

Hydrologidag 2018 Odense

Hvad siger modellerne om grundvandstandens udvikling?

Hans Jørgen Henriksen og Simon Stisen

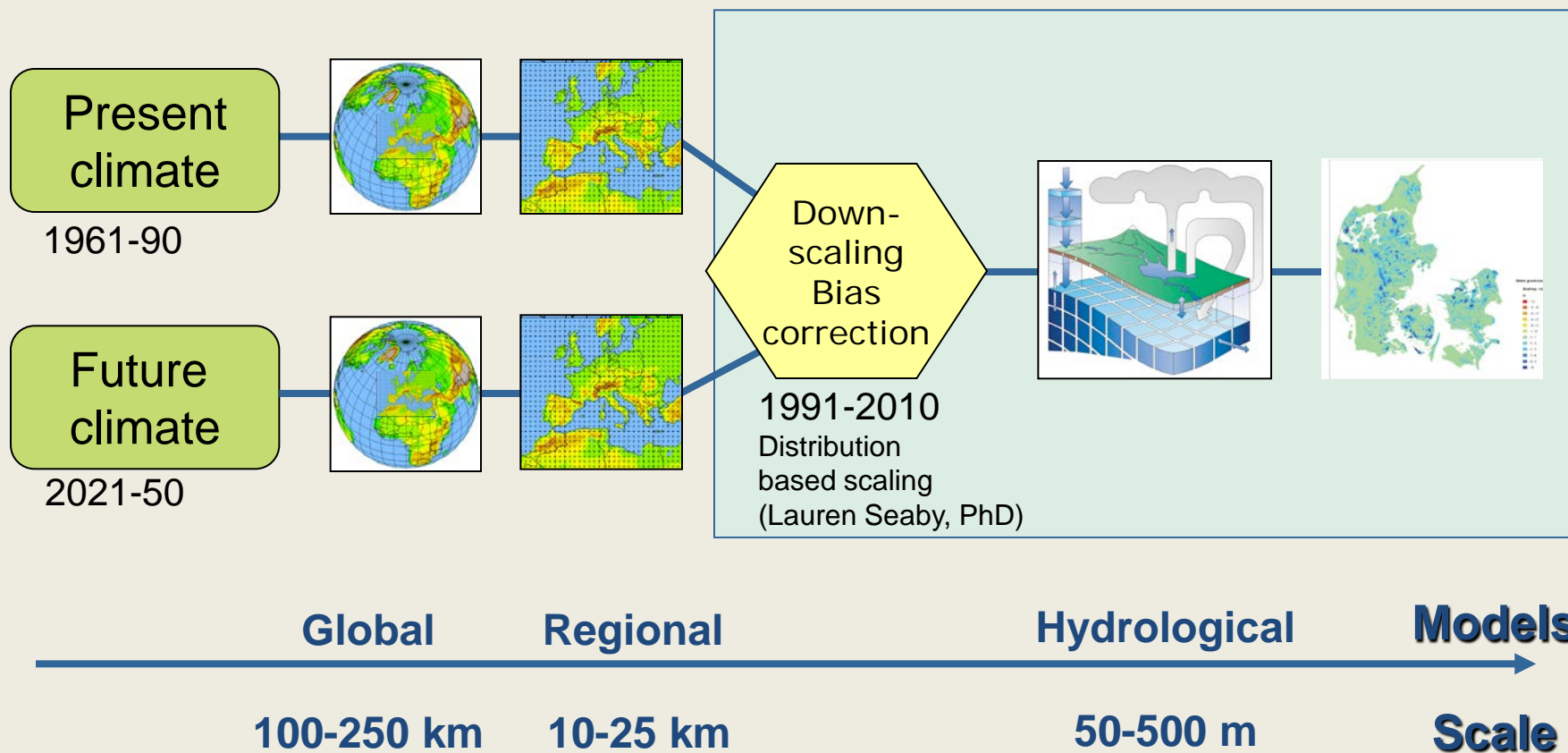
Seniorrådgiver, Hydrologisk afdeling

Geological Survey of Denmark and Greenland
Danish Ministry of Energy, Utilities and Climate

Outline

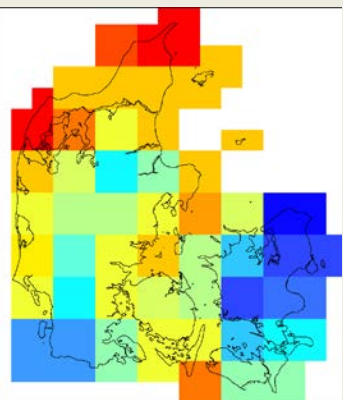
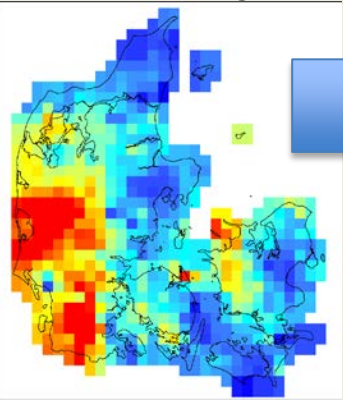
- Hvad siger klimamodeller og DK model om fremtidig udvikling i dybden til terrænnært grundvand?
 - Metodik (2012-14 opgørelse på klimatilpasning.dk for 2021-2050 i forhold til 1961-1990)
 - Resultater for terrænnært grundvand (middel og karakteristisk højt niveau)
- Hvordan forbedrer vi de modelbaserede prognoser?
FODS 6.1 Fast initiativ for terræn, vand og klima
Metodeudviklingsprojekt
 - Resultater af simulering af grundvandstandens tidslige udvikling og rumlige variation i perioden 1991 til 2015
 - Kan vi beskrive den tidslige udvikling i grundvandstanden? (sammenligning af kalibrering 2000-08 og validering 2009-15) for Storå og Odense å

General metodik



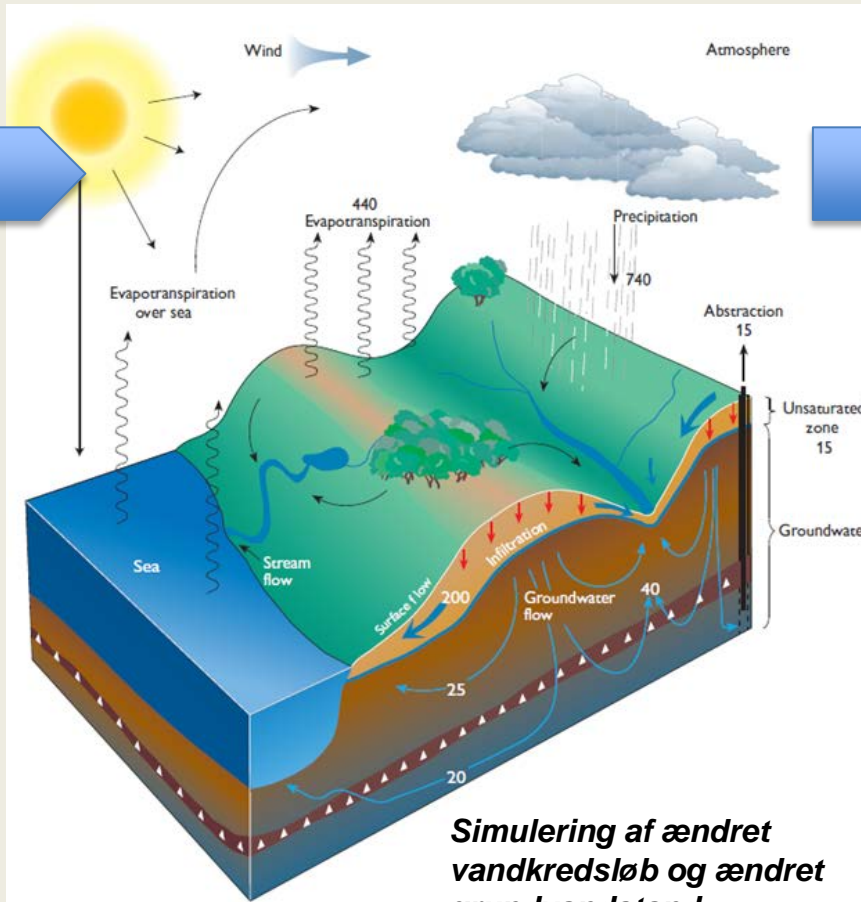
DK model til simulering af ændret klima på vandkredsløb og grundvand

