

Scenarier for fremtidig vandbalance og vandstrømning i Odense Å

Fremtidens klima er, selv hvis emissionen af CO₂ antages kendt, behæftet med betydelige usikkerheder som skyldes forskelle mellem klimamodeller. Tilsvarende vil valget af hydrologisk model påvirke vores beregninger af det fremtidige vandkredsløb. Samtidig vil samfundsdrivne ændringer i eksempelvis arealanvendelse påvirke det hydrologiske kredsløb. Vi præsenterer her resultater, hvor vi har kombineret fire klimamodeller, tre hydrologiske modeller og fire arealanvendelsesscenarier. Der er fokuseret på forskellene i forudsigelserne af vandløbsafstrømningen i hhv. en tør, middel og våd situation.

TORBEN O SONNENBORG, IDA KARLSSON, DENNIS TROLLE, CHRISTEN DUUS BØRGESEN, ERIK JEPPESEN, JØRGEN E OLESEN & JENS CHRISTIAN REFGAARD

Indledning

Klimaændringer forventes at få markante effekter på vandkredsløbet i Danmark. Det er imidlertid vanskeligt at give et nøjagtigt bud på, hvordan fremtidens vandkredsløb vil udvikle sig. Dels vil resultaterne fra forskellige klimamodeller ikke være ens. Dels vil samfundet udvikle sig i takt med klimaændringerne, og det må forventes, at der sker en sideløbende ændring i arealanvendelsen i Danmark. Arealet dækket af landbrug vil sandsynligvis ændre sig, og det må også forventes, at valget af afgrøder ændrer sig som følge af f.eks. stigninger i temperaturen. Sådanne ændringer i vegetationsdækket vil påvirke blandt andet fordampningen og dermed også vandressourcerne i grundvand og vandløb. Endelig vil vores forudsigelser af, hvordan ændringer i klima og arealanvendelse påvirker vandkredsløbet også afhænge af, hvilken hydrologisk model vi anvender til at kvantificere effekterne. Vi vil her fokusere på de usikkerheder i vandbalancen som

skyldes (1) valg af klimamodel, (2) fremtidig arealanvendelse og (3) valg af hydrologisk model.

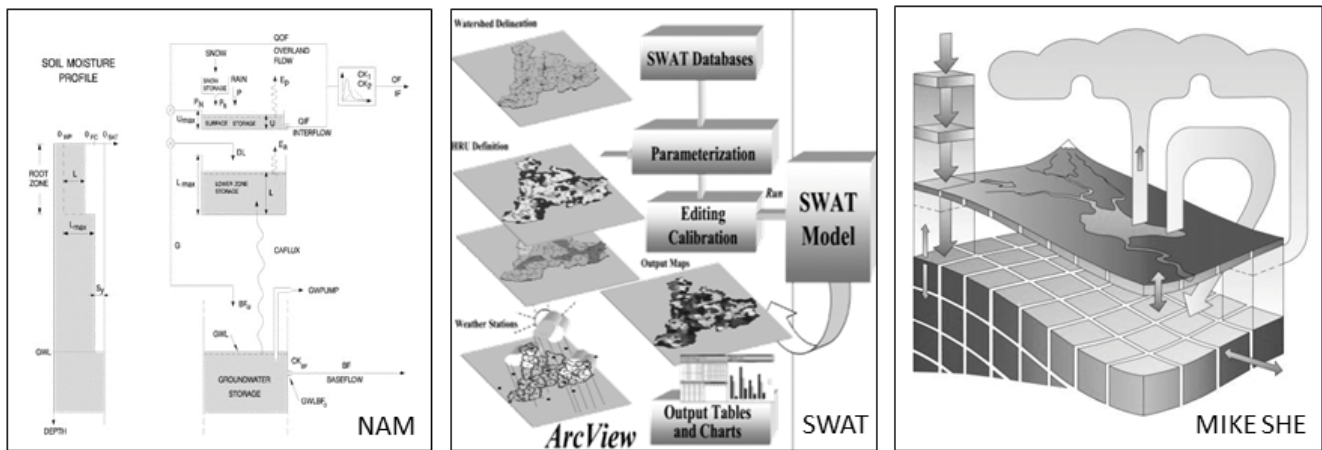
Metodik

På basis af en screening af resultaterne fra EU-projektet ENSEMBLES har vi udvalgt fire klimamodeller. Modellerne er udvalgt så de repræsenterer hhv. en våd, en tør, en middel og en varm klima udvikling blandt ENSEMBLES-modellerne. Alle fire modeller er kørt med IPCC emissionsscenarioet A1B, og forskellene skyldes derfor udelukkende, at modellerne ikke er opbygget helt ens, og at deres parametre er forskellige. Resultaterne fra de fire modeller er blevet nedskaleret til Odense Å oplandet for perioden 2080-2099.

