

# Metoder til beregning af oversvømmelser fra nedbør



Water Consult (Recipienthydraulik)  
Greve Kommune og Forsyning (klimatilpasning)  
Selvstændig (Hydraulik og klimatilpasning)



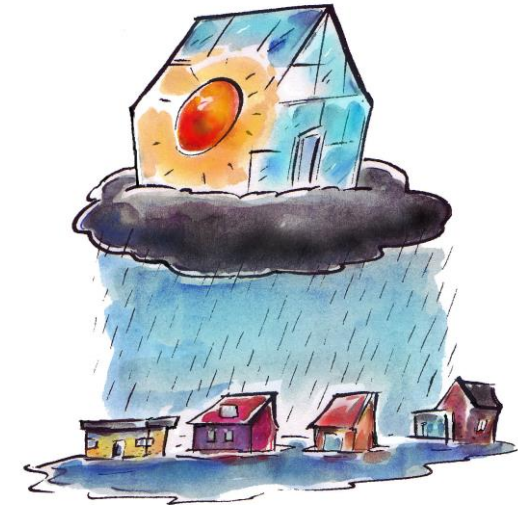
Birgit Krogh Paludan  
Civilingeniør, hydrauliker  
M. Sc. Engineering

Telefon: 30 66 30 90

[www.birgitpaludan.dk](http://www.birgitpaludan.dk)

# Indhold

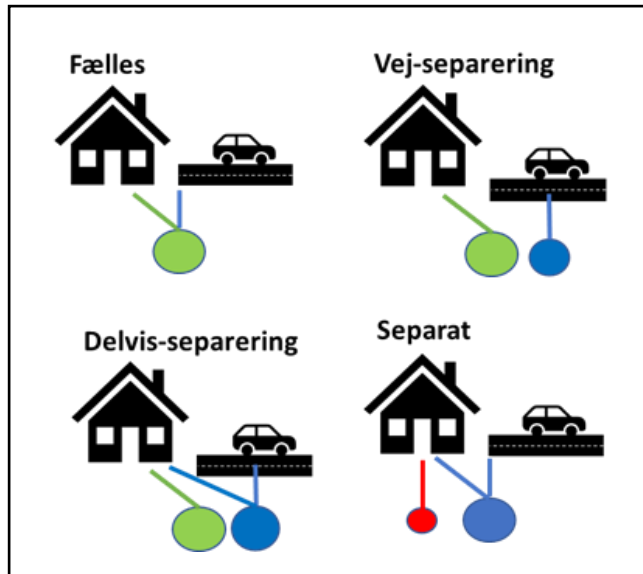
- Anvendelser af oversvømmelseskort
- Metoder til beregning af oversvømmelser fra nedbør – Klimametret
- Forudsætninger og rammer
  - Regn
  - Faktorer: usikkerhed, klima, fortætning
  - Randbetingelser: vandløb, søer og hav



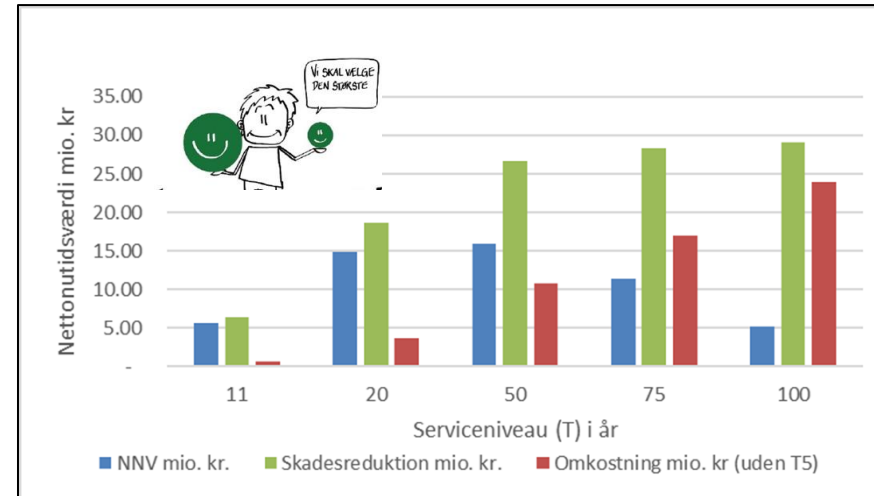
# Anvendelser af oversvømmelseskort

→ Skadesberegninger

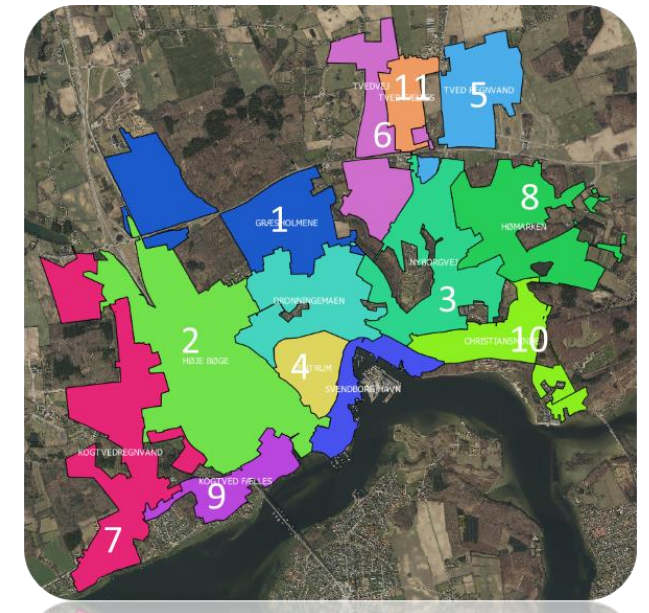
## Valg af afløbssystem



## Valg af serviceniveau



## Prioritering af klimatilpasning



Beredskab mm...

# Grundlag

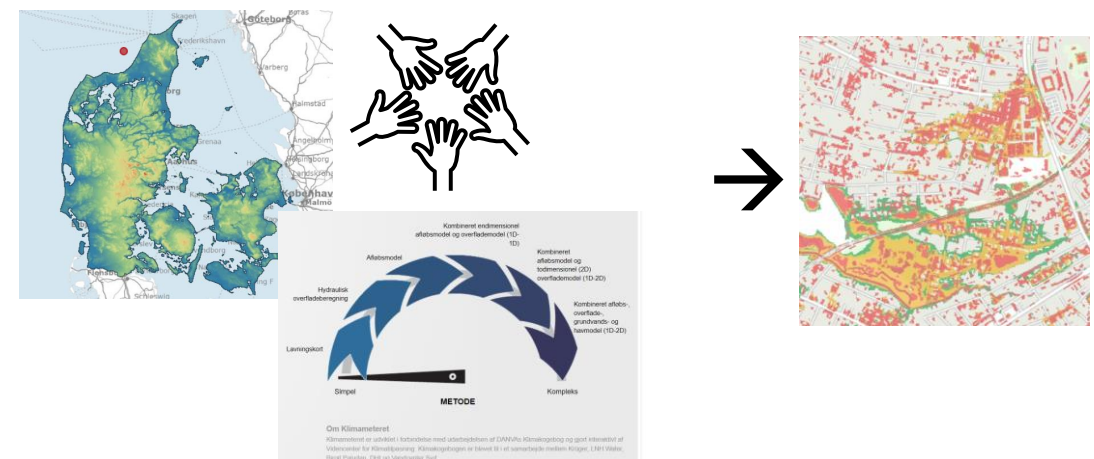
## Samfundsøkonomisk analyse:

- Oversvømmelsesudbredelser og vanddybder for forskellige sandsynligheder/gentagelsesperioder for at beregne skader og risiko

## Oversvømmelseskort

- Terrænmodel
- Vælge hydraulisk model fra hulkort til avancerede hydrauliske modeller
- Beslutte forudsætninger og rammer! for at beregne oversvømmelserne!

