

Klimaændringer

- påvirkning af grundvand og vandløb

Af seniorforsker Torben O. Sonnenborg og forsker Britt S.B. Christensen, GEUS, samt ph.d.-studerende Lieke van Roosmalen, Geografisk og Geologisk Institut, Københavns Universitet

Meget tyder på, at vejrforholdene i fremtiden vil adskille sig fra dem, vi kender i dag. Disse ændringer i klimaet vil påvirke det hydrologiske kredsløb på en række punkter. Modelberegninger foretaget med en hydrologisk storskalamodel viser, at klimaændringer kan resultere i markante effekter for grundvand og vandløb, men at geologiske forhold vil være styrende for, hvordan klimaændringerne manifesterer sig på det hydrologiske kredsløb.

Klimamodelberegninger har vist, at stigende emissioner af drivhusgasser, primært CO₂, vil påvirke det fremtidige klima på jorden (IPCC, 2000).

Klimaændringer i Danmark

I Danmark forventes det, at klimaændringerne vil resultere i stigende temperaturer, øget vinternedbør og faldende sommernedbør, flere episoder med kraftig nedbør og længere perioder uden nedbør, samt stigende havvandsniveau. Af hensyn til planlægning af fremtidig arealanvendelse, fx placering af bymæssig bebyggelse, vurdering af områder med god landbrugsmæssig værdi eller analyse af den fremtidige tilgængelige vandressource til vandindvinding, er det vigtigt at kunne analysere, hvilke effekter klimaændringerne har på det hydrologiske system i Danmark.

I nærværende undersøgelse er det valgt at anvende den nationale vandressource-model, også benævnt DK-modellen, til at eksemplificere, hvordan klimaændringerne vil påvirke det hydrologiske kredsløb. Ved at kombinere klimatiske inputdata genereret vha. DMI's klimamodel HIRHAM med DK-modellen er det muligt at simulere, hvilke effekter det fremtidige klima vil have på grundvand og vandløbsafstrømning i Danmark. Kun de kvantitative aspekter ved klimaændringerne vil blive behandlet i det følgende. I Roosmalen et al. (2007) kan en



Vandlidende arealer i Skjern Å-systemet – måske fremtiden for mange ådale og lavtliggende områder? (Foto: Lieke van Roosmalen)

mere detaljeret beskrivelse af metoder og resultater findes.

Metode

Det blev valgt at arbejde med to klimascenarier: A2 og B2.

I A2-scenariet stiger den atmosfæriske CO₂-koncentration fra en værdi på ca. 350 ppm i år 2000 til 850 ppm i år 2100 (IPCC, 2001). Dette scenarium er karakteriseret ved en høj befolkningsvækst, regional udvikling af økonomien, højt energiforbrug, middel til kraftige ændringer i arealanvendelse, lav ressource-tilgængelighed og langsom introduktion af nye og effektive teknologier (IPCC, 2000).

I B2-scenariet når den atmosfæriske CO₂-koncentration 600 ppm i år 2100. I B2-scenariet vokser befolkningstallet stødt, men med en lavere rate end i A2. B2 er ellers karakteriseret ved middelniveau for økonomisk udvikling, moderat energiforbrug, moderate ændringer i arealanvendelse og en hurtigere og mere forskelligartet teknologisk udvikling end i A2-scenariet. A2 kan med andre ord betragtes som et ret kraftigt scenarium, mens B2 er udtryk for en mere moderat udvikling i CO₂-emissionen. For

perioden 2071-2100 vil B2-scenariet resultere i en gennemsnitlig temperaturstigning i Danmark på ca. 2,2 °C, mens der i A2-scenariet vil ske en temperaturstigning på ca. 3,1 °C.