Ud over den nuværende arealanvendelse er der anvendt fire fremtidsscenarier defineret i /1/. De fire scenarier er baseret på forskellige antagelser om bl.a. den økonomiske udvikling. I det første scenarie, LU1, omlægges store områder til skov eller permanent græs. I LU2 ekstensiveres landbrugsproduktionen, hvilket giver anledning til en mindre reduktion i landbrugsareal. I LU3 udvikler landbruget sig i en mere teknologisk retning, hvilket resulterer i omlægning til pile-plantager og en øget husdyrtæthed. Endelig beskriver LU4 en markedsdriven virkelighed, hvor landbrugs-

arealet øges i forhold til det nuværende, og der drives en meget intensiv produktion.

Til at kvantificere effekten af ændringer i klima og arealanvendelser har vi anvendt tre principielt forskellige hydrologiske modeller, se Figur 1. Som den ene yderlighed er nedbør-afstrømningsmodellen NAM anvendt. NAM er en model, hvor sammenhængen mellem input og output ikke er baseret på en fysisk beskrivelse af naturen. I stedet er der opstillet et ligningssystem, som vha. et sæt empiriske parametre kan reproducere observeret vandføring for et opland. Hele det beskrevne opland forudsættes at kunne beskrives ved ét sæt parameterværdier, og der er dermed ikke mulighed for at introducere en rumlig variation i oplandskarakteristika. MIKE SHE er valgt som en repræsentant for den anden ende af spektret, hvor den opbyggede model så vidt muligt er baseret på en fysisk beskrivelse af vandstrømningen. F.eks. er strømningen i undergrunden baseret på Darcy's lov. Modellen giver mulighed for at lave en distribueret beskrivelse af både grundvandszonen, rodzonen, jordoverfladen og de øvrige elementer i modellen. Der er med andre ord mulighed for at specificere præcist, hvor i oplandet der dyrkes hvede, eller på hvilke arealer jordbunden er leret. Som en mellemting mellem NAM og MIKE SHE er



Figur 1 Skematisk illustration af NAM, SWAT og MIKE SHE.

SWAT valgt. Til forskel fra MIKE SHE anvender SWAT ikke en opløsning af oplandet, som er baseret på beregningskasser. I stedet defineres et antal hydrologiske respons-enheder, indenfor hvilke der kan antages at være ensartede forhold. Der kan i princippet defineres et uendeligt antal enheder, og MIKE SHE og SWAT tilgangen kan derfor bringes til at ligne hinanden, når det gælder beskrivelsen af jordoverfladen og rodzonen. Til gengæld er de to modeller principielt forskellige i grundvandszonen, hvor SWAT benytter et lineært reservoir, som minder mere om tilgangen i NAM.