Nedbør:
10 x 10 km² grids

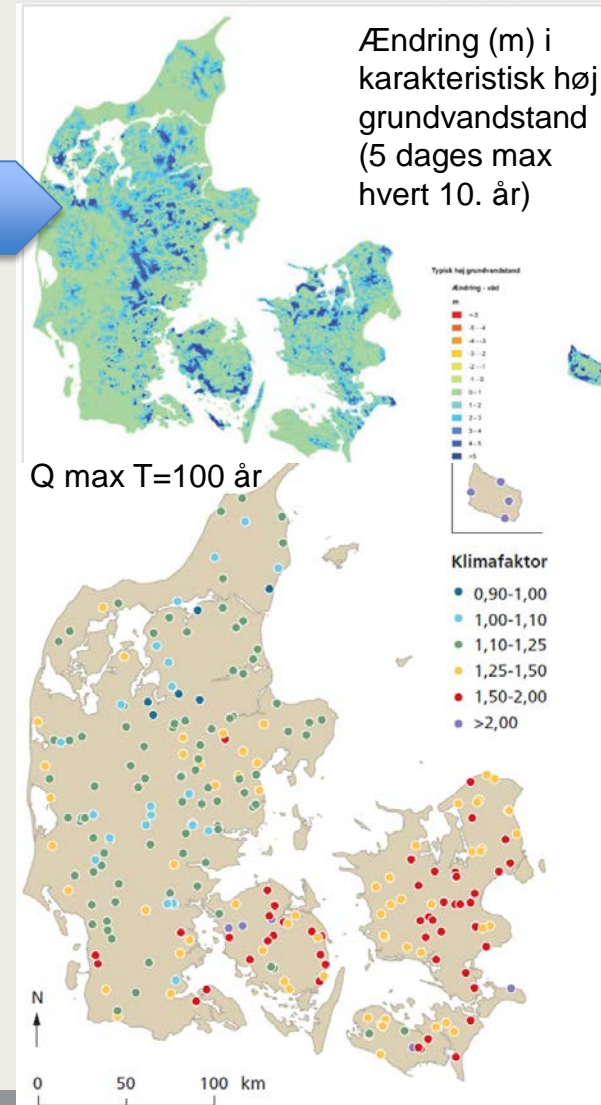


Temp., EAp og vind:
20 x 20 km² grids

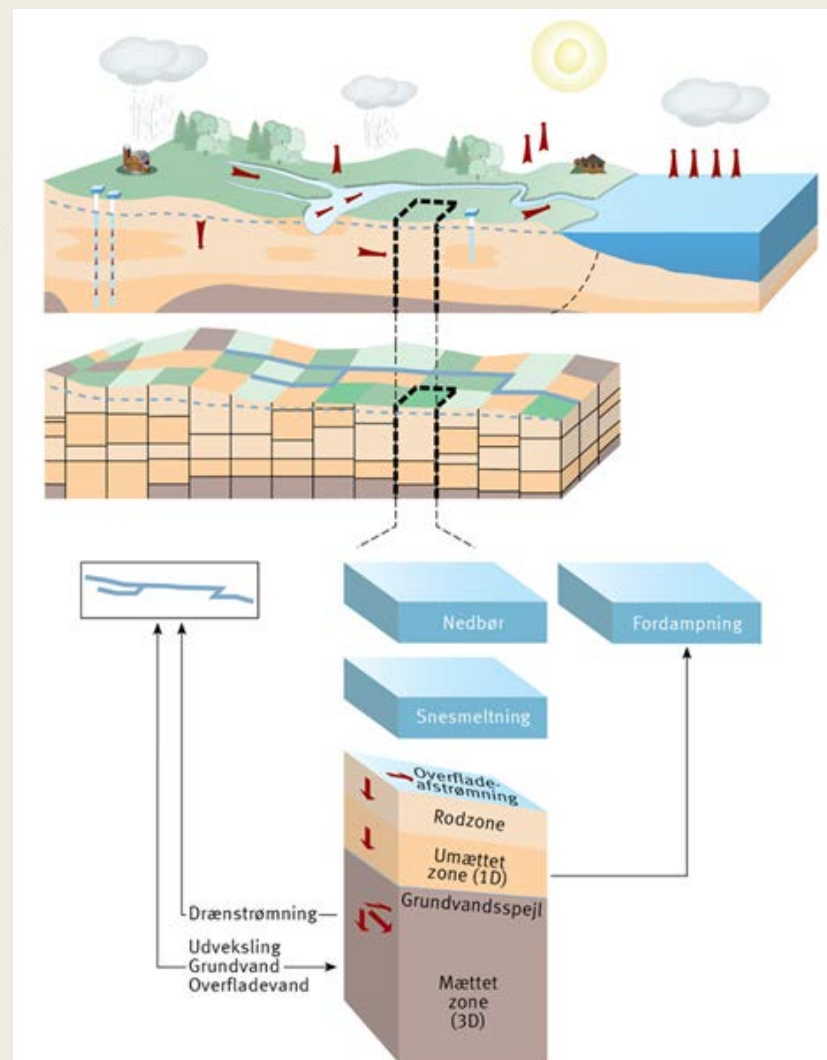
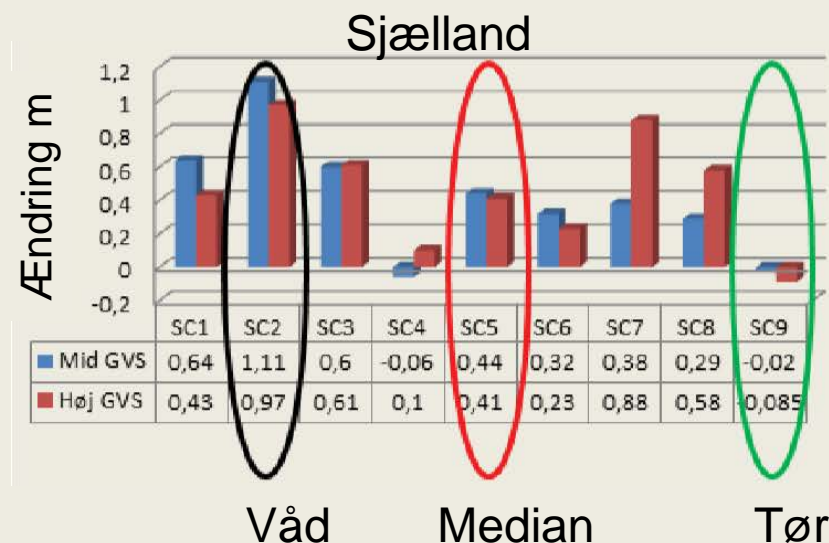
Beregnet med daglige værdier for 1961-90 og 2021-50



Simulering af ændret vandkredsløb og ændret grundvandstand



Resultat af 9 klimamodeller (våd, median og tør model) i relation til ændret grundvandstand



Kombination	Global klimamodel (GCM)	Regional klimamodel (RCM)	Reference
1 - BCM-SMHI	BCM2 Bjerknes CCR Norway	RCA3 SMHI Sweden	Otterå et al., 2009 Kjellström et al., 2005
2 - ECHAM-DMI (størst stigning i GVS)	ECHAM5 Max Planck Inst. Germany	HIRHAM5 DMI Denmark	Roeckner et al., 2003 Christensen et al., 2007
3 - BCM-DMI	BCM2 Bjerknes CCR Norway	HIRHAM5 DMI Denmark	Otterå et al., 2009 Christensen et al., 2007
4 - ECHAM-KNMI	ECHAM5 Max Planck Inst. Germany	RACMO2 Royal Met. Institute Netherlands	Roeckner et al., 2003 van Meijgaard et al., 2008
5 - ECHAM-SMHI (median stigning i GVS)	ECHAM5 Max Planck Inst. Germany	RCA3 SMHI Sweden	Roeckner et al., 2003 Kjellström et al., 2005
6 - ECHAM-MPI	ECHAM5 Max Planck Inst. Germany	REMO Max Planck Institute Germany	Roeckner et al., 2003 Jacob et al., 2001
7 - ECHAM-ICTP	ECHAM5 Max Planck Inst. Germany	RegCM3 Int. Centre for Theor. Phys. Italy	Roeckner et al., 2003 Pal et al., 2005
8 - ARPEGE-DMI	ARPEGE National Centre of Met. Research France	HIRHAM5 DMI Denmark	Déqué et al., 1994 Christensen et al., 2007
9 - ARPEGE-CNRM (mindst stigning i GVS)	ARPEGE National Centre of Met. Research France	RM5.1 Nat. Centre of et Research France	Déqué et al., 1994 Radu et al., 2008

