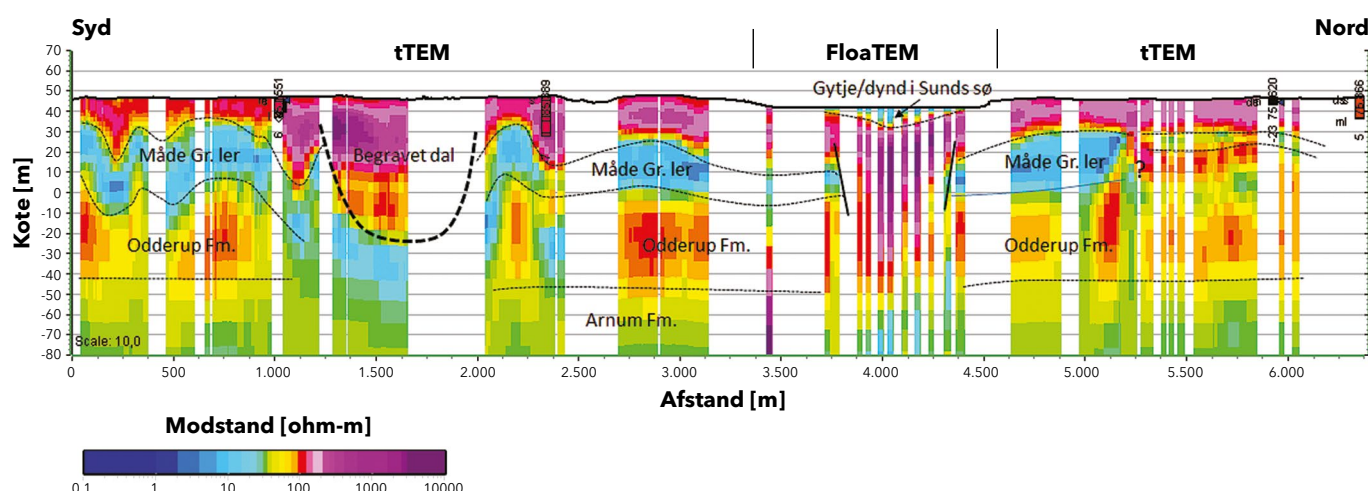
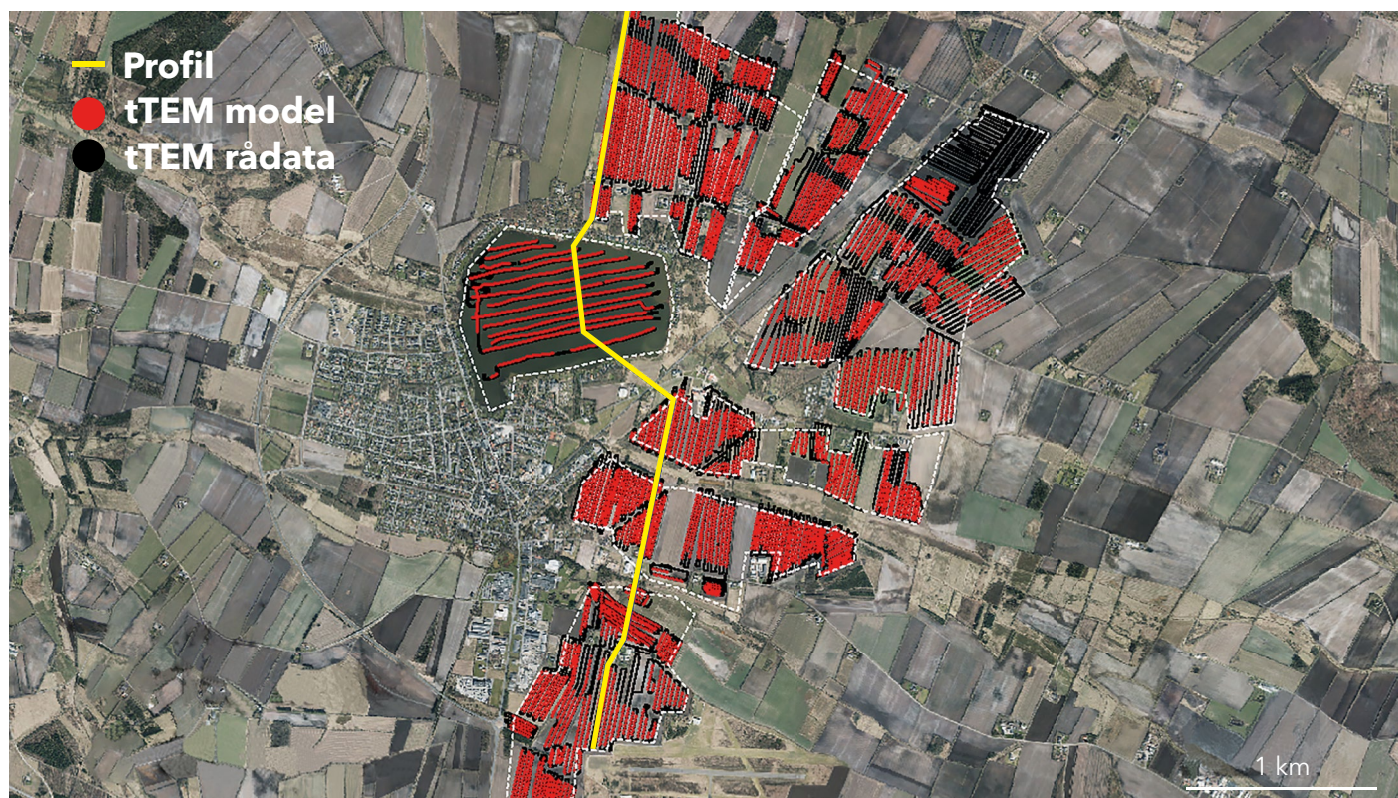
svømmelser fra både sø og grundvand. Dertil kommer, at kloakrørene under og omkring den midtjyske by er utætte og skal skiftes. Modsat hvad man måske skulle tro, kan det komme til at betyde endnu værre oversvømmelser rundt om i Sunds, da de hidtil utætte rør har virket som dræn for grundvandet. Helt op mod 800.000 m³ 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 danmarkrekorden 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.