Også vandværkerne har brug for at lade idéerne gro

Gode idéer der udspringer af erfaring og ekspertise fører frem til frugtbare løsninger. Vand-Schmidt har specialiseret viden inden for:

- Vandforsyningsanlæg
- Brøndboring
- Ledningsanlæg
- Projektering/rådgivning
- Service

- ring og få gode råd og uforbindende tilbud



Vand-Schmidt a/s
Jernbanegade 5 • 6070 Christiansfeld
Tlf. 74 56 11 11 • Fax. 74 56 32 69

Drivhusgaskoncentrationen og temperaturudviklingen for de to scenarier afviger kun marginalt fra hinanden frem til 2050, og det blev derfor valgt at fokusere på de sidste tredve år i det nuværende århundrede, dvs. 2071-2100, da de to scenarier her afviger signifikant fra hinanden. Mht. nedbør og temperatur kunne data fra klimamodellen umiddelbart benyttes. Referencefordampning blev beregnet ved hjælp af Penman-Monteiths formel på basis af klimamodellens resultater for temperatur, luftfugtighed, vindhastighed og nettoindstråling (se forklaring i boksen nederst på denne side). De tre datasæt (temperatur, nedbør, fordampning) blev herefter konverteret til hydrologisk modelinput vha. den såkaldte "delta change"-metode. Det fremtidige klimainput bliver her beregnet ved at multiplicere de nuværende observerede klimadata, som i dette arbejde omfatter data fra perioden 1990-2004, med den relative ændring mellem fx nedbør i fremtiden i forhold til nutiden (begge simuleret vha. klimamodellen).

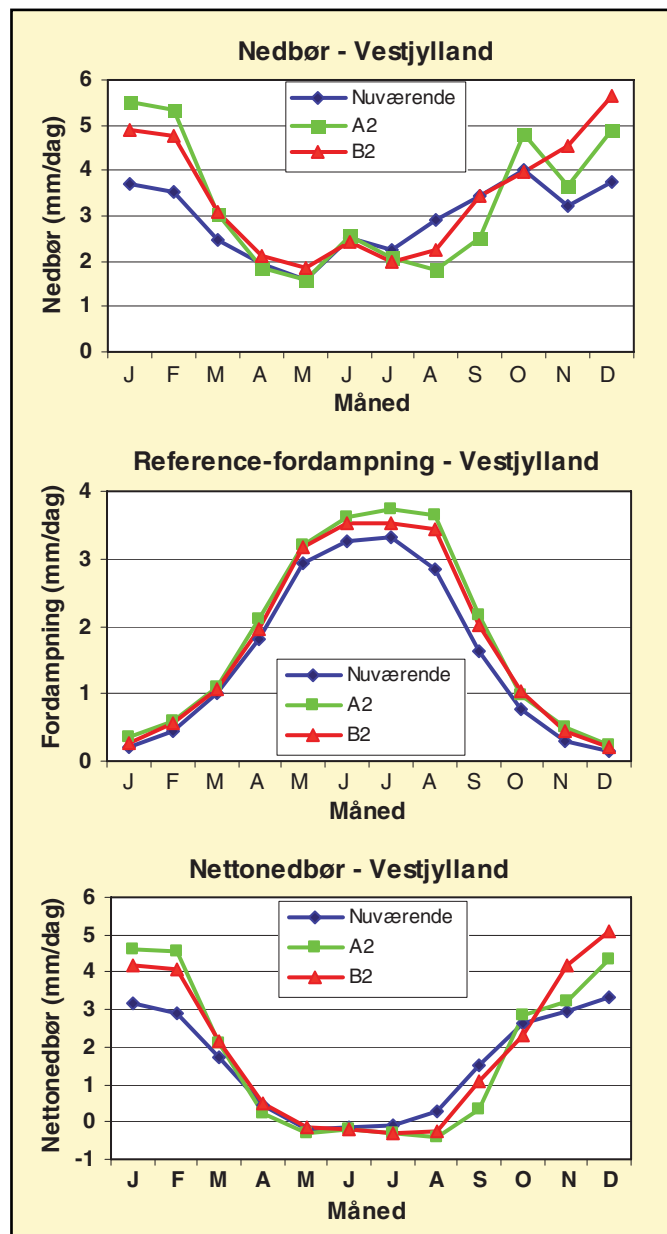
Der blev udvalgt to områder i Danmark, hvor de hydrologiske effekter af klimaændringer skulle undersøges: Vestjylland og Sjælland. De to områder adskiller sig fra hinanden mht. nuværende klima og geologi. Nettonedbøren (nedbør fratrukket aktuel fordampning) er ca. dobbelt så stor i Vestjylland sammenlignet med Sjælland. Geologien i Vestjylland er domineret af sandede topjorde (smeltvandssletter og sandede moræneaflejringer) og underliggende regionale prækvartære sandmagasiner. I modsætning hertil er den overfladenære geologi på Sjælland generelt karakteriseret ved lavpermeable moræneforekomster fra sidste istid, hvorunder der typisk findes sandforekomster af begrænset udrækning. Kun undtagelsesvist er der god hydrauliske kontakt mellem jordoverfladen og de primære grundvandsmagasiner, som i store dele udgøres af kalkformationer (Danienkalk, Skrivekridt, Grønsandskalk).