Oversvømmelses sandsynlighed	Værdi / skader DKR				Risiko						
0,1	0,1	0,1	0,05	4	4	3	3	0,4	0,4	0,3	0,15
0,2	0,2	0,1	0,05	1	4	3	3	0,2	0,8	0,3	0,15
0,2	0,1	0,05	0,02	2	2	1	1	0,4	0,2	0,05	0,02
0,05	0,05	0,02	0	2	2	1	1	0,1	0,1	0,02	0



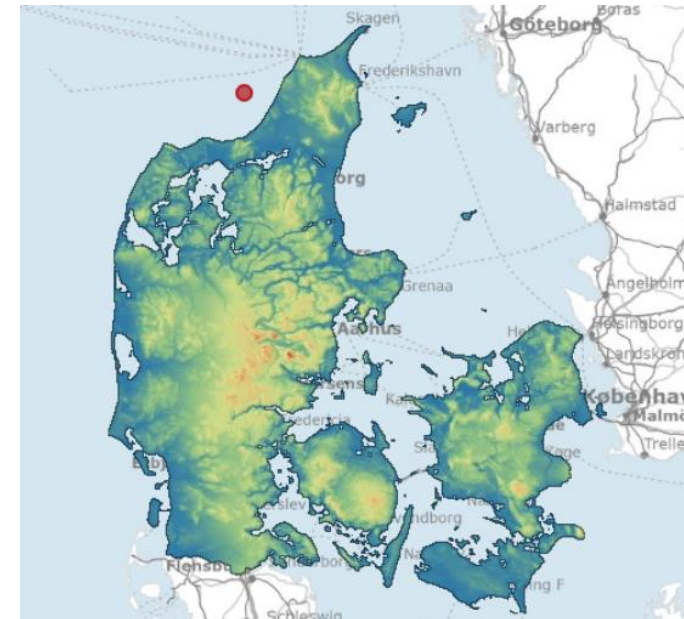
# Terrænmodel

- Digital terræn model (DTM) - En digital model af terrænets højde i forhold til det gennemsnitlige havniveau (40 x 40 cm)
- Bør kvalitetssikres!

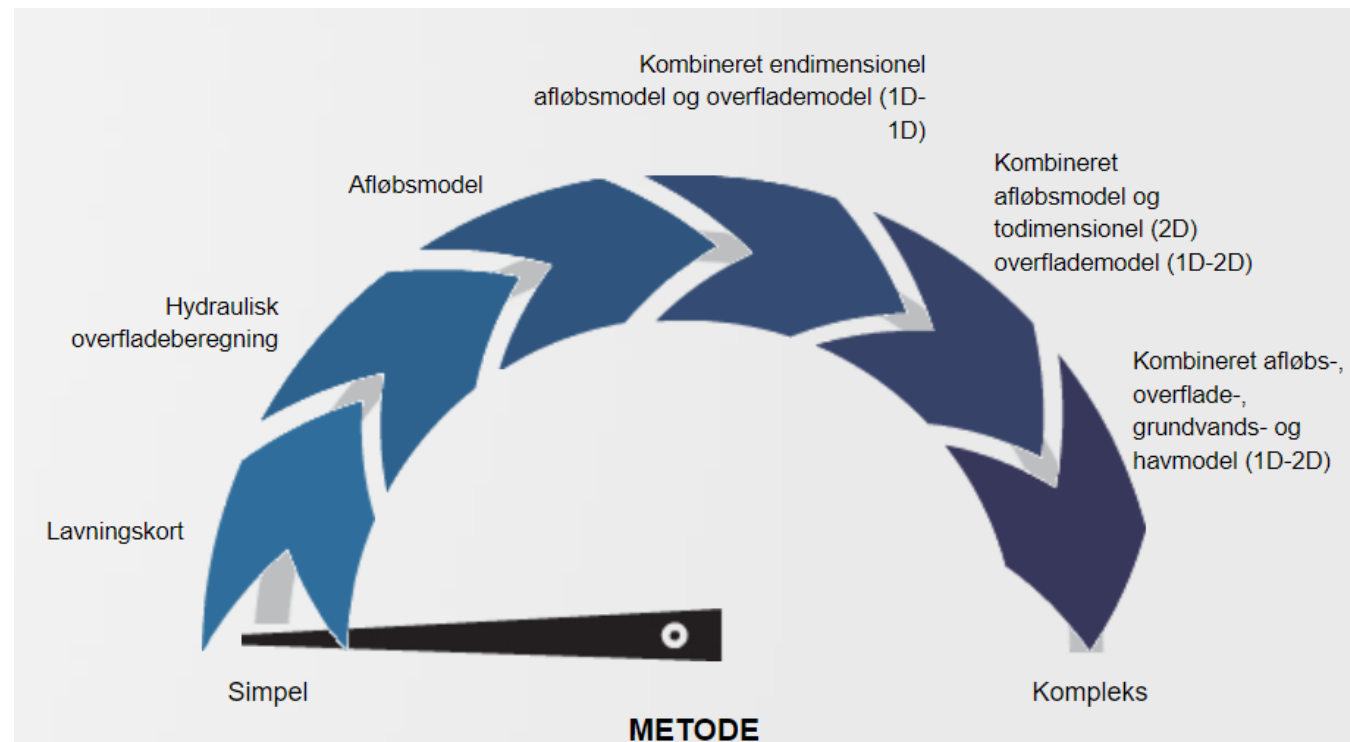


Lokale tilretninger f.eks. Langagergård projektet indlægges i DTM data - indarbejdet i DK-DTM  
Overflademodellen skabes omgivet for flow gennemløber og ligger

(reference: DANVAS klimakogebog)



# Hydraulisk model Oversvømmelser fra regnvands- og fællessystemer og bynære vandløb - forskellige detaljeringsniveauer (og fra hav)