Figur 10: Herover ses resultaterne fra den geofysiske TEM-måling fra Sunds. Figuren forestiller et cirka 6,5 km langt tværsnit 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. 



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.

23-årig model holder styr på Danmarks vand

Bæredygtig udnyttelse af grundvand kræver viden, og den viden er efterhånden blevet samlet til én stor model, der også kan varsle oversvømmelser og meget andet.

Vand følger tyngdekraften og trykforskelle og er på alle måder en dynamisk størrelse. Vi kan ganske vist se, hvilken vej vandet flyder i en å, men det er straks værre, hvilken vej det flyder under jorden. Eller hvor meget vand, der er tilbage i et grundvandsmagasin. Derfor er det godt, at der findes en model, der kan netop det. En billedskøn model, der er blevet perfektioneret og udbygget igen og igen siden 1996 - Den Nationale Vandressource Model, eller bare 'DK-modellen' blandt fagfolk. Da alle græsplæner var visne i den ekstremt tørre sommer i 2018, da var det eksempelvis DK-modellen, der kunne fortælle, hvor meget vand der kunne udnyttes uden at tørlægge de danske vandløb og søer totalt.

"DK-modellen er lidt populært sagt et meget stort regneark, der kan koble data om vandets kredsløb i atmosfære, overfladevand og grundvand og give estimater på vandbalancen i et givet scenarie," fortæller Lars Trolborg, specialkonsulent i hydrologi hos De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS). Han er projektleder for DK-modellen og arbej-

der med at holde den ved lige og udføre opgaver for myndigheder, organisationer med flere.