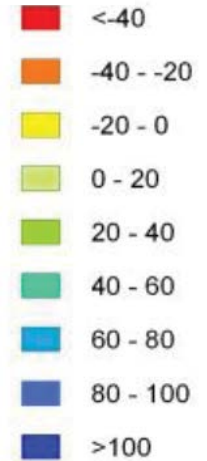
Ændret grundvandsdannelse

2021-2050 sammenlignet med 1961-1990

"tør" klima model

"våd" klima model

mm/år



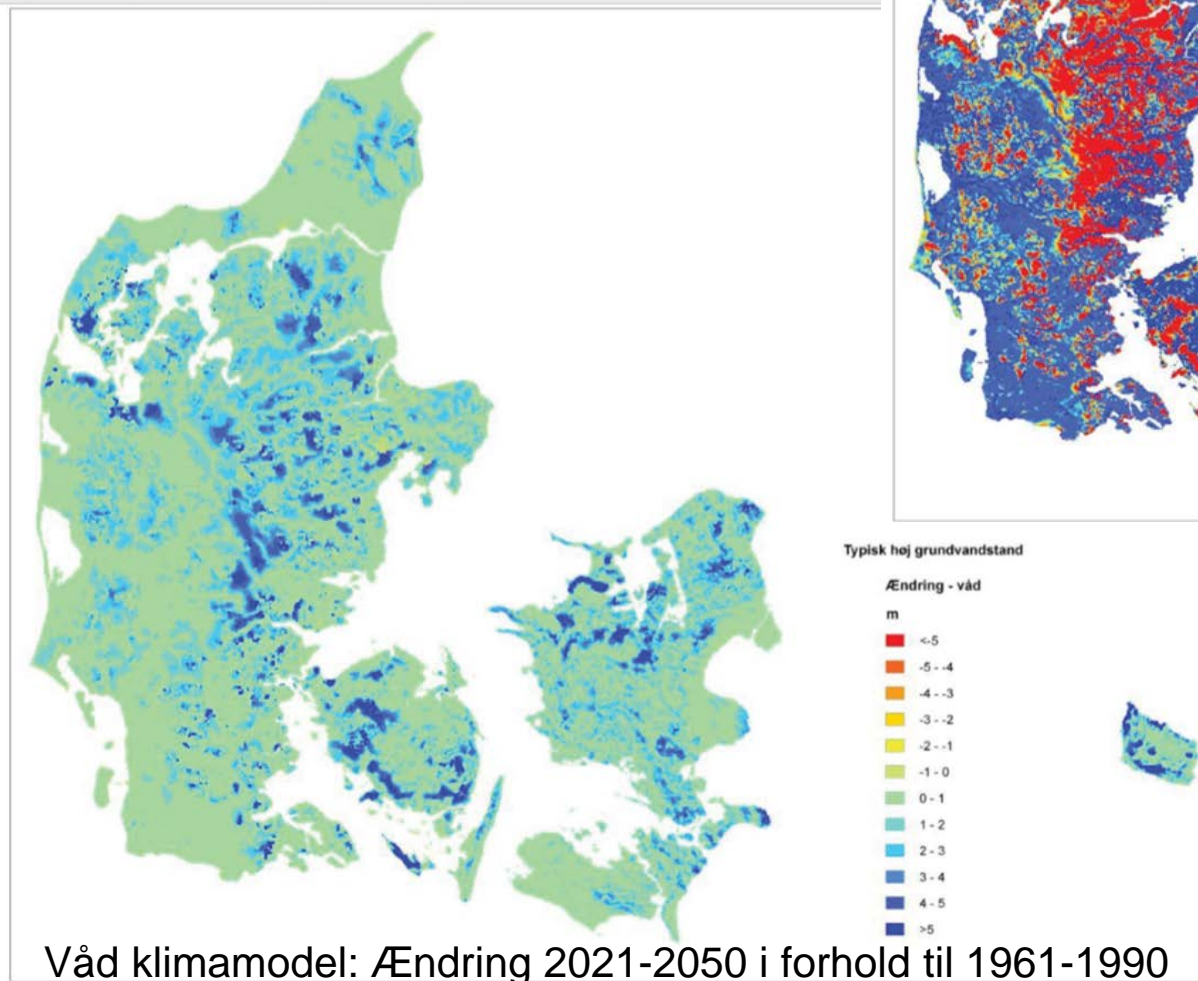
Grundvandsstand 2021-2050 versus 1961-1990