Det blev valgt kun at undersøge effekten af ændrede klimavariabler. Afledte effekter, såsom stigninger i havniveau eller ændringer i arealanvendelse, blev ikke inkluderet. Det blev også valgt at fokusere på en situation uden grundvandsindvinding. Herved opnås, at usikkerheden om den fremtidige grundvandsindvinding elimineres, og man får beskrevet klimaændringernes effekt på det "naturlige" system.

Fremtidige klimadata

Resultaterne for det fremtidige klima viser, at nedbøren stiger markant i vinterperioden i begge scenarier, dog mest i A2-scenariet (se figuren til højre). Til gengæld falder der mindre nedbør i sensommeren, specielt i A2-scenariet, hvor der i august og september ses betydelige reduktioner. Som effekt af den stigende temperatur øges referencefordampningen i begge fremtidsscenarioer. Der observeres markante stigninger i perio-

Øverst ses månedlig middellig nedbør for hhv. nutiden, A2- og B2-scenariet. Tilsvarende ses herunder referencfordampning og nettonedbør. Alle tre figurer repræsenterer Vestjylland. (Grafik: Lieke van Roosmalen)



Penman-Monteith-ligningen

Penman-Monteith-ligningen kan ifølge FAO (*Food and Agriculture Organisation of the United Nations*) udtrykkes således:

$$ET_0 = \frac{0,408\Delta_e(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta_e + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

hvor ET_0 er referencefordampning [mm/d], R_n er nettostråling ved overfladen [MJ/m²/d], G er jordvarmeffluksen [MJ/m²/d], T er daglig gennemsnitlig lufttemperatur i 2 m's højde [°C], u_2 : vindhastighed i 2 m's højde [m/s], $e_s - e_a$ er vanddampmætningsdeficit [kPa], Δ_e er hældning på damptrykskurven [kPa/°C] og γ er psykometerkonstanten [kPa/°C].

Nettostråling beregnes ud fra klimamodellens resultater for indkommende og udgående kortbølget stråling samt indkommende og udgående langbølget stråling. Det antages, at jordvarmeffluksen G kan negligeres, da det generelt er en relativt lille størrelse. Daglig gennemsnitstemperatur bliver beregnet som middelværdi af dagens maksimum og minimum temperatur. Mættet damptryk e_s beregnes på basis af daglig gennemsnitstemperatur, og det aktuelle damptryk e_a baseres på daglig dugpunktstemperatur. Hældningen på damptrykskurven Δ_e beregnes ud fra gennemsnitstemperaturen.