<https://www.klimatilpasning.dk/media/1909350/klimakogebog-3.pdf>

## Om Klimameteret

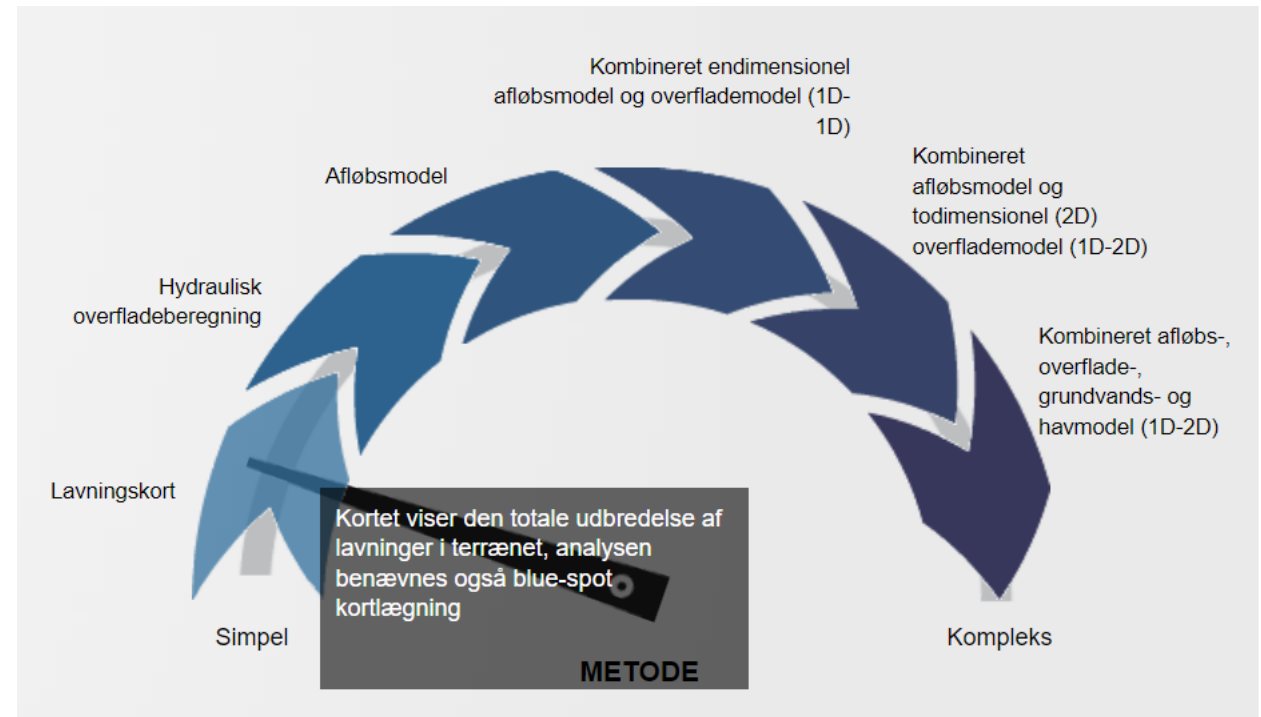
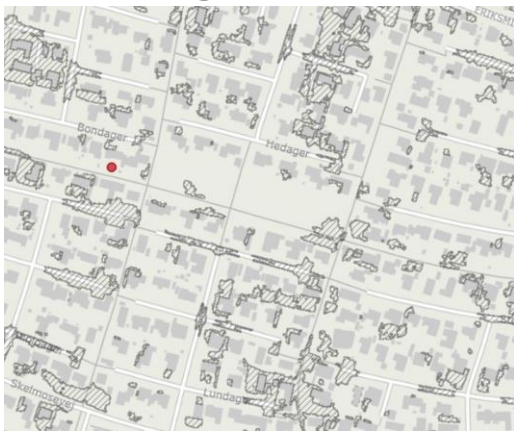
Klimameteret er udviklet i forbindelse med udarbejdelsen af DANVAs Klimakogebog og gjort interaktivt af Videncenter for Klimatilpasning. Klimakogebogen er blevet til i et samarbejde mellem Krüger, LNH Water, Birgit Paludan, DHI og Vandcenter Syd.

IWA 2006  
**Klimakogebogen**  
 Udarbejdet: 2008,  
 opdateret: 2011 og 2022  
 Animeret af MST til  
[klimatilpasning.dk](http://klimatilpasning.dk)



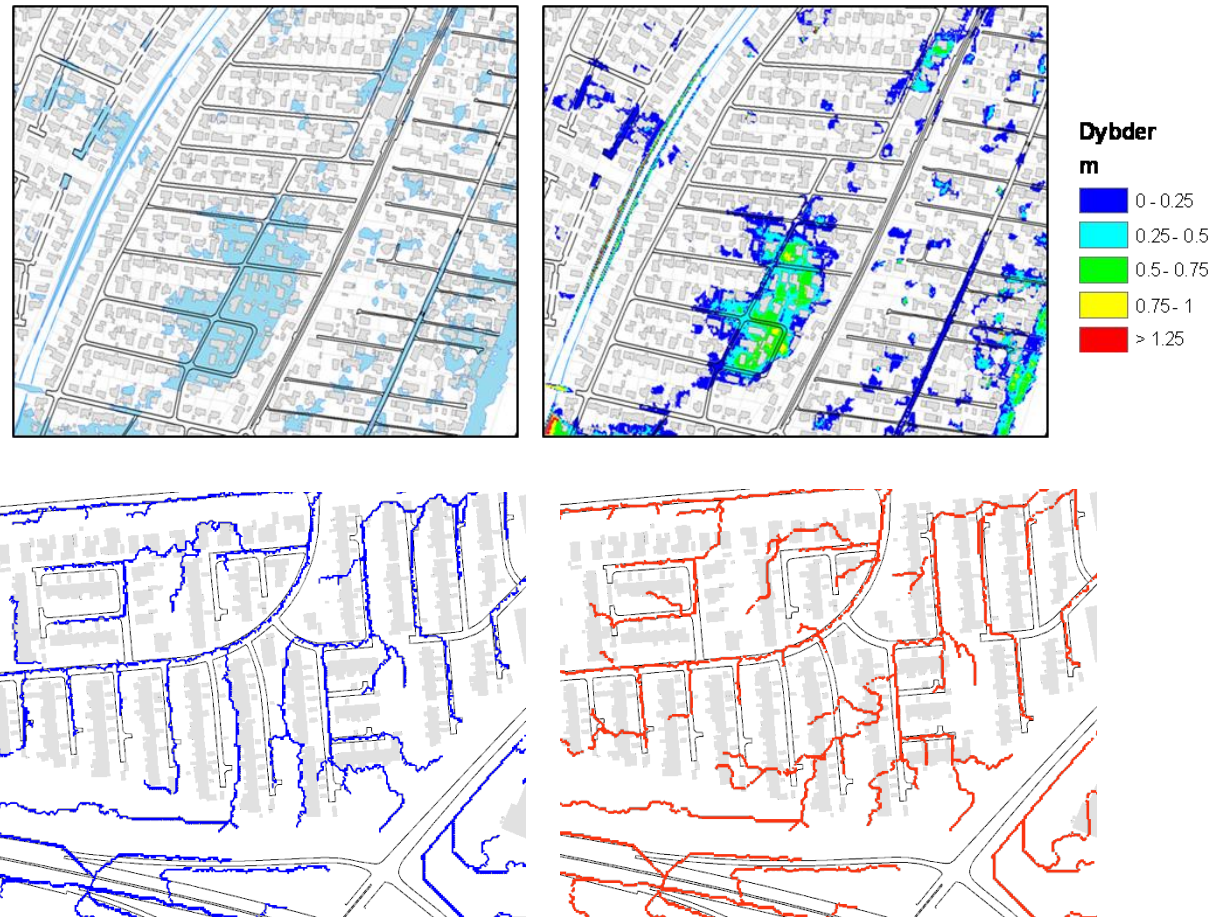
# Hulkort, bluespot, lavninger - kært barn har mange navne

- Glasplademodel baseret på terrænmodellen
- Ingen afløbssystemer, dræn eller nedsivning
- Ubegrænset vandmængde og ingen hastighedsberegninger