Ændring i meter

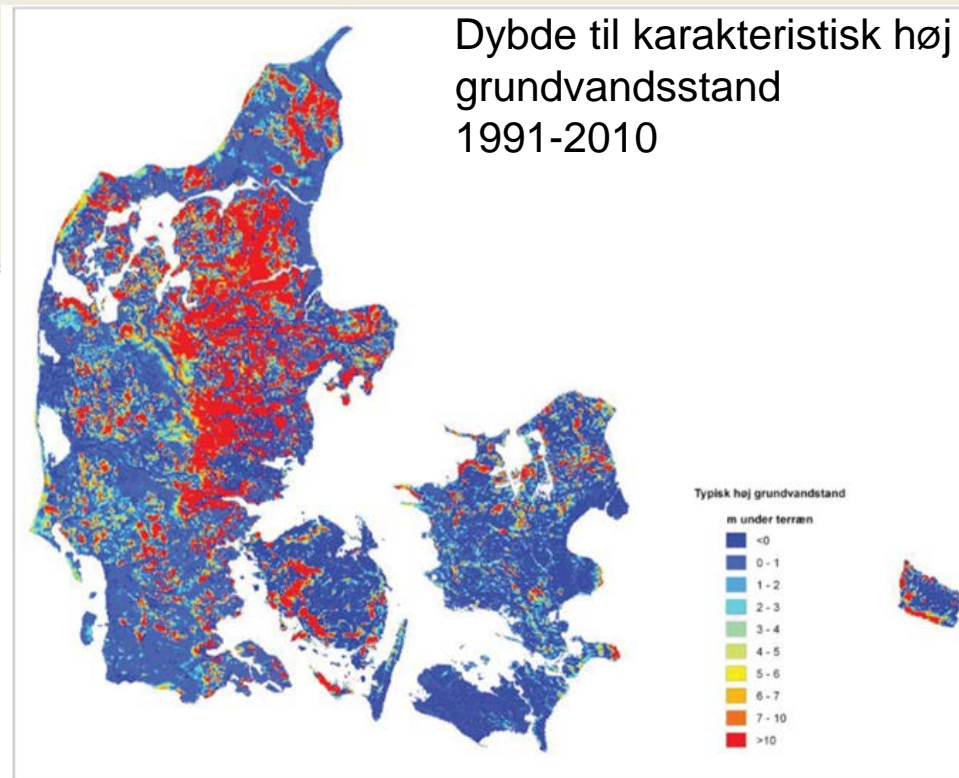
www.klimatilpasning.dk

GEUS 2012

Ændring i dybde til karakteristisk høj grundvandsstand

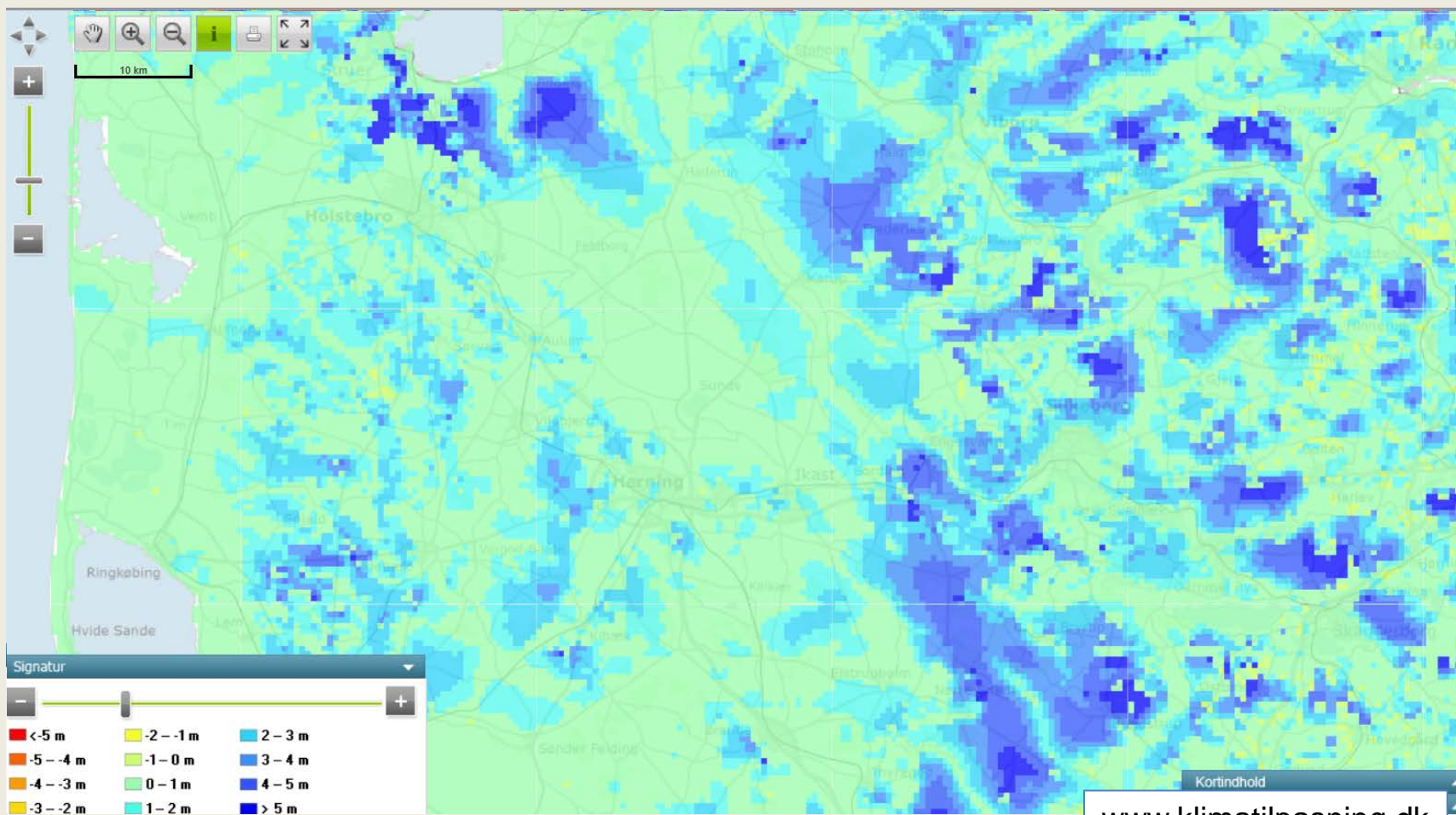


Våd klimamodel: Ændring 2021-2050 i forhold til 1961-1990



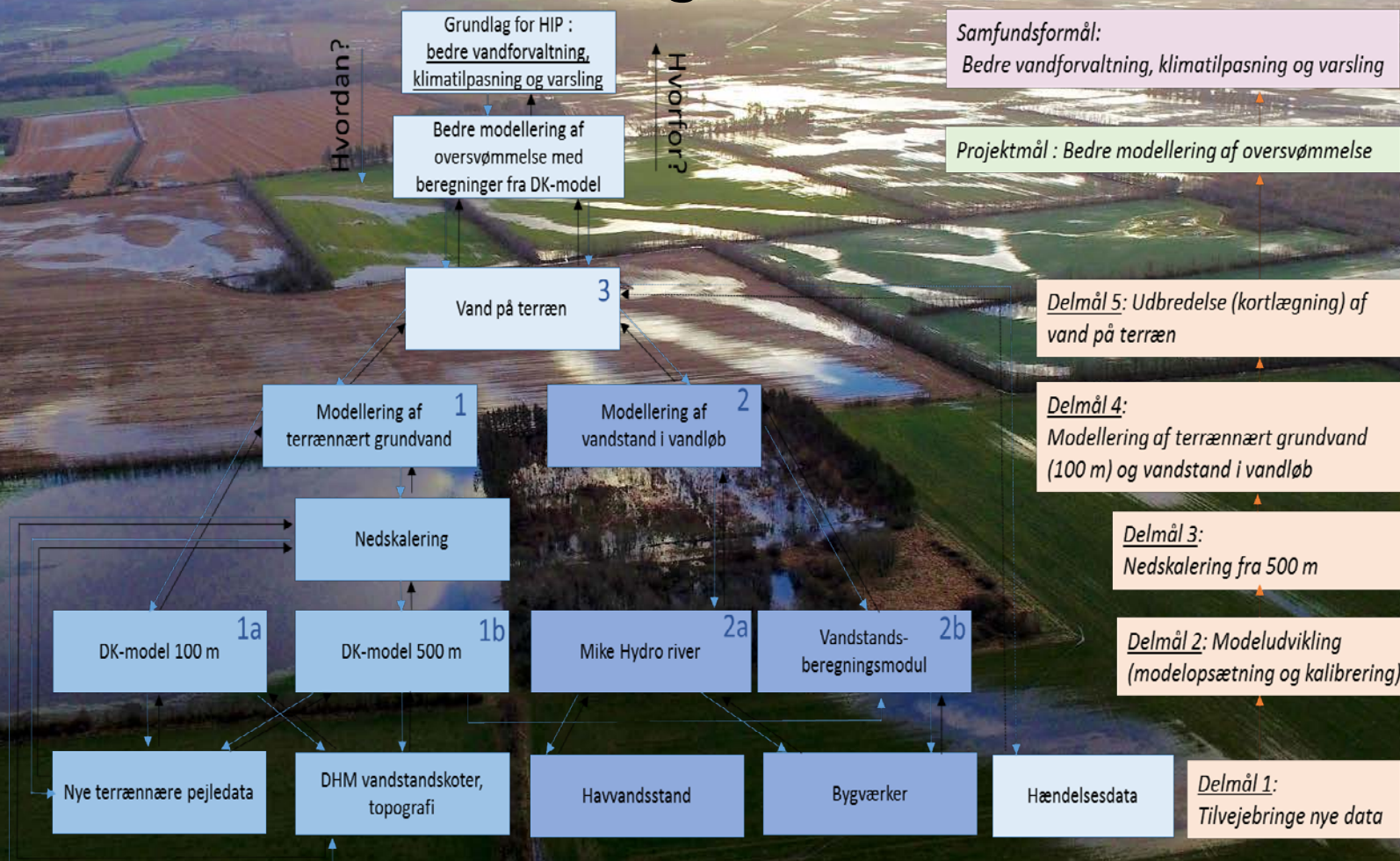
Definition:
 Karakteristisk høj grundvandsstand
5-døgns værdi er statistisk forekommer 1 gang hvert 10. år

Ændring i dybde til karakteristisk høj grundvandstand (5-døgns max T= 10 år) for våd klimamodel