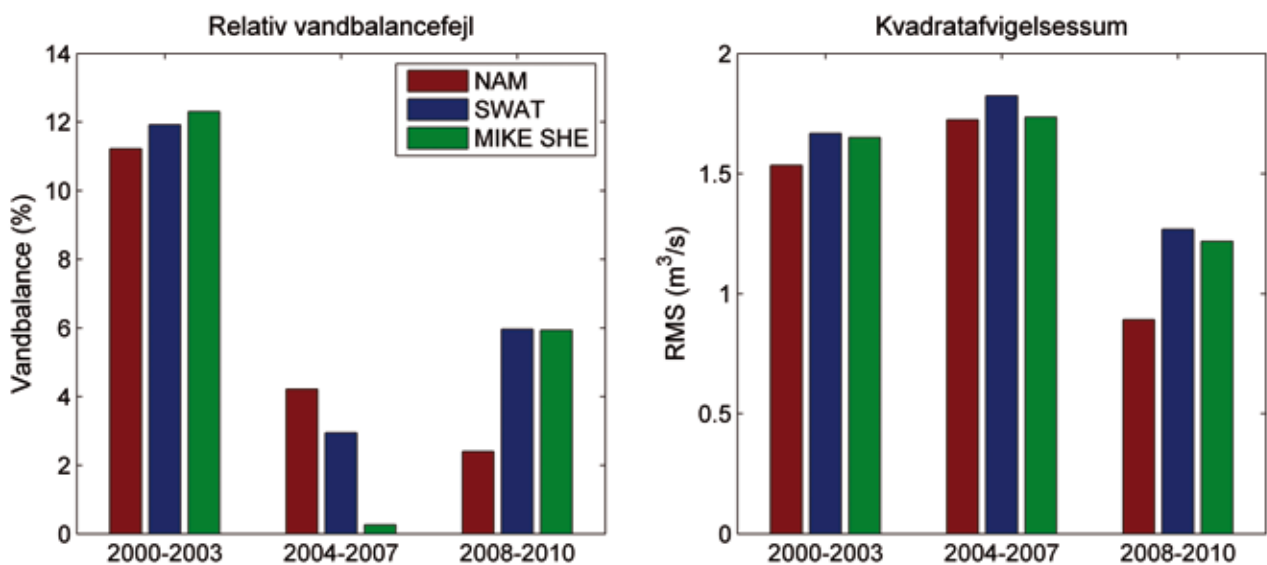
De tre modeller er opstillet så de i videst muligt omfang benytter samme input data (klimadata), samme simuleringsperiode (1990-2010), samme kalibreringsperiode (2004-2007) og samme kalibreringsmetodik. På Figur 2 ses forskellen mellem observeret og beregnet vandføring (til venstre) og kvadrat-

afvigelsessummen for udstrømningen fra et opland på Fyn (se /2/ for nærmere beskrivelse af oplandet) for de tre modeller. Det ses, at for kalibreringsperioden er vandbalancen lidt bedre for MIKE SHE end for NAM og SWAT. Til gengæld klarer NAM og SWAT sig lidt bedre i valideringsperioderne. Mht. kvadratafvigelsessummen (Figur 2, til højre) er de tre modeller stort set lige gode. Vi konkluderer derfor, at alle tre modeller kan simulere vandløbsafstrømning ved nedstrøms vandføringsstation med nogenlunde samme nøjagtighed.

Resultater

I Figur 3 ses, hvor meget vandføringen ændrer sig, når man går fra det nutidige klima til fremtidsklimaet i 2080-2099. Fremtidsklimaet er fundet med hver af de fire klimamodeller beskrevet ovenfor. For alle modellerne er resultater for 1%, 50% og 99% fraktilerne

fundet, svarende til den vandføring der overskrides i 99% af tiden, 50% af tiden og kun 1% af tiden. For 50% fraktilen, figuren i midten, er de tre hydrologiske modeller mere eller mindre enige om resultatet. Den "tørreste" klimamodel, ARPEGE-RM5.1, giver reduktioner i 50% fraktilen på ca. 30%. Den "vådeste" model, ECHAM5-HIRHAM5, resulterer i stigninger på mellem 40% og 60%. Hvis minimumsvandføringen betragtes, svarende til 1% fraktilen vist øverst i Figur 3, findes der generelt konsensus mellem de tre hydrologiske modeller. Når de hydrologiske modeller anvender input fra de to våde klimamodeller (ECHAM5-HIRHAM5, ECHAM5-RCA3), findes dog et markant anderledes resultat. Her forudsiger SWAT en stigning i 1% fraktilen på over 250%, mens NAM og MIKE SHE finder stigninger på 50% eller herunder. Det skal fremhæves, at da afstrømningen svarende



Figur 2 Resultater for vandbalance og kvadratafvigelsessum for kalibreringsperioden (2004-2007) og valideringsperioderne (2000-2003 samt 2008-2010).