# Resultat

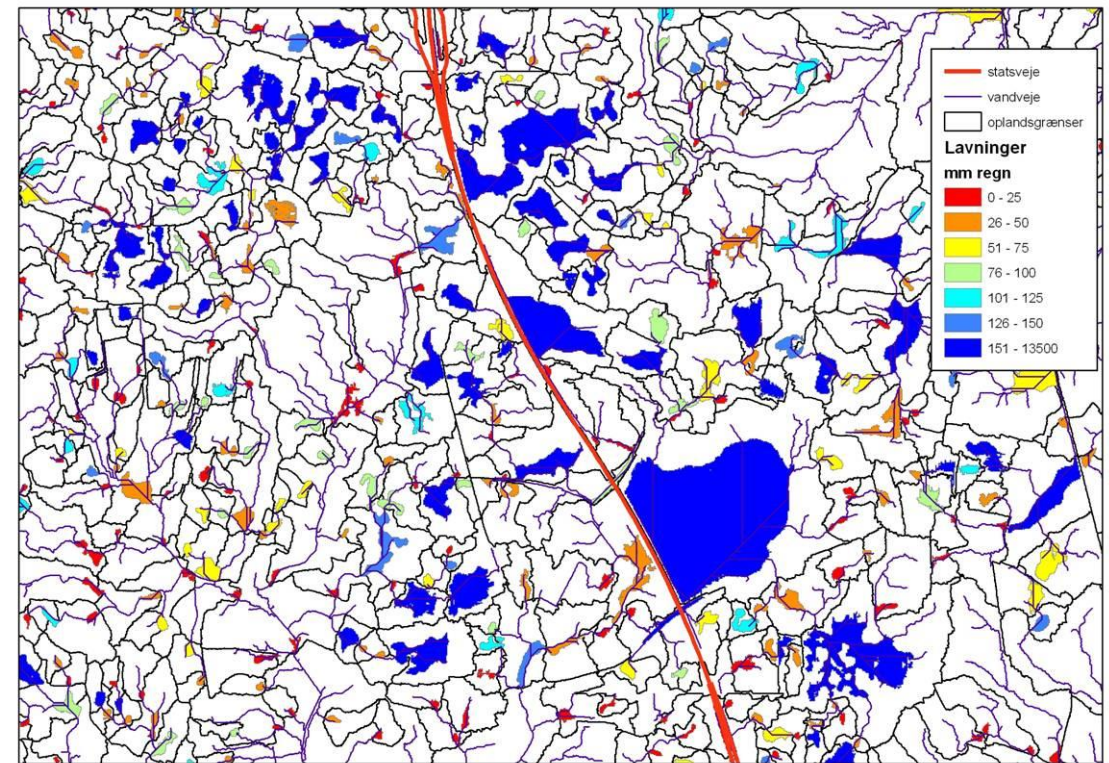
- Udpegning af lavninger og beregninger af lavningsdybder
- Strømningsveje på terræn – med og uden bygninger (overvej metode ud fra hvordan skadesberegningerne foretages!)





# Anvendelse

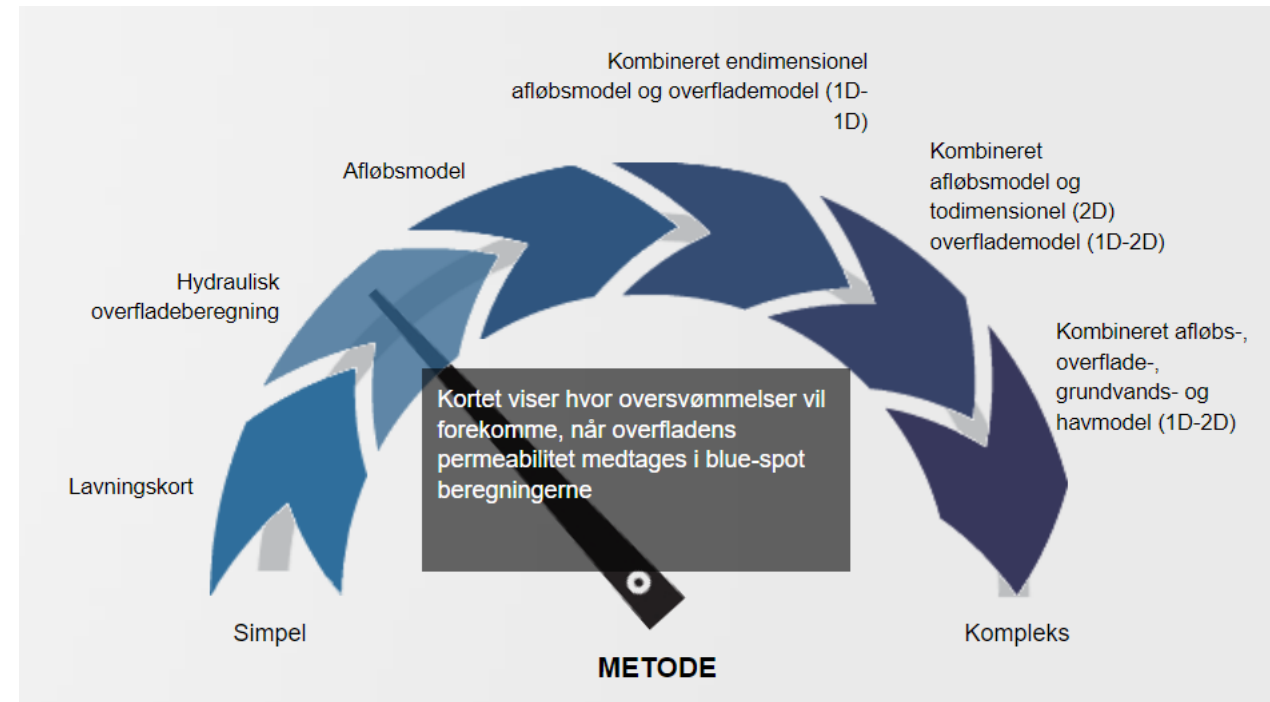
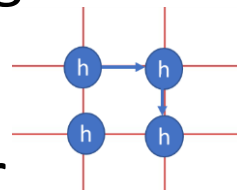
- mm regn der skal til for at fylde lavningerne
- Kan hentes på dataforsyningen
- Eller f.eks. beregnes via Scalgo: "Lavningskort"
- Internt brug i forvaltningen til beslutninger om at komme i gang!



Millimeter regn pr. lavning (Vejdirektoratet 2009).

# Hydraulisk overfladeberegning (2D)

- Nedbørsdybde medtages
- Medtag evt. reduceret areal og fjern evt. et bidrag fra nedbøren som repræsenterer afløbssystemet (ikke hydraulisk!) og nedsivning
- Enkel: hvor vil kuglerne på en overflade løbe hen (Scalgo med og uden nedsivning)
- Mere avanceret: 2D overfladeberegning hvor energitab/ruhed tages i regning (MIKE21, PC-SWMM)