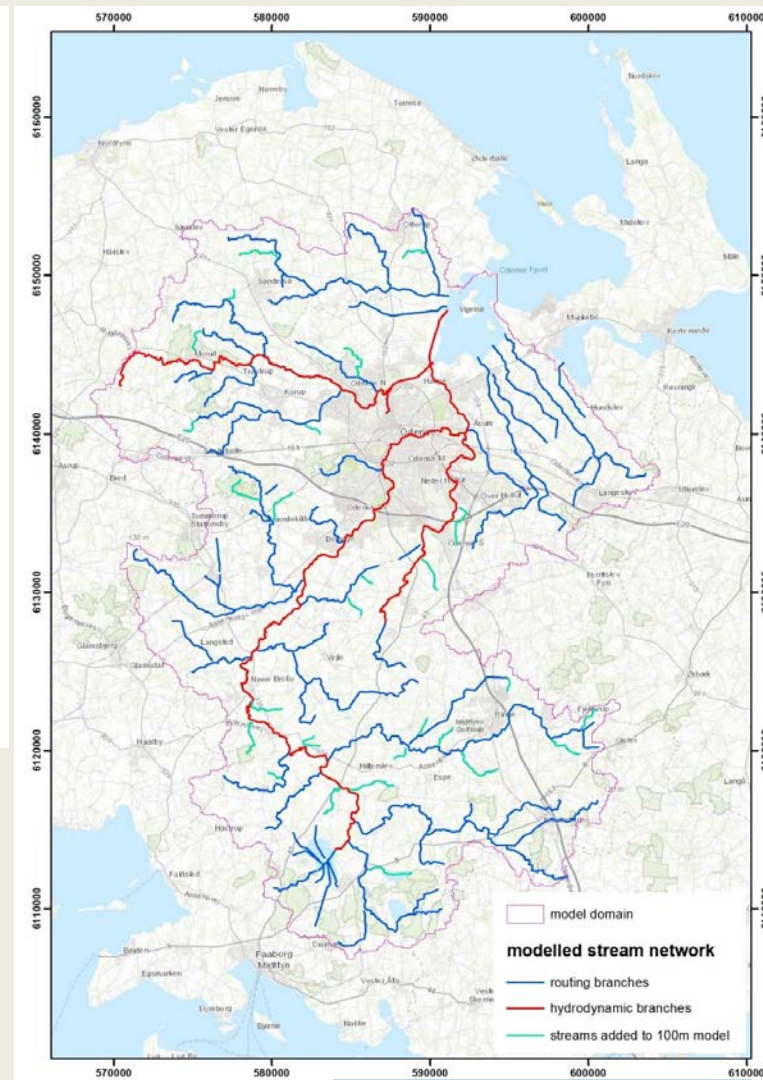
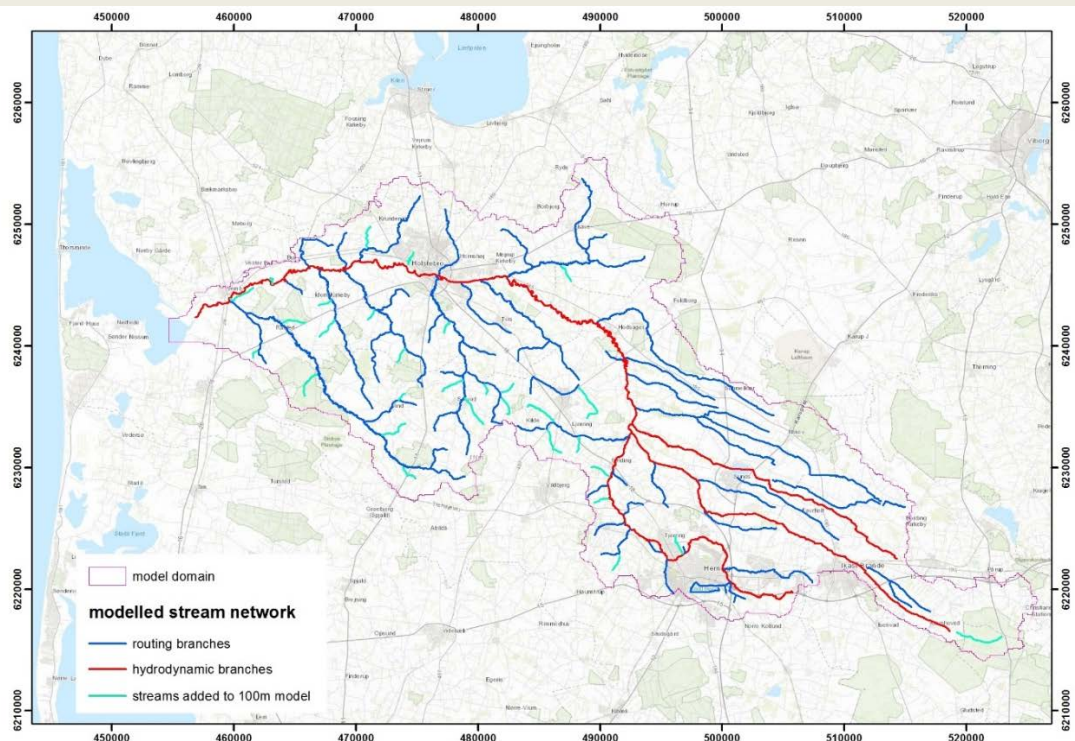


<http://sdfe.dk/data-skaber-vaerdi/faelles-data-om-terraen-klima-og-vand/>

FODS 6.1 Fasttrack projektets mål er bedre modellering af oversvømmelse (Storå og Odense å)



FODS 6.1 metodeudvikling i Storå og Odense Å

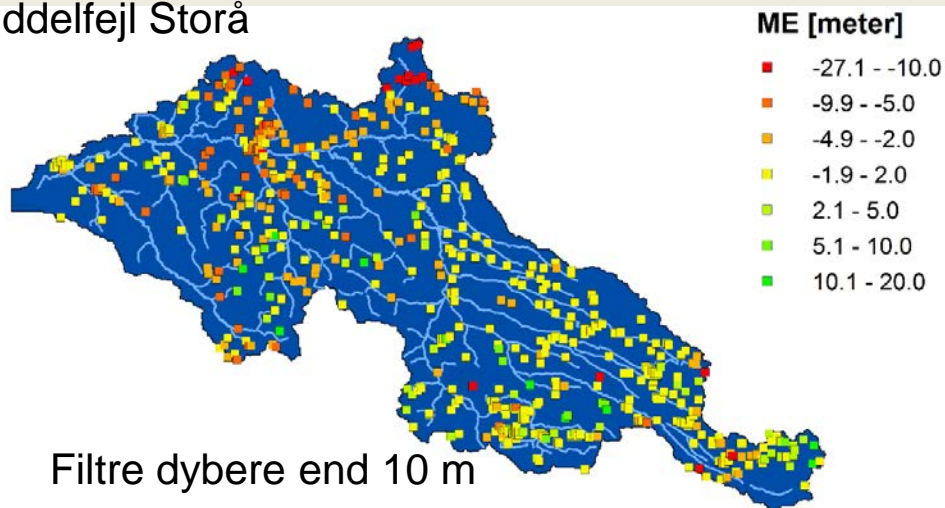


- Udviklet en metode til bedre modellering af terrænnært grundvand
 - flere terrænnære pejledata (fra Regioner m.fl.)
 - detaljering af DK model til 100 m
 - nyt kalibreringskoncept (CRPS)
 - metode til nedskalering af dybde til terrænnært grundvand fra f.eks. 100 m til 10 m

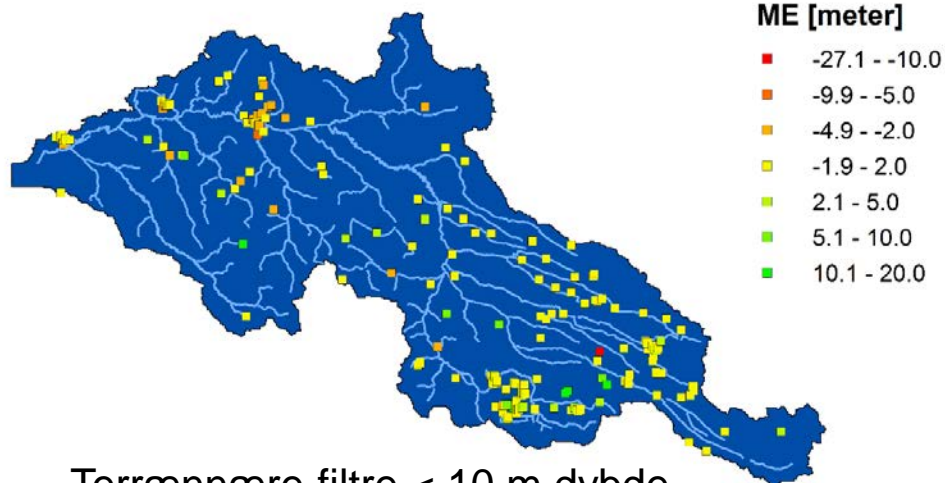
Resultater Storå og Odense Å – Terrænnær grundvandstand

MAE 90 % nøjagtighed ~ 1.5 – 2.0 m (1.0-1.5 m for kalibreringsperiode 2000-08)