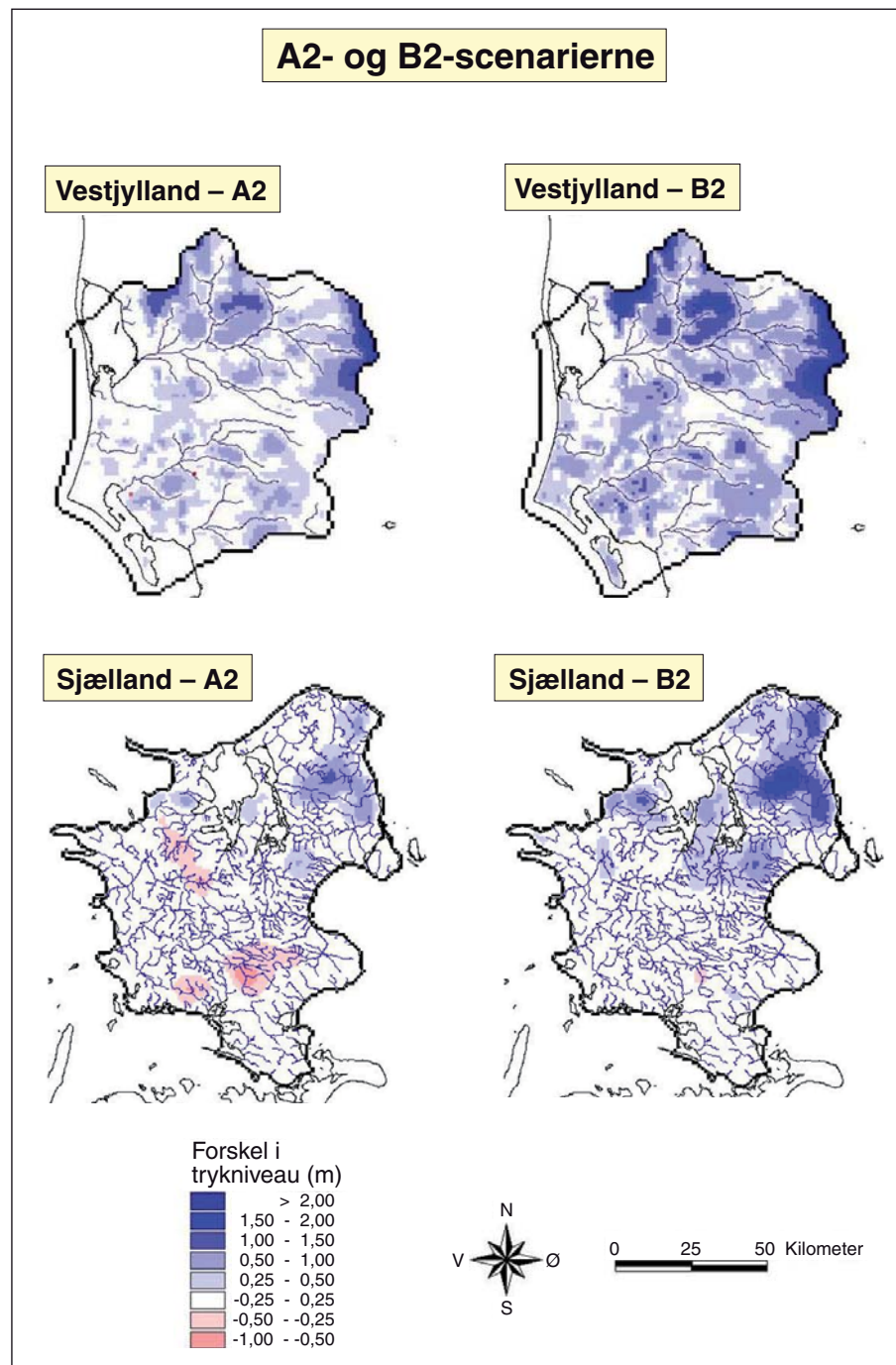
den maj til september, og specielt i perioden juli-september sker der en stor absolut stigning. Ændringerne i nedbør og referencfordampning får en resulterende effekt på nettonedbøren, hvor der om vinteren vil være betydeligt mere vand til rådighed, mens der i sensommeren observeres relativt store fald i nettonedbøren. Eksempelvis reduceres nettonedbøren fra ca. 1,5 mm/dag i september til ca. 0,2 mm/dag i A2-scenariet. På årlig basis øges nettonedbøren imidlertid, med årlige middelværdier for Vestjylland på hhv. 637 og 687 mm/år for A2 og B2 mod det nuværende 562, svarende til relative stigninger på hhv. 13 % og 22 % for de to scenarier.

Effekter på grundvandsstand og vandløb

Effekten af klimaændringer på grundvandsstanden i de primære grundvandsmagasiner ses på figuren til højre (ændringer i forhold til nuværende klima). For Vestjylland vil grundvandsstanden stige i store dele af området. Det er interessant at observere, at de største effekter optræder i B2-scenariet, som er et moderat klimascenarium.