# Resultat - Hydraulisk overfladeberegning

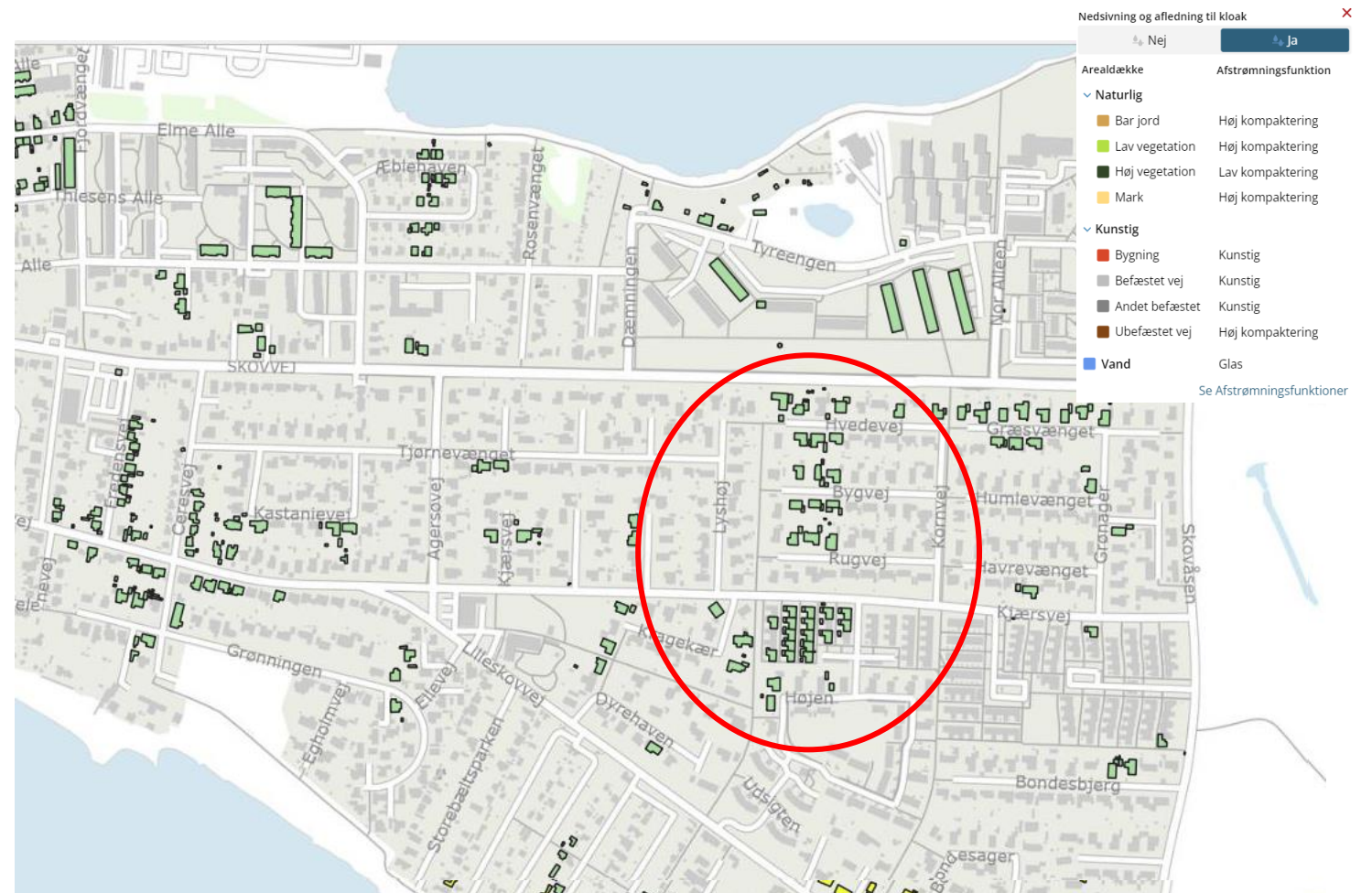
- Reduceret areal, nedsivning og "afløbssystem" fjerner en del af regninputtet



Grå som lavningskort (rød med nedsivning)

# Sammenligning mellem Scalgo med nedsivning og "afløb" og 1D2D oversvømmelseskort

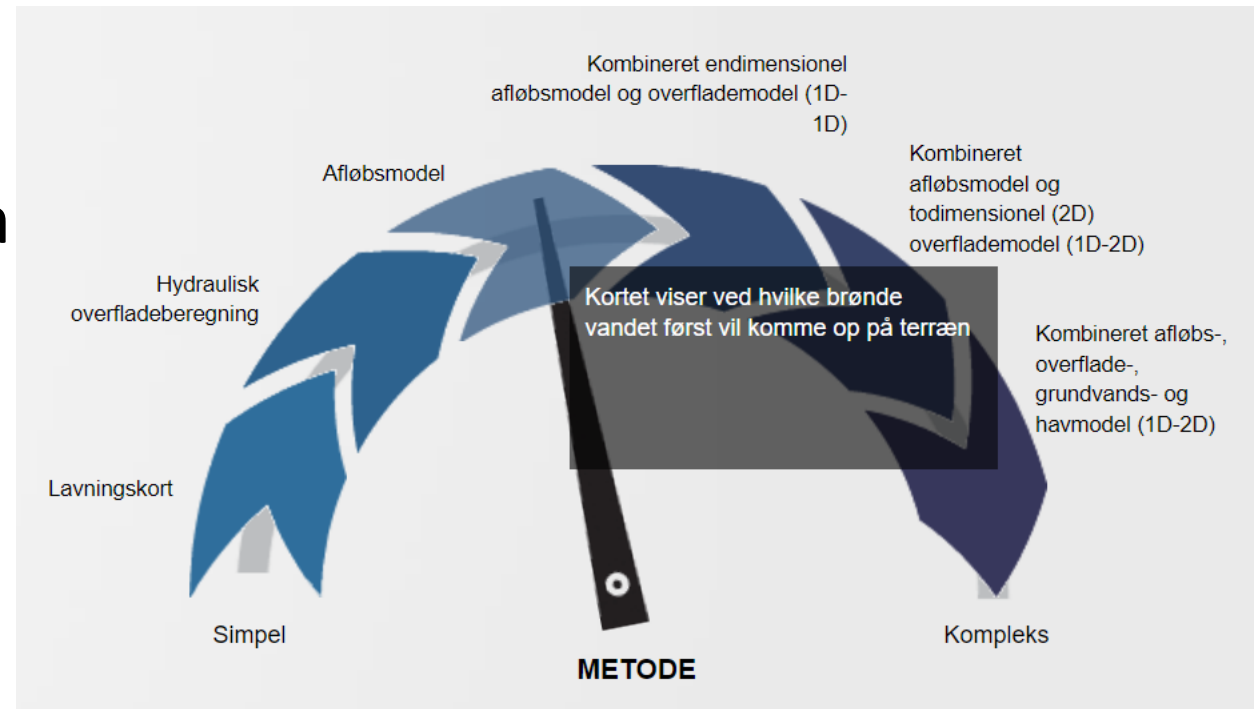
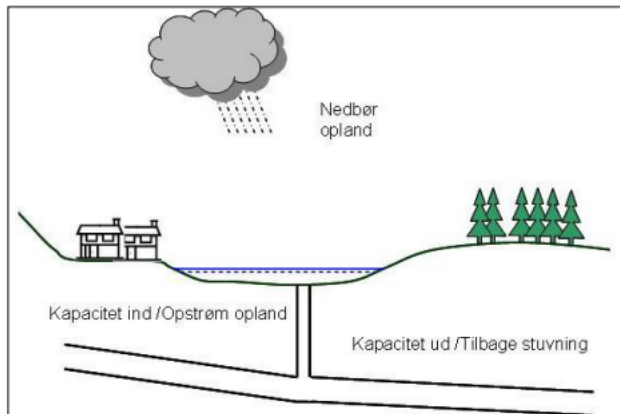
- Scalgo inkluderer
  - afstrømning fra grønne områder afhængigt af jordtypen
  - Simpelt afløbssystem (fast mm)
- 1D2D viser opstuvning i afløbssystem (senere!)
  - 10% afstrømning fra grønne områder
  - Begrænsning i afløbssystem!