Middelfejl Storå



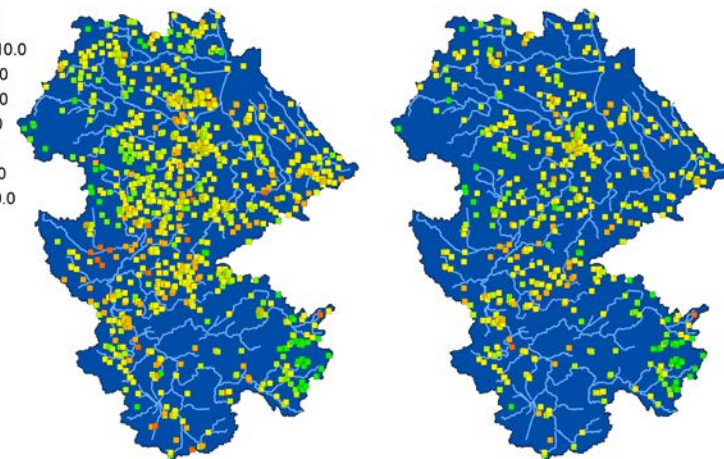
Filtre dybere end 10 m



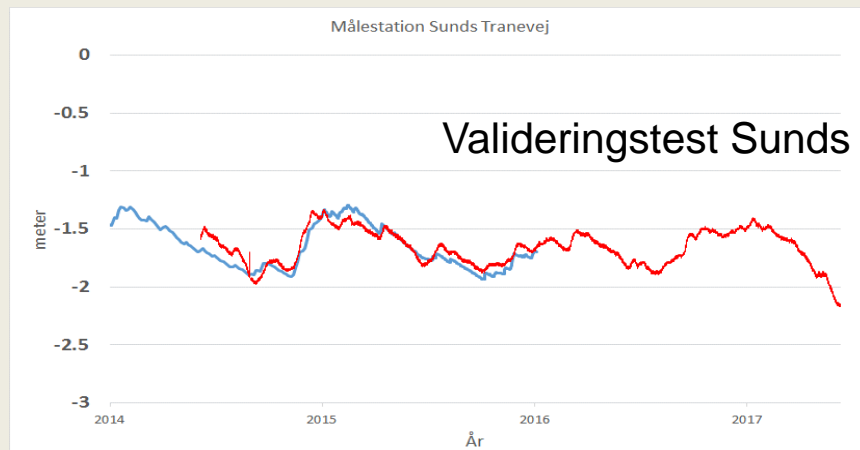
Terrænnære filtre < 10 m dybde

ME [meter]

- -27.1 -- -10.0
- -9.9 -- -5.0
- -4.9 -- -2.0
- -1.9 - 2.0
- 2.1 - 5.0
- 5.1 - 10.0
- 10.1 - 20.0



Middelfejl Odense



Resultater vandstand i vandløb

100m_HD

Station	Branch	Chainage	Opland [km ²]
22.23			
220053	SUNDS NOERREAA	14620	48
220059	STORAA	37971	825
220062	STORAA	61685	1097
220205	STORAA		547
220225	STORAA	25132	547

Kalibrering

RMSE [m]	ME [m]	NSE [-]
-	-	-
0.08	0.03	0.86
0.17	0.02	0.89
0.19	-0.16	0.80
-	-	-
0.24	0.12	0.75

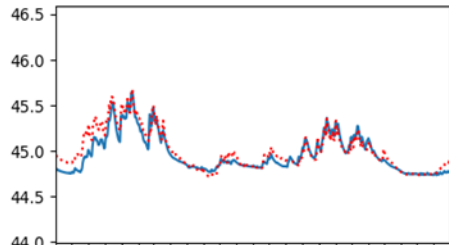
Validering

RMSE [m]	ME [m]	NSE [-]
0.15	0.08	0.35
0.12	0.08	0.55
0.20	0.05	0.79
0.17	-0.11	0.77
0.27	0.15	0.69
0.28	0.22	0.59

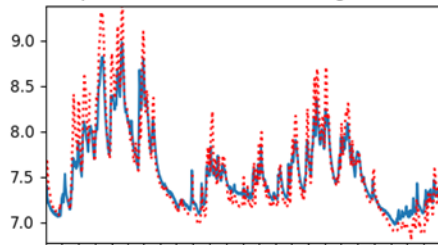
Kalibrering 2007-2008

Validering 2009-2015

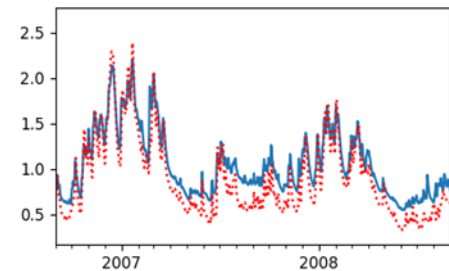
Gammel Sunds, Sunds Moellebaek



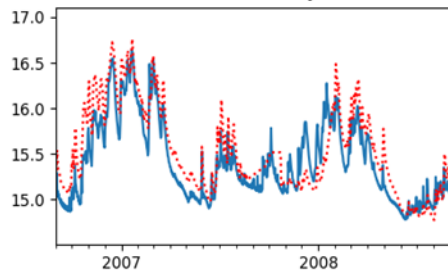
Opstr. Holstebro Renseanlaeg, Stora



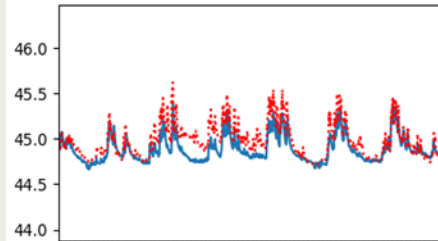
Skaerum Bro, Stora



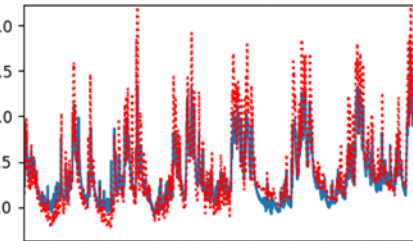
Stora, ved Gl. Grydholt



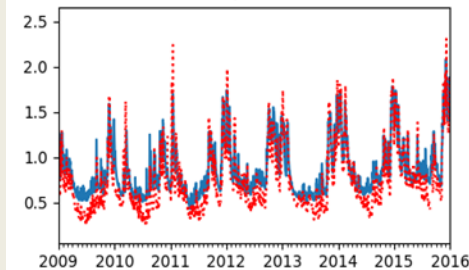
Gammel Sunds, Sunds Moellebaek - 220053



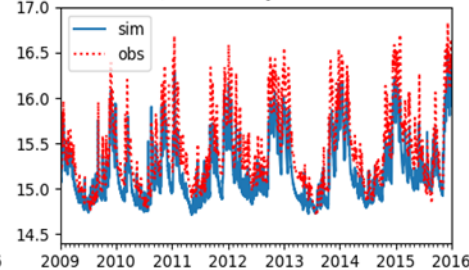
Opstr. Holstebro Renseanlaeg, Stora - 220059