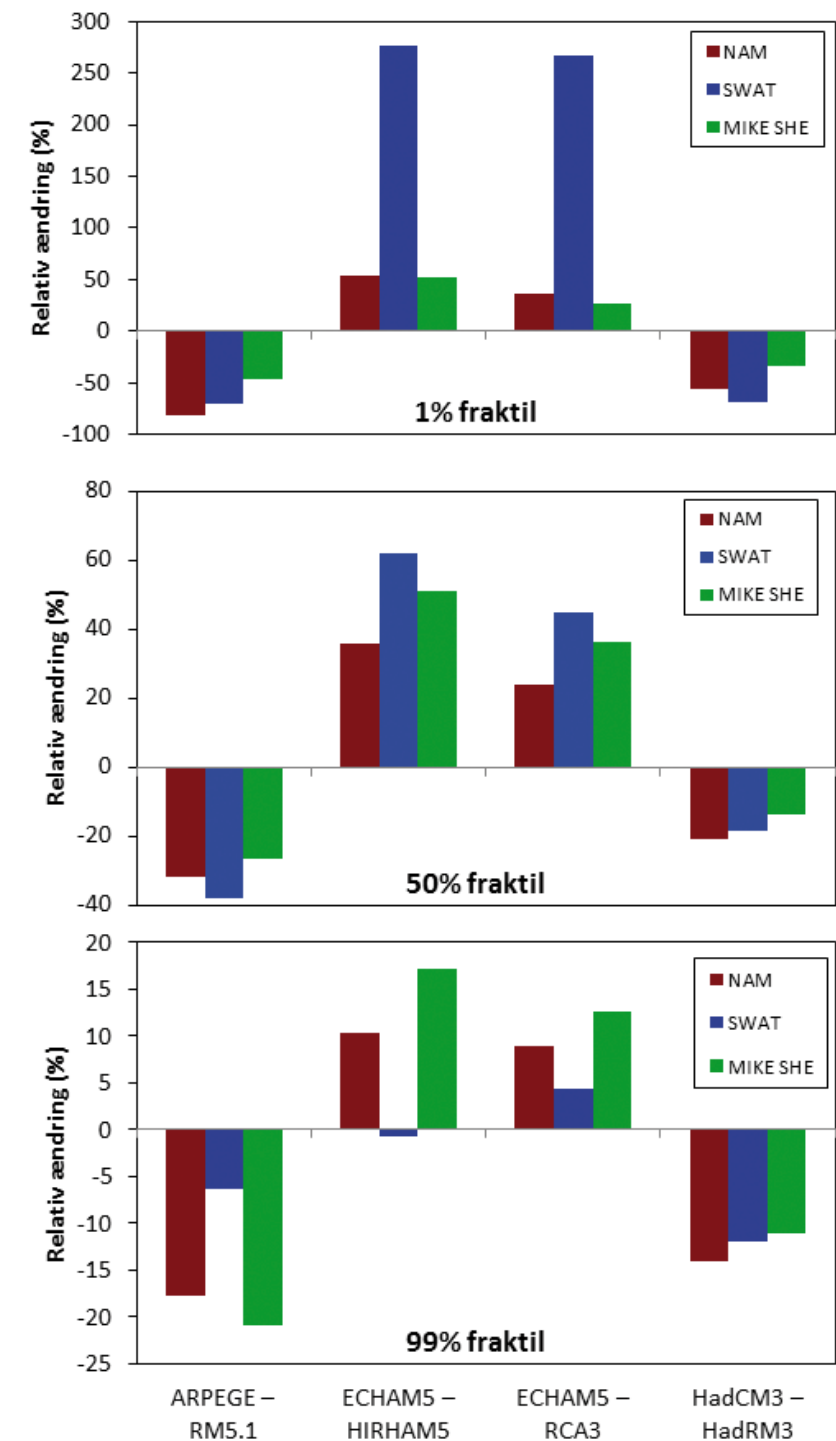
til 1% fraktilen er forholdsvis lav, skal der kun relativt små ændringer i den absolutte vandføring til for at opnå store procentuelle ændringer.

Tilsvarende uoverensstemmelser findes for 99% fraktilerne, nederst i Figur 3. Det skal bemærkes, at skalaen på denne figur dækker et betydeligt mindre interval end på de to andre figurer. Men der findes trods det igen en tendens til, at SWAT afviger fra de to andre hydrologiske modeller. Specielt når resultater fra klimamodellen ECHAM5-HIRHAM5 anvendes som input, divergerer resultaterne kraftigt. SWAT finder her et svagt fald i afstrømning for 99% fraktilen, mens NAM og MIKE SHE finder stigninger på mellem 10% og 20%.