# Afløbsmodel (1D)

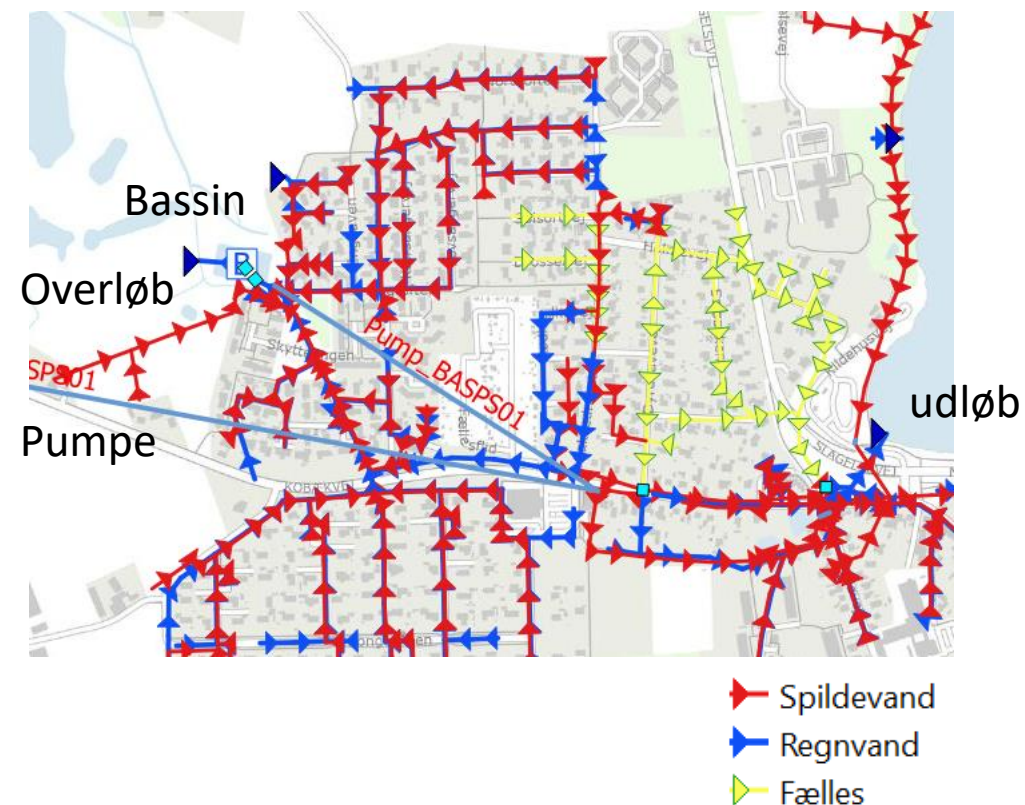
- Simulerer afstrømningen i ledninger og kanaler
- Medtager alle hydrauliske forhold I AFLØBSSYSTEMET men ikke på terræn





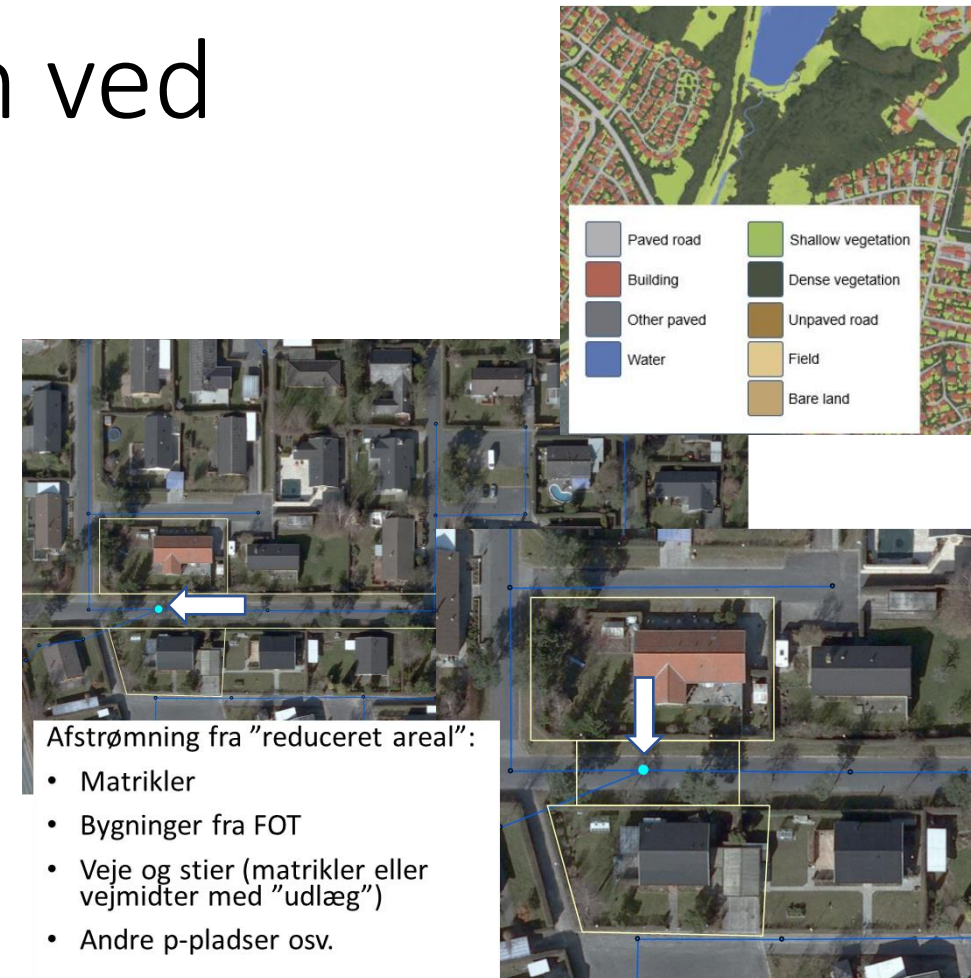
# En urban afløbsmodel

- Knuder: brønde, udløb, overløb, bassiner mm
    - Bundkote, terrænkote, kritisk kote, overløbskote og dimensioner
  - Ledninger: rør eller kanaler/vandløb som forbinder knuderne
    - Diameter, længde, ruhed
  - Bygværker: Pumper mm
    - Pumpekurver osv.
- Baseret på ledningsdatabaser og tegninger