I forhold til A2-scenariet øges temperaturen og dermed fordampningen ikke så meget i B2, hvilket resulterer i en større grundvandsdannelse. I nogle områder øges grundvandsstanden med op til to meter (årligt gennemsnit). For Sjælland ses et noget anderledes resultat. I A2-scenariet er der ganske små ændringer i grundvandsstanden i store dele af området. Kun i den nordøstlige del ses der stigninger svarende til dem, der findes i Vestjylland, og igen ses de største effekter i B2-scenariet. Forklaringen på, at grundvandsstanden stiger i Nordøstsjælland, er, at den overfladenære geologi her er mere sandet end i store dele af det øvrige Sjælland. De store mængder nedbør, som falder om vinteren, kan derfor infiltrere til de dybere grundvandsmagasiner. I mere lerede områder vil den øgede vinternedbør primært afstrømme overfladenært (via overfladen, dræn og grøfter) og resultere i øget vandløbsafstrømning.

Vandløbsafstrømningen øges markant i både Vestjylland og på Sjælland, men mest i sidstnævnte område (illustrationen øverst på næste side). I nedstrøms ende af Susåen ses der stigninger i middel månedlig afstrømning på over 40 % om vinteren. For Vestjylland kan problemet mange steder blive ekstra påtrængende, da grundvandsstanden samtidig forventes at stige. Til gengæld reduceres vandløbsafstrømningen både i Skjern Å og Susåen i sensommeren. Igen ses den største effekt på Sjælland, hvor afstrømningen forventes at falde med op til 50 % i september (A2-scenariet). Som det ses på figuren med månedlige afstrømningsværdier, vil vandføringen i Suså være lav helt frem til november, mens der under nuværende klimaforhold sker en markant stigning allerede i september. Minimumsvandføringen optræder stadig i august, hvor



Stigning af grundvandsstand for hhv. Vestjylland (øverst) og Sjælland (nederst) for A2-scenariet (venstre) og B2-scenariet (højre). (Grafik: Lieke van Roosmalen)

der findes et lille fald i forhold til nuværende værdier.

Konsekvenser af klimaændringer

Ovenstående analyse viser, at klimaændringerne kan få nogle markante effekter i Danmark. Både grundvand og vandløb kan blive påvirket betydeligt af de forudsagte ændringer i klimaet. Desuden viser arbejdet, at effekten af klimaændringer afhænger kraftigt af geologien. Det er specielt vigtigt for grundvandsdannelsen, om den terrænnære geologi udgøres af sand eller ler, idet permeabiliteten af topjorden afgør, om de store fremtidige vinternedbørsmængder kan

infiltrere som grundvand, eller om det løber af til vandløb via overfladenære veje.

Det skal bemærkes, at ovenstående analyse kun tager hensyn til fremtidige ændringer i temperatur, nedbør og fordampning. Afledte effekter såsom stigende havniveau, ændringer i arealanvendelse eller grundvandsindvinding er ikke inkluderet i analysen. De præsenterede resultater kan derfor kun give en pejling om, hvordan det hydrologiske system vil udvikle sig i et fremtidigt klima, frem for en præcis forudsigtelse af fremtidens hydrologi.

Umiddelbart får klimaændringerne ingen negativ effekt på størrelsen af den fremti-