"Hvis et vandværk beslutter at lukke en stor drikkevandsboring, fordi den eksempelvis er forurennet, kan det føre til vand i kældrene hos folk i hele oplandet, fordi grundvandet i området ikke længere pumpes op. Derfor er det vigtigt at vide, hvordan vandkredsløbet hænger sammen, så man kan forudsæ, hvordan en ændring i den ene ende kan have indflydelse på resten af systemet," forklarer han.

Derudover er man også mere sikker på at ramme rigtigt, når der for eksempel laves ny lovgivning om, hvordan vi bedst passer på vandressourcen og vandmiljøerne samtidig med, at vi ruster os mod klimaforandringerne.

Stor og lille skala

Arbejdet med DK-modellen startede i 1996 og i starten var der tale om mange små delmodeller, der tilsammen gav ét stort Danmarkskort. I dag er Lars Trolborg og kollegerne nede på at arbejde med syv delmodeller eller detailmodeller. Forskerne arbejder på den helt lange bane på at få én stor model for hele landet, men derfor beholder de stadig de små, forklarer han. Det er nemlig langt fra altid, man har brug for hele landets vandkredsløb. Hvis det gælder den lukkede drikkevandsboring fra før, vil det for eksempel kun være nødvendigt at regne modellen for det område, der hører med til oplandet for det pågælden-

de grundvandsmagasin. Her behøver man altså ikke spille computerkraft og tid på at køre data for hele resten af landet. Andre opgaver kan kræve andre udsnit, alt afhængigt af, hvad man vil regne på. Ligegyldigt om udsnittet af Danmark er stort eller lille, så er essensen netop, at modellen kan trække på de samme data, forklarer Lars Trolborg.

"Vandets strømning stopper ikke ved kommunegrænsen, det skal ses som en sammenhængende ting. Derfor er det vigtigt at have én beregningsmodel, som alle er enige om," siger han.

Modellen bliver aldrig færdig

En model er aldrig bedre, end de data, du propper i den, og en model af hele Danmarks vandkredsløb kræver selvsagt en del data. DK-modellen har derfor en virtuel snabel nede i en hel række databaser og andre modeller, som hver især bidrager med viden, der skal bruges for at lægge hele puslespillet. Nogle informationer ændrer sig ikke rigtig, når først man har målt dem, og behøver ikke at blive opdateret så tit. Det gælder for eksempel topografiske kort og boringsdata. En lang række data kan derimod ændre sig mere over tid, og derfor skal DK-modellen holdes ajour med de nyeste af slagsen. Det gælder for eksempel modeller for udbredelsen af de forskellige geologiske lag i undergrunden plus drænsystemer og de forskellige arealanvendelser. Endelig skal modellen også fodres med meget dynamiske data som nedbør,



Navn

Lars Trolborg

Stilling

Specialkonsulent i hydrologi, GEUS

Uddannelse

Civilingeniør fra DTU

Arbejde

At optimere, vedligeholde og anvende Den Nationale Vandressource Model

temperatur, fordampning og indvinding af grundvand.

"Hver gang du skal lave en ny udregning af et scenarie, skal du først kalibrere modellen, det vil sige afstemme den med det, du vil måle. Blandt andet skal man tjekke, om de tidligere fastsatte værdier stadig passer med dem, der kan måles ude i virkeligheden," forklarer han.

Hver gang der kommer en ny klimarapport fra det Internationale Klimapanel, er det for eksempel tid til at opdatere modellens klimascenarier. "Ved hjælp af de forskellige klimamodeller kan vi lave scenarier for, hvordan vandbalancen ser ud i Danmark i fremtiden," fortæller Lars Trolborg.