# Der kommer vand i modellen ved

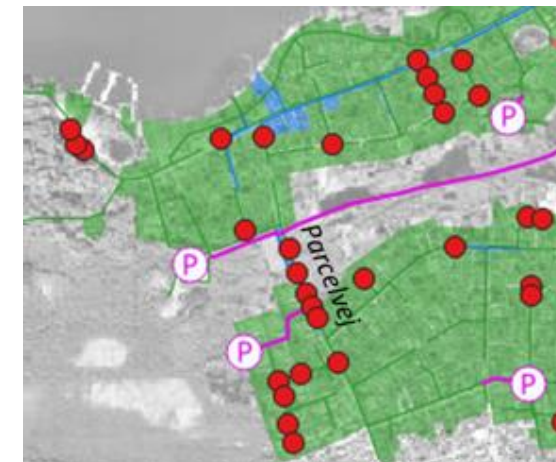
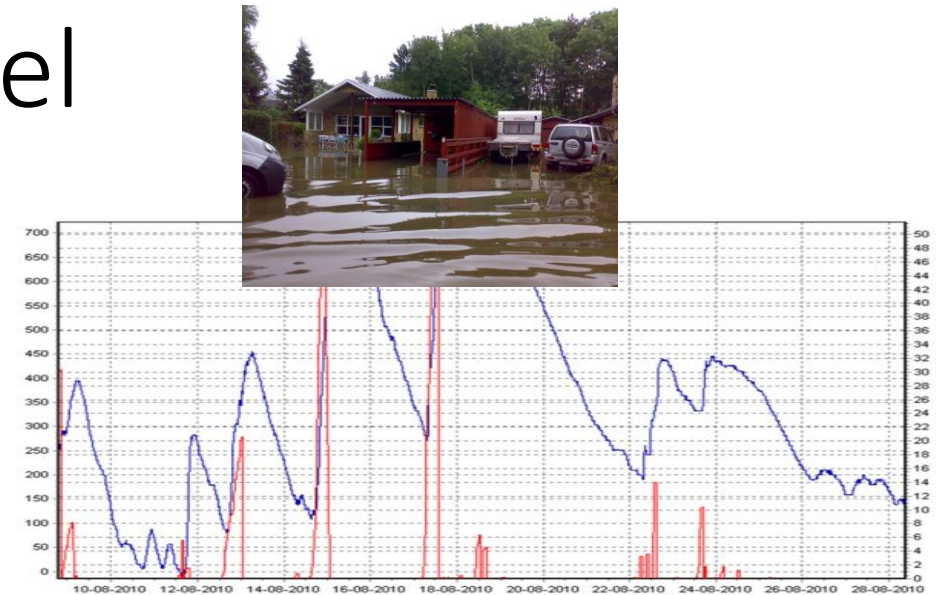
- Nedbør defineres og sættes som input
- Afstrømning defineres og linkes til knuder
  - Befæstet areal både urbant og ruralt opland
  - Afstrømningstid (hurtigt urbant, langsom ruralt)
  - Hydrologiske faktorer kan defineres
  - Baseflow (i kanaler og vandløb, evt. indsivning i kloak)
  - Spildevandsflow (i de fleste tilfælde ikke relevant for nedbørsoversvømmelsesberegninger - størrelsesorden)





# Resultat - urban afløbsmodel

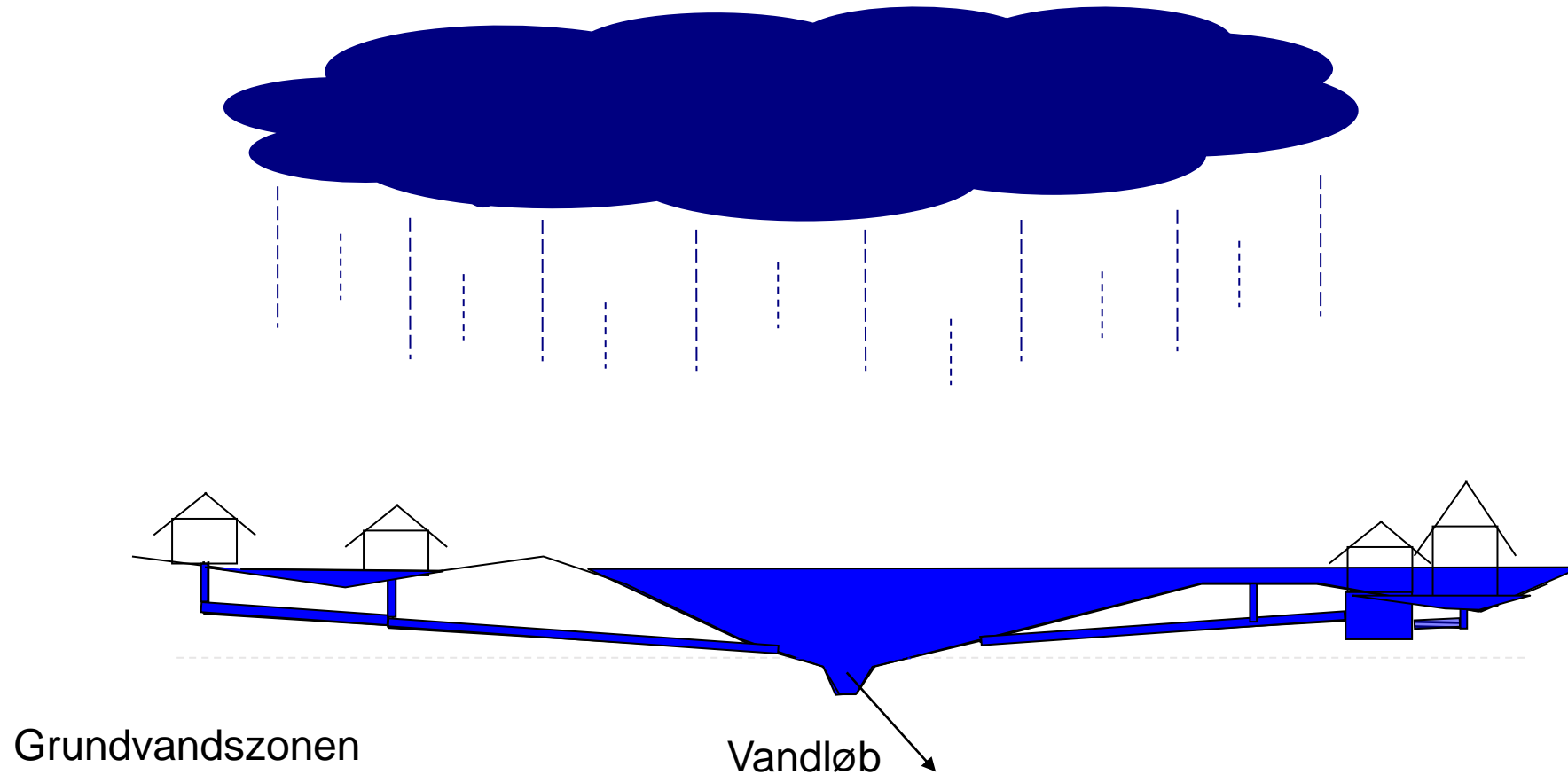
- Beregner: vandføring i ledninger og bygværker samt vandstand i brønde og bygværker
- Oversvømmelser når kapaciteten af afløbssystemet overskrides
- "Mæslingekort" – beregner kun hvor der kommer vand ud på terræn – ikke volumen og strømningsveje
- Typisk: MIKE+ og SWMM
- Randbetingelser: tit konstante, men overvej grundigt at implementere vandløb!