Skaerum Bro, Stora - 220062



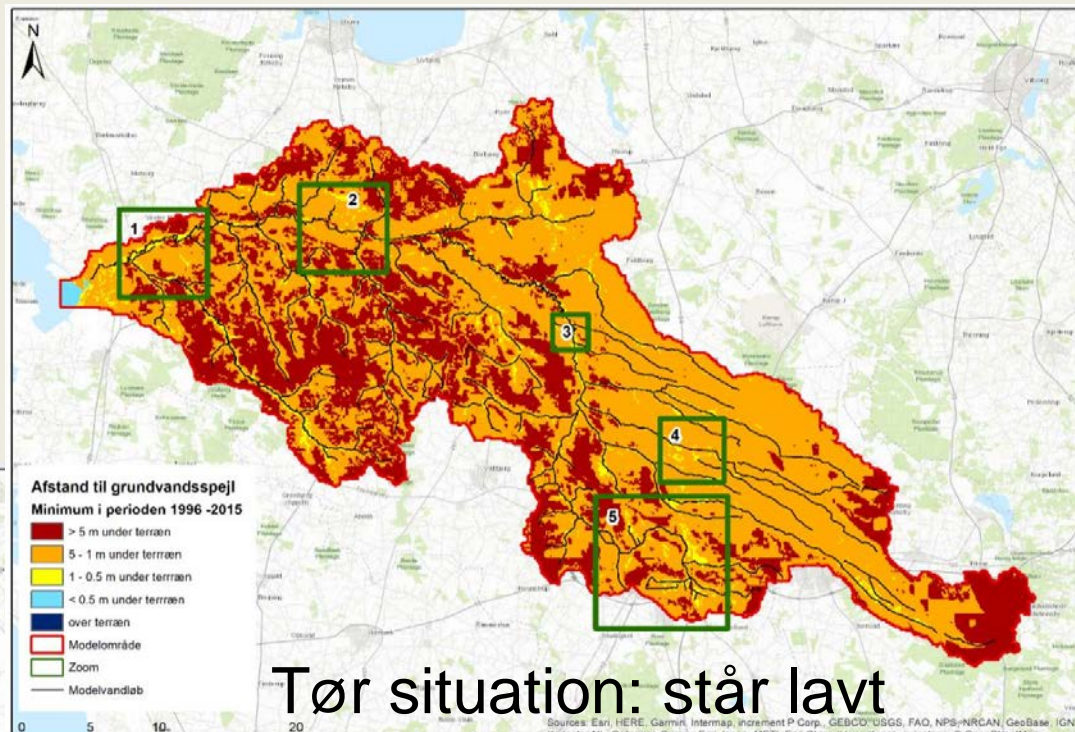
Stora, ved Gl. Grydholt - 220225



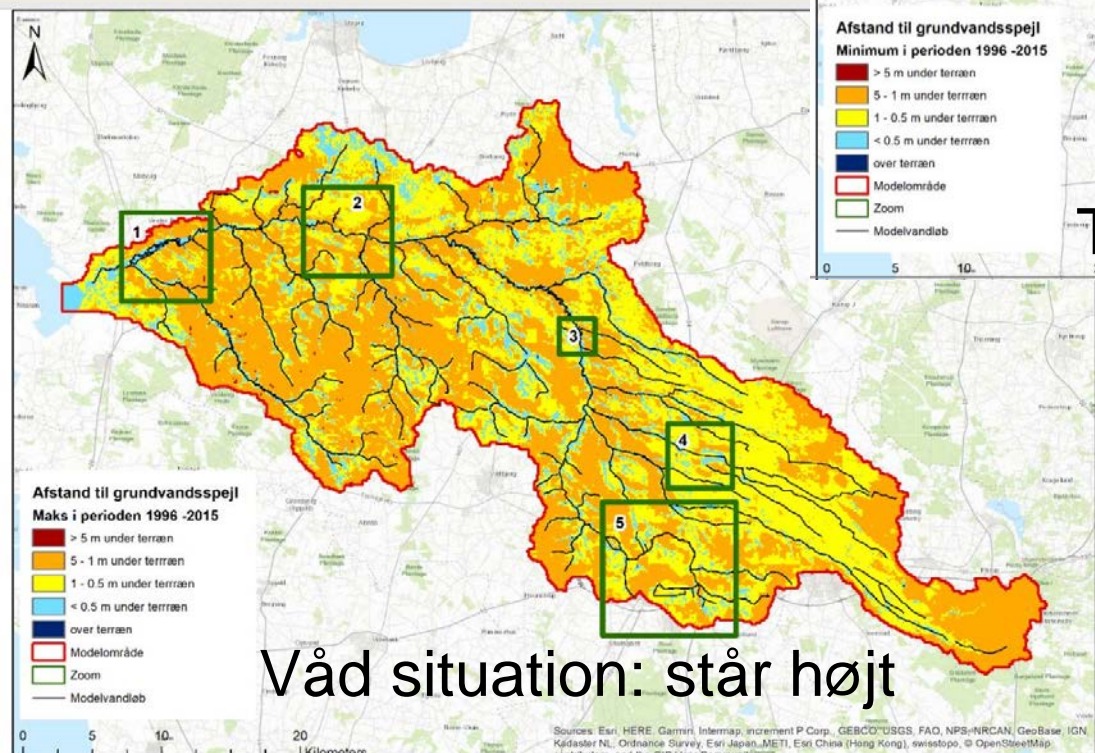
RMSE ~ 20 cm

GEUS 2018 FODS 6.1

Eksempel på udtræk af simuleret dybde til terrænnær grundvandstand (m)



Tør situation: står lavt



Våd situation: står højt

Mulighed for udtræk af vilkårligt tidspunkt (eller hændelse) 1991-2015, samt gentagelsesperiode værdier (f.eks. T=1 til 1000 år), eller overskridelses-sandsynlighed.

Mulighed for fremskrivning til 2050 og 2100 i forhold til reference periode (f.eks. 1991-2015)

Øverskridelsessandsynlighed (terrænnær grundvandstand < 1 m under terræn)

Mulighed for plot af overskridelsessandsynlighed for 20 årig periode (1996-2015)

- < 2 m året
- < 1 m året
- < 1 m juni-august
- < 0.5 m jun-aug

Øverskridelsessandsynlighed

< 1m under terræn

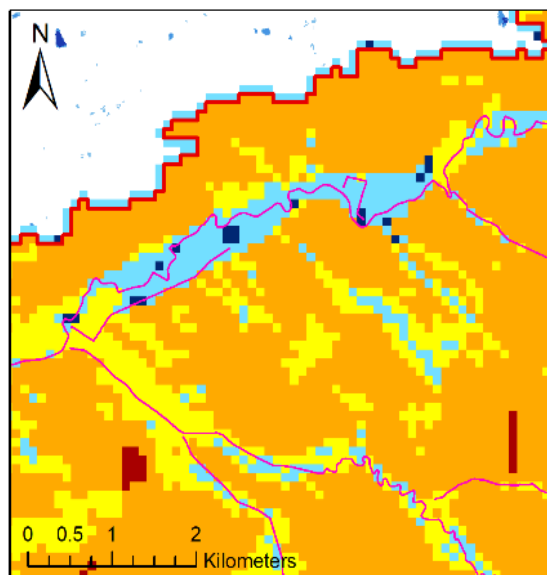


Sources: Esri, HERE, Garmin, Intermap, increment P Corp., Kadaster NL, Ordnance Survey, Esri Japan, METI, Esri China contributors, and the GIS User Community

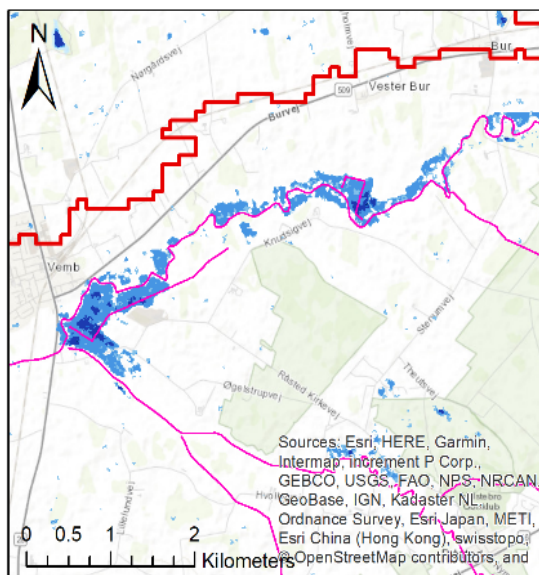


Eksempel på nedskaleret dybde til terrænnært grundvand fra 100 m til 10 m for 9. december 2015

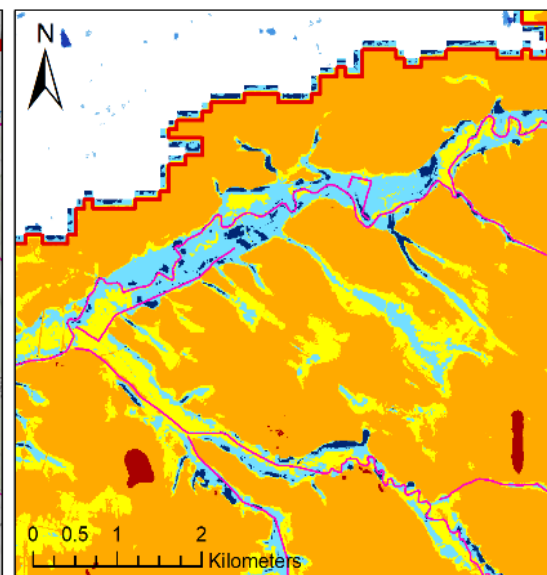
Afstand til grundvandsspejl
100m model



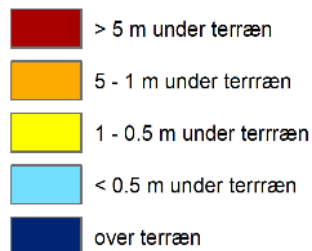
Observation
Satelitdata DHI/GRAS 09dec2015



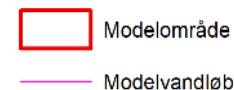
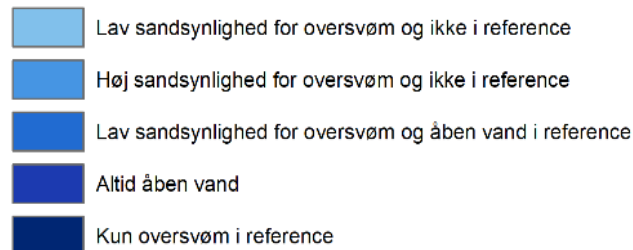
Afstand til grundvandsspejl
Nedskaleret



Simuleret afstand til grundvandsspejl Oversvømmelse 09. december 2015



Baseret på Sentinel 1



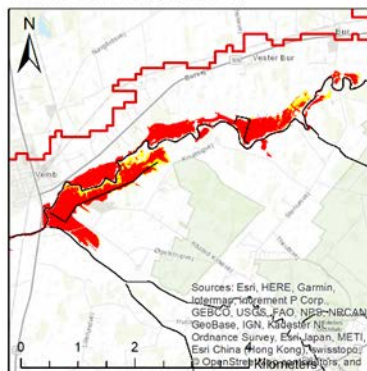
Eksempel på simuleret vand på terræn (Sensitivitets analyse: +0.2 and +0.5 m)