Netop de udregninger ligger til grund for det interaktive grundvandskort, du kan læse om på side 18-19. **9**

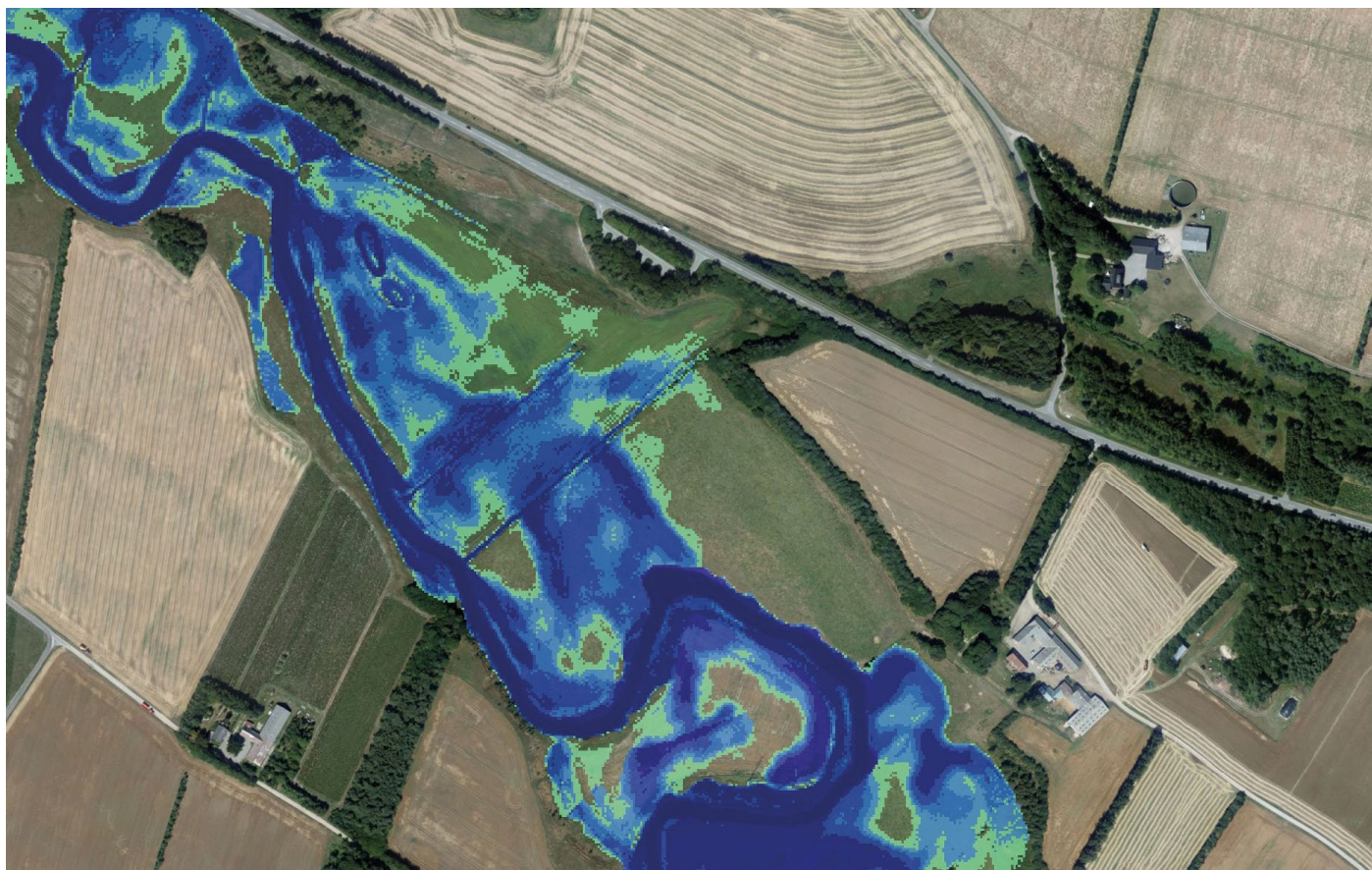


Illustration: COWI.