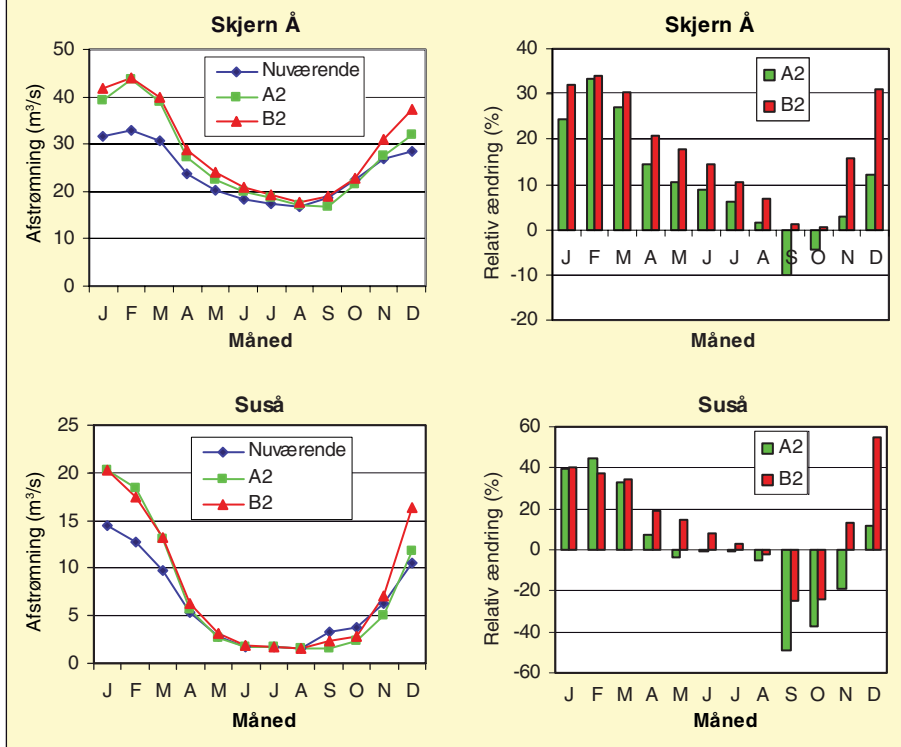
dige vandressource i Vestjylland. Grundvandsstanden stiger og selv om behovet for markvanding skulle stige i et fremtidigt klima, ser det ikke ud til at give problemer for grundvandsressourcerne. En undersøgelse af afledte effekter såsom ændringer i arealanvendelse og markvandingsbehov vil dog være nødvendig for at afklare dette spørgsmål.

Til gengæld ser det ud til, at der på Sjælland kan blive problemer med sommervandføringen i vandløbene. Problemet er, at i områder, hvor topjorden udgøres af lavpermeabelt moræneler, vil den ekstra vinternefbør ikke infiltrere. Der sker dermed ikke en tilbageholdelse af den øgede nedbør, som i stedet strømmer direkte af til vandløb. Ændringer i vandindvindning og arealanvendelse kan desuden påvirke sommervandføringen i vandløbene både i negativ og positiv retning. Det må imidlertid forventes, at rodzonen generelt vil blive mere tør om sommeren, hvilket kan have u hensigtsmæssige effekter for eksisterende vådområder og for dyrkning af afgrøder.

De kraftige forøgelser af vinternefbøren og den stigende grundvandsstand i Vestjylland må forventes at kunne resultere i perioder, hvor specielt ådale og andre lavtliggende områder vil være vandlidende. Dette vil kunne give problemer med bl.a. vand i kældre og stabilitet af konstruktioner, og for lavbundsgrunde vil der være fare for, at jorden vil være for våd til, at jorden kan behandles langt hen i foråret. Risikoen for oversvømmelse må også anses for stigende, dels som følge af øgede vandføringer i åerne, dels som følge af stigende havniveau og stormfloder, hvor sluserne ved udløbene af de vestjyske vandløb lukkes med opstuvning af det tilstrømmende vand til følge.

Den foreliggende analyse kan ikke kvantificere problemets størrelse, blot indikere at problemet vil blive større.

Vandløbsafstrømning



Absolut (venstre) og relativ (højre) stigning i middel måned vandløbsafstrømning for hhv. Skjern Å, station 25.14 (øverst) og Suså, station 57.12 (nederst). (Grafik: Lieke van Roosmalen)

Referencer:

IPCC. *Special report on emissions scenarios (SRES): A special report of working group III of the intergovernmental panel on climate change.* Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK (2000).

IPCC. *Climate Change 2001: The scientific*

basis. Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK (2001).

Roosmalen, L.v., Christensen, B.S.B., & Sonnenborg, T.O. *Regional differences in climate change impacts on groundwater and stream discharge in Denmark, Vadose Zone J.*, 6:554-571, doi:10.2136/vzj2006.0093(2007).

Vi borer over hele landet..!

- Kerneboringer
- Hulsneglsboringer
- Højslevboring
- Tørboring
- Luftslyleboring
- Sklyleboring

- ring og hør nærmere...



POUL CHRISTIANSEN A/S
Brøndborer- &
Ingeniørfirma
7840 Højslev
Tlf. 97 53 52 22

100 år

- din sikkerhed for erfaring og kompetence...