Tabel 23 Observeret og simuleret vandstand (m) i Storå og Odense Å, 09 dec. 2015 respektive 26 dec. 2015

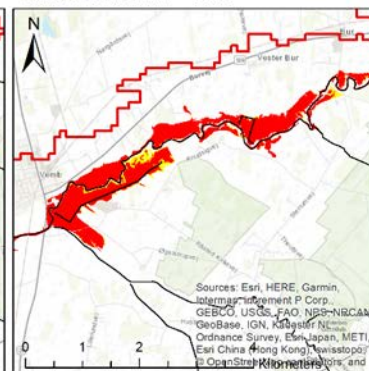
STORÅ Stations navn	DMU stnr.	Observeret Vandstand 9/12 - 2015 kl. 11	Simuleret vandstand MIKEHYDRORiver 9/12 - 2015 kl. 11	Simuleret vandstand HYMOD 9/12 - 2015 kl. 11
Gammel Sunds, Sunds Moellebaek	220053	45.26	45.05	45.12
Skaerum Bro, Storaa	220062	2.10	1.85	1.83
Storaa, ved Gl. Grydholt	220225	16.56	16.24	16.37
Opstr. Holstebro Renseanlaeg, Storaa	220059	8.83	8.42	8.45
Storaa, Rotvig Bro	220205	21.88	21.37	21.31

ODENSE Å Stations Navn	DMU stnr.	Observeret Vandstand 26/12 2015	Simuleret vandstand MIKEHYDRORiver 26/12 2015	Simuleret vandstand HYMOD 26/12 2015
Stavis Aa, Stavis Bro (St 8.25)	450005	3.34	2.92	2.94
Lindved Aa, 1.20	450043	3.79	3.36	3.39
Odense Aa, Afloeb Arreskov Soe	450045	30.75	30.48	30.61
Kratholm (22.35)	450003	12.08	12.02	12.04
Ejby Moelle, ns. rens (ST 8.45)	450001	2.60	2.48	2.43

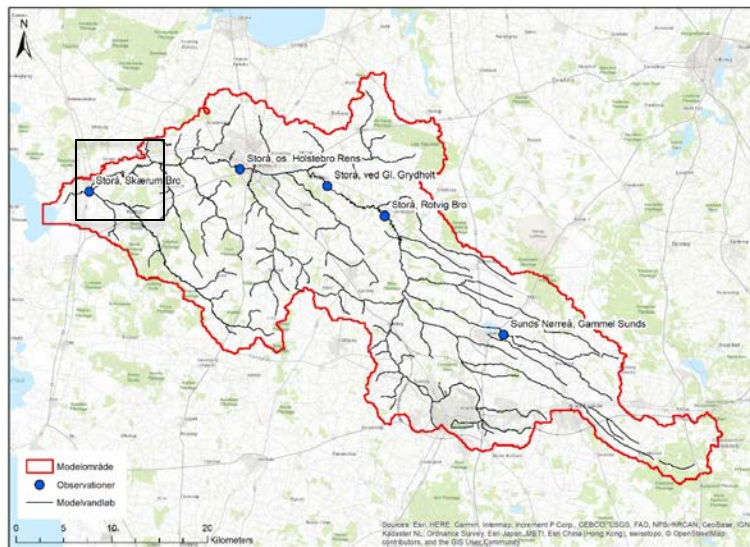
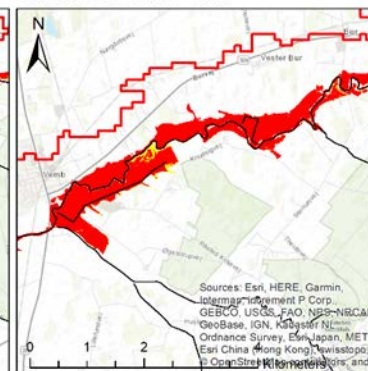
Simuleret vandstand 9/12 2015



Simuleret vandstand + 0.2m



Simuleret vandstand +0.5m



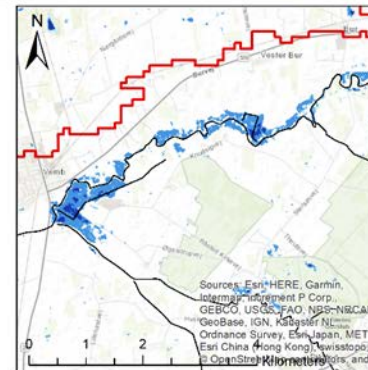
Vand på terræn

- > 0.5 m under terræn
- op til 0.5 m under terræn
- over terræn
- Modelvandløb
- Modelområde

Oversvømmelse 09. december 2015

Baseret på Sentinel 1

- Lav sandsynlighed for oversvøm og ikke i reference
- Høj sandsynlighed for oversvøm og ikke i reference
- Lav sandsynlighed for oversvøm og åben vand i reference
- Altid åben vand
- Kun oversvøm i reference



Konklusioner

- Modeller giver **mulighed for at vurdere grundvandsstandens udvikling samt vurdere evt. inkonsistenser** i modelstruktur og data (vandbalance og pejlinger)
- **Klimaændringer peger på øget terrænnær grundvandsstand** (både midelværdi og typisk høj grundvandsstand)
- Der er **behov for nye beregninger ud fra AR5 / Cordex af effekter af klimaændringer** med forbedret DK model. Effekter er stedspecifikke, der er behov for beregninger i 100 m
- FODS 6.1 har resulteret i **forbedret simulering af terrænnært grundvand og tidslige variationer** (flere pejledata, ny CRPS kalibrering, 100 m model og tilpasning i forhold til Danmarks Højdemodel => nedskalering til 10m)
- Herved kan der udtrækkes **relevante kort der viser risiko for oversvømmelse** fra terrænnært grundvand og vandløb med udbredelse i terræn til screeningsformål (incl. kort over "overskridelsessandsynligheder")
- Resultater fra de to oplande for valideringsperioden (2009-2015) tyder på at **modeller simulerer lidt for lav afstrømning, vandstand i vandløb og grundvandsstand i forhold til observationsdata** (QH-stationer og pejlinger)
- **"Behov for bedre monitoring af terrænnært grundvand** (flere kontinuerte tidsserier). Pejledata skal samles og gøres tilgængelige via JUPITER

Tak for opmærksomheden!

Mere information:

Klimatilpasning.dk. GEUS rapporter om klimaeffekter på hydrologi og grundvand baseret på den Nationale Vandressource model (DK model).

- Hans Jørgen Henriksen, Anker Lajer Højberg, Martin Olsen, Lauren P. Seaby, Peter van der Keur, Simon Stisen, Lars Troldborg, Torben O. Sonnenborg og Jens Christian Refsgaard, GEUS. 2012. *Klimaeffekter på hydrologi og grundvand*. <http://www.klimatilpasning.dk/media/340310/klimagrundvandskort.pdf> GEUS 2012
- Hans Jørgen Henriksen, Martin Olsen og Lars Troldborg, GEUS. 2013. *Klimaeffekter på hydrologi og afstrømning. Klimaekstremvandføring*. <http://www.klimatilpasning.dk/media/734554/klimaekstremvandføring.pdf>
- Hans Jørgen Henriksen, Bo Pang, Martin Olsen, Torben Sonnenborg, Jens Christian Refsgaard & Henrik Madsen. GEUS. 2014. *Klimaeffekter på ekstremværdiafstrømninger. Fase 2 Usikkerhedsvurdering*. http://www.klimatilpasning.dk/media/877909/Final_report_GEUS_2014_38.pdf GEUS 2014

FODS 6.1 initiativ - Fælles data om terræn, klima og vand [GEUS 2018]:

- Simon Stisen, Raphael J.M. Schneider, Maria Ondracek og Hans Jørgen Henriksen. GEUS. 2018. *Modellering af terrænnært grundvand, vandstand i vandløb og vand på terræn i Storå og Odense Å. Slutrapport FODS 6.1 fast track metodeudvikling*. <http://dk.vandmodel.dk/media/20177/36-2018-geus.pdf> GEUS 2018 FODS 6.1

National Vandressource model (DK model):

- Om modellen, publikationer, links, adgang til VandWeb mm.: <http://dk.vandmodel.dk/>