Figur 11: Modellering af en oversvømmelse ved Storå langs Hodsagervej i Vestjylland lagt sammen med et luftfoto fra samme sted. Stederne med den mørkeste blå farve er vand på mellem en halv og en hel meters dybde. Grønne farver viser områder, hvor vandet står lige under eller i niveau med terrænet. Her er jorden altså næsten eller helt mættet.

Varsling af oversvømmelser

Fremtidens klima bliver mere ekstremt, og det betyder blandt andet risiko for flere skybrud, der medfører oversvømmelser. Derfor samarbejder holdet bag DK-modellen ved GEUS lige nu med Styrelsen for Dataforsyning og Effektivisering (SDFE) og COWI på at udbygge modellen til mere præcist at kunne forudsige vandbalancen i den øverste undergrund og over jorden. For at kunne det har forskerne blandt andet koblet en ny model for vands bevægelser på terræn sammen med DK-modellens data om topografi med mere.

Den udbyggede model er indtil videre blevet testet på to områder, der er udpeget af EU som særlige risikoområder for oversvømmelser, nemlig området omkring Odense Å på Fyn og Storå i Vestjylland. En af modelleringerne kan ses på Figur 11 herover. Ved at bruge ægte, historisk målte oversvømmelser som facit, testede forskerne, om de kunne få modellen til at forudsige den samme oversvømmelse, hvis man fodrede den med de data, blandt andet for nedbør

og klima, som blev målt ved den rigtige oversvømmelse. Hvis modellens oversvømmelse lignede den rigtige, vil det sige, at man formentlig vil kunne regne den anden vej og forudsige oversvømmelser meget præcist, hvis man fodrer

” Vandbalancen skal ses som en sammenhængende ting

modellen med de rigtige data i de rigtige tidsrammer. Testen viste, at modellens forudsigelser lignede de rigtige oversvømmelser, så nu arbejdes der på højtryk på at gøre metoden landsdækkende.

✚ Læs hele rapporten på geoviden.dk/grundvandogklima

DK-modellen anvendt

Klimatilpasning truede med at oversvømme ny motorvej

Store lokale regnvandsbassiner lød som en god ide til at sikre sig mod klimaforandringerne i Silkeborg, indtil DK-modellen viste, at det ville oversvømme den nye motorvej.

I september 2016 blev sidste strækning af den nye Silkeborgmotorvej åbnet med royalt snoreklip og en fest, der fik navnet 'Danmarks største vejfest'. Hvad mange af de fremmødte måske ikke vidste var, at vejen forinden havde været omdrejningspunkt for lidt af et geoteknisk grundvandsdrama. En del af motorvejen går gennem Silkeborg by og er derfor gravet op til 16 meter ned, hvilket på en enkelt strækning er nok til at placere tunnelen under grundvandsspejlet. Da en motorvej typisk bygges til at holde i 100 år, skulle man indregne det fremtidige klimas betydning. Der vil være mere nedbør, end vi har i dag, og derfor vil grundvandsspejlet formentlig komme til at stå højere. Da det er væsentligt dyrere at bygge vandtætte og vandsikrede motorvejtunneller, bad Vejdirektoratet Hydrologisk Afdeling ved De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland (GEUS) om hjælp. Vejdirektoratet ville vide, hvor meget af vejen, det var nødvendigt at sikre til grundvandstilstandene omkring år 2100. Opgaven

blev ledet af specialkonsulent Lars Trolborg, der arbejder med estimater af vandbalancen i forskellige fremtids- og nutidsscenerier ved hjælp af den såkaldte DK-model (se side 28-29).

"Vores beregninger viste, at grundvandet ved motorvejen i Silkeborg i 2100 vil være steget omkring 15 centimeter, hvilket var noget mindre end forventet," fortæller han.