På Figur 4 er effekten af forskellige arealanvendelses-scenarier vist for et fremtidigt klima, som er givet ved klimamodellen ECHAM5-RCA3. Der er kun vist resultater fra SWAT og MIKE SHE, da det ikke er muligt at ændre afgrødefordelingen i NAM. I figuren er vist, hvor meget afstrømningen fra oplandet ændrer sig, når den nutidige arealanvendelse skiftes ud med de fire scenarier. Det skal først bemærkes, at ændringerne mellem arealanvendelse i Figur 4 generelt er betydeligt mindre end ændringerne mellem klimamodeller præsenteret i Figur 3. Klimaændringerne har dermed større effekt på afstrømningen end arealanvendelsen har. For MIKE SHE ses ændringerne i arealanvendelse at have relativ lille betydning, i de fleste tilfælde nogle få procent ændring af afstrømning. Effekten er markant større for SWAT, specielt for scenarie 1 og 3. I begge scenarier reduceres landbrugsarealet betydeligt, og mens det i scenarie 1 erstattes af skov og permanent græs, så erstattes det scenarie 3 også af pileplantager. De relativt store ændringer, som findes med SWAT, skyldes delvist ændringer i den aktuelle fordampning, men skyldes måske nok så meget, at dræningen på arealer, som omlægges fra landbrug til skov, antages at ophøre (og vice versa). Den manglende dræning på skovarealerne må forventes at have en betydelig effekt på de fundne resultater.

Konklusioner

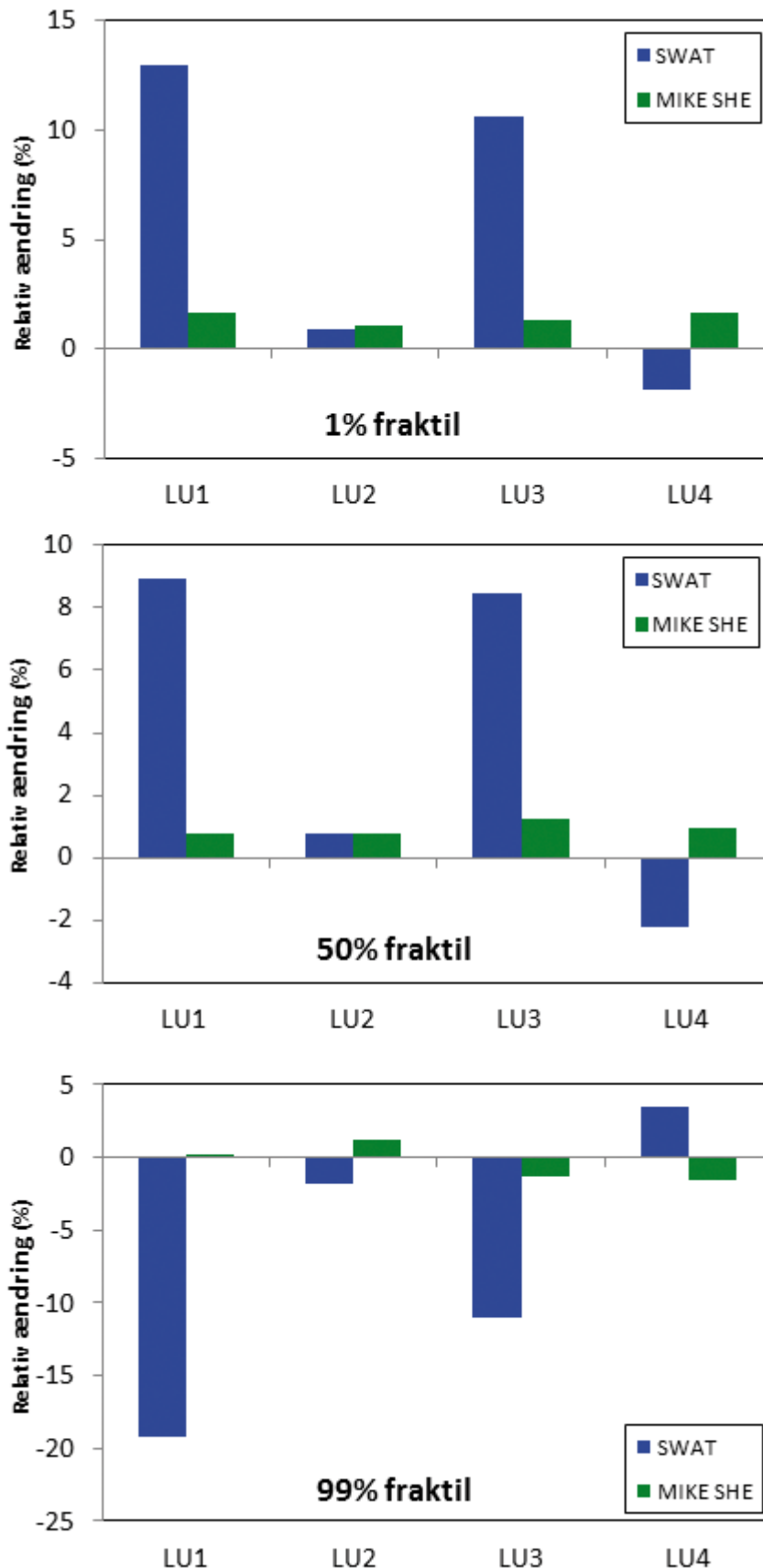
Klimaændringerne vil, selv under antagelse af et relativt moderat emissionsscenario som A1B, få markante effekter på fremtidens vandkredsløb. Valget af klimamodel har imidlertid stor betydning for fremskrivningerne af vandløbsafstrømning, og vil i de fleste tilfælde være bestemmende for, om man kan forvente en stigning eller et fald i afstrømning. Størrelsen af ændringerne afhænger til en vis grad af valget af hydrologisk model og hvilket afstrømningsregime man fokuserer