Uheldig klimasikring

Så skulle man tro, at alt var godt, og det var det tilsyneladende også. Motorvejsprojektet gik i gang og Lars Trolborg og kollegerne fulgte med på sidelinjen for at måle, om beregningerne fra modellen rent faktisk passede med de geologiske forhold, der blev gravet frem stykke for stykke. Lars Trolborg fortæller, at han en dag havde et møde med folk fra Silkeborg Forsyning og Silkeborg Kommune om deres planer for, hvordan de ville sikre mod den øgede nedbørsmængde. Han fik at vide, at kommunen og forsyningen blandt andet ville satse på klimatilpasning med lokal afledning af regnvand (LAR) fra tage og befæstede arealer. Det er en metode, hvor man i stedet for at lede vandet ned i kloakken og væk fra området fører det ned i jorden på stedet. Blandt andet via folks plæner. På den måde danner regnvandet nyt grundvand i stedet for bare at blive ført væk, hvilket samtidig aflaster kloaksystemet. Udover LAR ville man lave

store infiltrationsbassiner, hvor regnvand fra et større område ledes hen til en kunstig lavning, hvorfra det langsomt kan sive ned i jorden.

"Det gik vi så hjem og lavede nogle beregninger på. Det viste sig, at tiltaget ville få grundvandsspejlet omkring den nye motorvej til at stige fem til ti gange mere nu, end klimændringerne selv ville have gjort i 2100," fortæller Lars Trolborg. (Se Figur 12).

De to løsninger mod oversvømmelser fra regnskyl andre steder i kommunen kunne altså ende med at skabe store problemer for motorvejen. For ikke at nævne de omkringliggende kældre. Og ikke om 80 år, men så snart, de blev implementeret.

Geologien skal tænkes med

Forløbet er et godt eksempel på et typisk problem inden for vandregulering, hvor man ikke altid får taget tiltrækkelig højde for områdets geologi, fortæller Lars Trolborg. Derfor kan et tiltag ét sted få uheldige følger et andet.

"Grundvandsdannelsen sker stort set kun i selve byområdet i Silkeborg. Når en stor del af det areal pludselig kobles fra kloaksystemet og i stedet bliver infiltreret lokalt ved enten LAR eller bassiner, så øges grundvandsdannelsen relativt kraftigt, når det regner," forklarer han.



Da der ser ud til at komme mere nedbør, især i Vest- og Midtjylland, ville problemet kun blive værre med tiden. Forskernes beregninger viste, som man kan se på grafen på Figur 12, at grundvandsspejlet ville stige næsten op til halvanden meter over niveauet i dag. Andre steder i landet, hvor der ikke er lige så meget grundvandsdannelse under de bebyggede områder, vil omlægning til LAR og infiltrationsbassiner kun øge grundvandsdannelsen og dermed grundvandsspejlet i begrænset omfang.

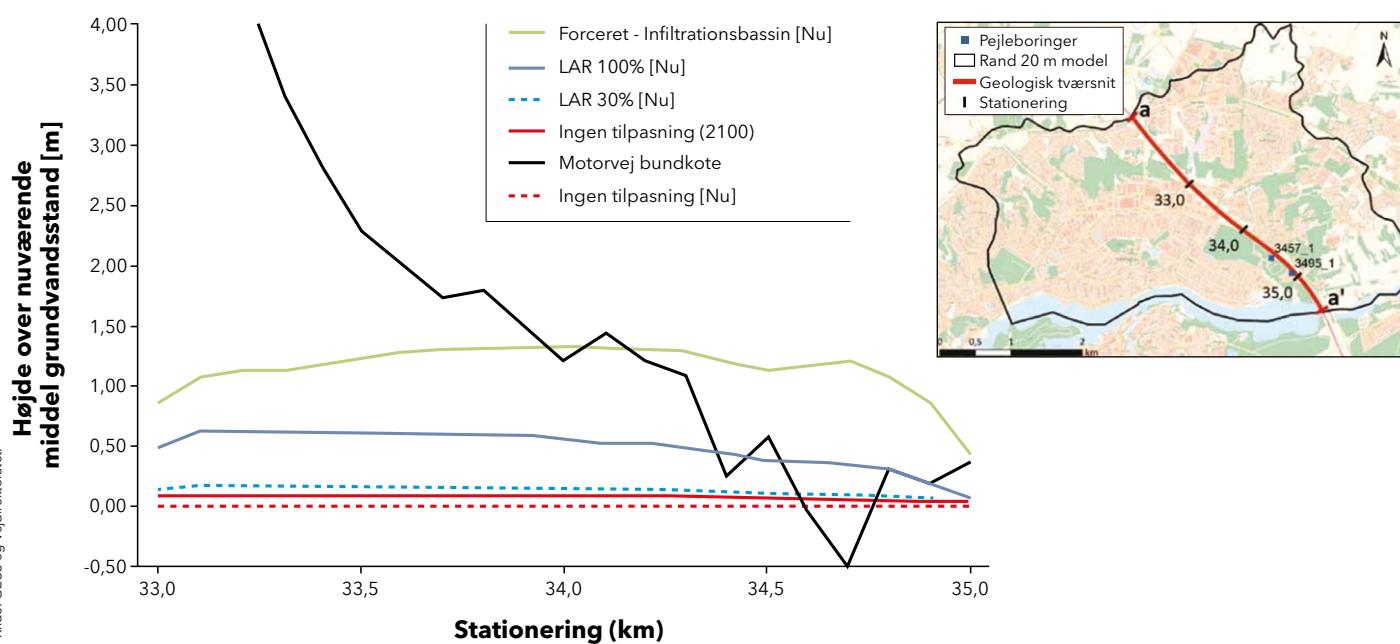
Motorvejen er fortsat tør

Motorvejen og kældrene i Silkeborg kan dog vide sig sikre, da der efter forskernes udregning blev indbygget flere store afløbsdræn langs vejen. Selvom grundvandet stiger omkring vejen, vil det derfor bare blive ledt videre, blandt andet ud i Silkeborgsøerne. Det fortæller projektleder for opførslen af vejen, Mike Boesen fra Vejdirektoratet.

"Estimatet på effekten fra LAR og regnvandsbassiner er en af de vigtigste ting, der er kommet ud af motorvejsprojektet, og denne effekt bør der tages hensyn til ved andre store byggerier." 



Foto: Vejdirektoratet.



Kilde: GEUS og Vejdirektoratet.

Figur 12: Grafen viser grundvandsændringen langs motorvejsstrækningen gennem Silkeborg, som svarer til den røde markering på kortet til højre. Udover selve motorvejens forløb nedeftes vises ændringen i grundvandsstand ved hhv. ingen klimatilpasning og klimatilpasning ved 30 % og fuld implementering. Hvis kommunen vedtager, at der skal være 30 % LAR i området (lokal afledning af regnvand), vil det få grundvandspejlet til at stige med omkring 10-20 cm. Hvis LAR implementeres med 100 %, vil grundvandet stige op til 60 cm. Den største effekt er fra infiltrationsbassinene, som kan betyde en stigning på omkring 1,30 m. Hvis ikke man laver nogen tilpasning til regnvandet, og altså kun udsættes for selve klimaforandringernes effekt, vil grundvandet stige med omkring de 15 cm i 2100. Øverst ses et luftfoto af motorvejen, hvor de nedgravede dele af motorvejen kan anes øverst i billedet.

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 Geoviden-skab 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



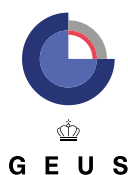
Kilde: Shutterstock



NÆSTE NUMMER

Efterårsudgaven af Geoviden handler om Indlandsisen i Grønland, der ved total afsmeltning 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



• **Institut for Geoviden-skab 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 Aarhus C
• Tlf: 89 42 94 00
• E-mail: geologi@au.dk