Figur 3 Ændring i vandføring for NAM, SWAT og MIKE når de påføres et fremtidigt klima (2080-2099) bestemt ved anvendelse af fire forskellige klimamodeller.

på. Hvis middelaftstrømningen (eller 50% fraktilen) betragtes, er de tre hydrologiske modeller forholdsvis enige om, hvordan klimaændringerne vil påvirke afstrømningen, og her er valg af klimamodel helt afgørende for resultatet. For de lave afstrømninger (1% fraktilen) blev der fundet store forskelle mellem de hydrologiske modeller, specielt i de tilfælde, hvor klimaet bliver mere vådt. For de høje afstrømninger (99% fraktile) var der også forholdsvis stor uoverensstemmelse mellem

de tre hydrologiske modellers forudsigelser, og i et enkelt tilfælde (for klimamodellen ECHAM5-HIRHAM5) var de tre modeller ikke engang enige om, hvorvidt ændringen i vandføring skulle være positiv eller negativ. Det må derfor konkluderes, at det ikke er uvæsentligt, hvilken hydrologisk model der benyttes, når effekten af klimaændringerne skal kvantificeres. Det er desværre specielt i de kritiske perioder for vandløbene, ved både lav og høj afstrømning, at uoverens-



stemmelsen er størst. Fortsat arbejde med modeludvikling efter dette ensemble koncept er derfor nødvendigt. Resultaterne for ændringer i arealanvendelse indikerer, at for de to modeller, der er anvendt her, har vegetationen ikke signifikant betydning for fordamningen og dermed vandløbsafstrømningen. Der opnås betydeligt større effekter, hvis ikke kun vegetationen men også dræningsintensiteten ændres. Det må forventes, at omlægning fra landbrug til eksempelvis skov vil resultere i, at drænrørene vil blive ødelagt og at vandet derfor ledes langsommere væk fra de pågældende arealer. Det er imidlertid vanskeligt at forudsige, hvor meget dræningsintensiteten reduceres, og det må derfor forventes, at sandheden ligger et sted mellem SWAT og MIKE SHE resultaterne. Generelt indikerer resultaterne dog, at ændringerne i arealanvendelse (med eller uden dræn) har mindre betydning fra vandløbsafstrømningen end valg af klimamodel eller valg af hydrologisk model.

Referencer

- /1/ Olesen, J.E. et al. (2014) Scenarier for arealanvendelse og klima i Odense Å, Vand & Jord, dette nummer.
- /2/ Sonnenborg, T.O., I.B. Karlsson, J.C. Refsgaard, og K.H. Jensen (2014) Vandressourcer i en 6 graders varmere verden, Vand & Jord, dette nummer.

TORBEN OBEL SONNENBORG (tso@geus.dk), Ida B. Karlsson, og JENS CHRISTIAN REFSGAARD er hhv. senior forsker, phd-studerende og forskningsprofessor ved GEUS. DENNIS TROLLE og ERIK JEPPESEN er hhv. senior forsker og professor ved Institut for Bioscience, Aarhus Universitet, CHRISTEN DUUS BØRGESEN og JØRGEN E. OLESEN er hhv. seniorforsker og professor ved Institut for Agroøkologi, Aarhus Universitet.

Figur 4 Effekt af ændringer i arealanvendelse på vandløbsafstrømning i fremtidigt klima (2080-2099 – fundet vha. klimamodellen ECHAM5-RCA3) for hhv. SWAT og MIKE SHE.