## Hydrologisk kredsløb

(ved meget vand over længere tid – ”koblet regn”)

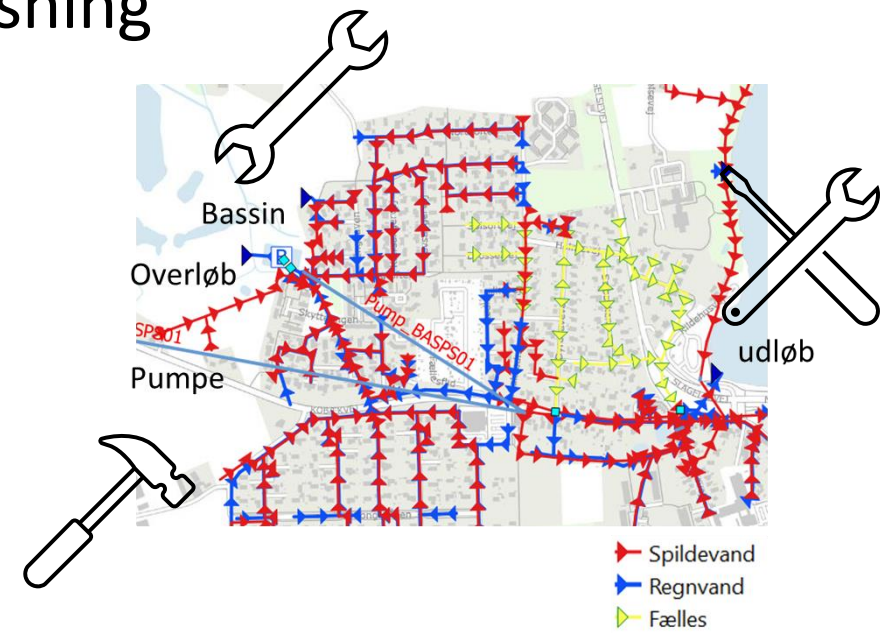
*Vi skal se på hele vandkredsløbet*



# Anvendelse

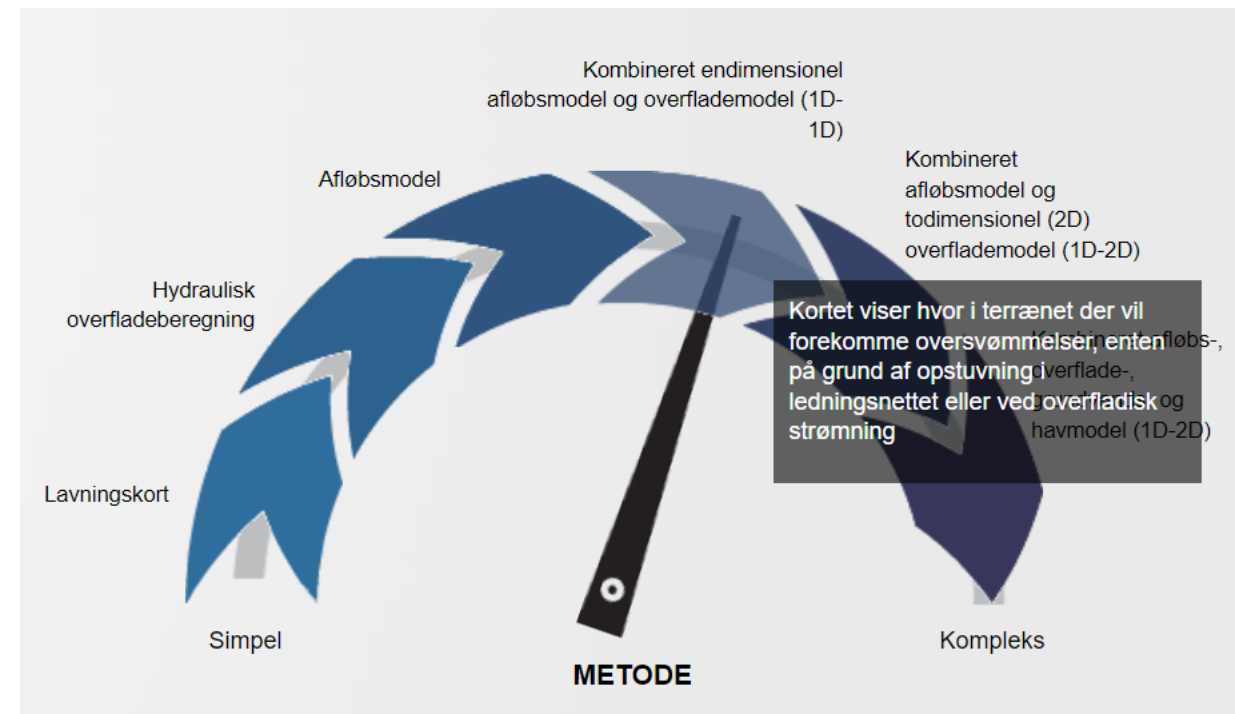
- Hvor er kapaciteten begrænset – hvor skal vi være særligt opmærksomme? ("mæslingekort")
- Dimensionering af afløbssystemer
- Prioritering af planlægningen af klimatilpasning

OBS: validering



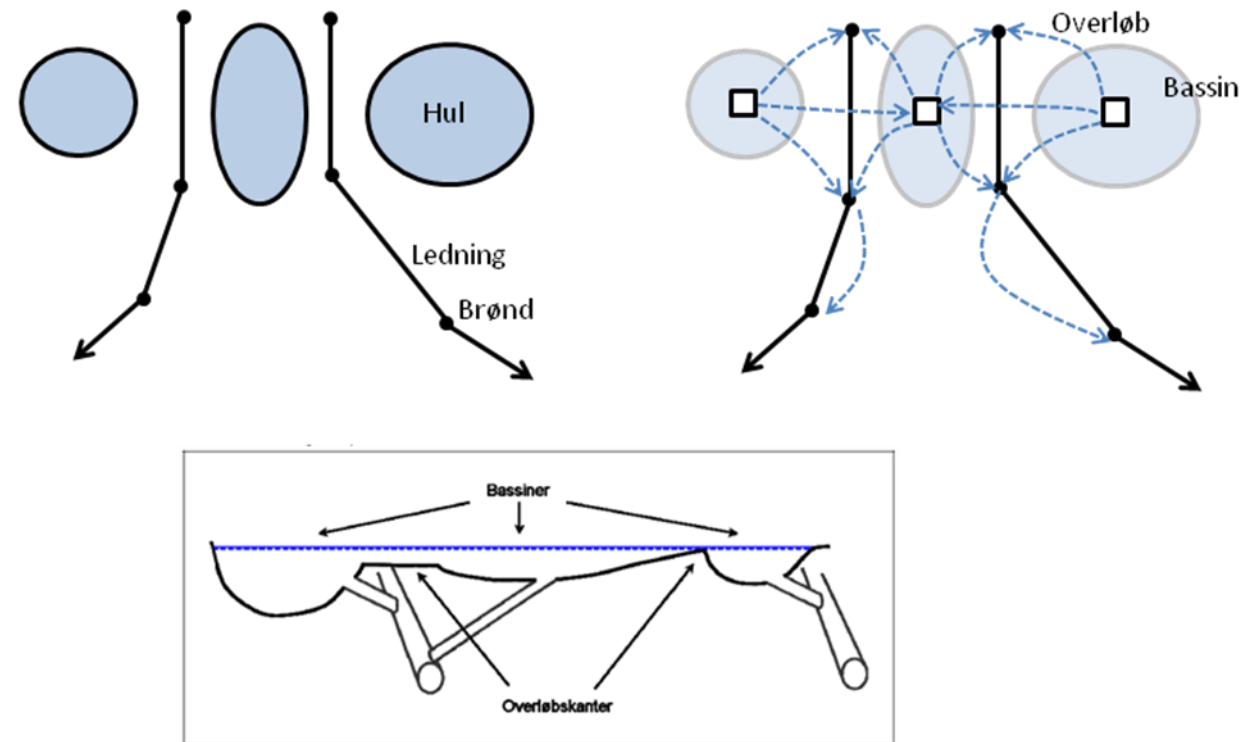
# Kombineret afløbsmodel og overflade model (1D-1D)

- Dynamisk afløbsmodel og volumenbalance i lavninger
- Afløbsmodel og lavninger
- MIKE+, SWMM



# Kombineret afløbsmodel og overflade model (1D-1D)

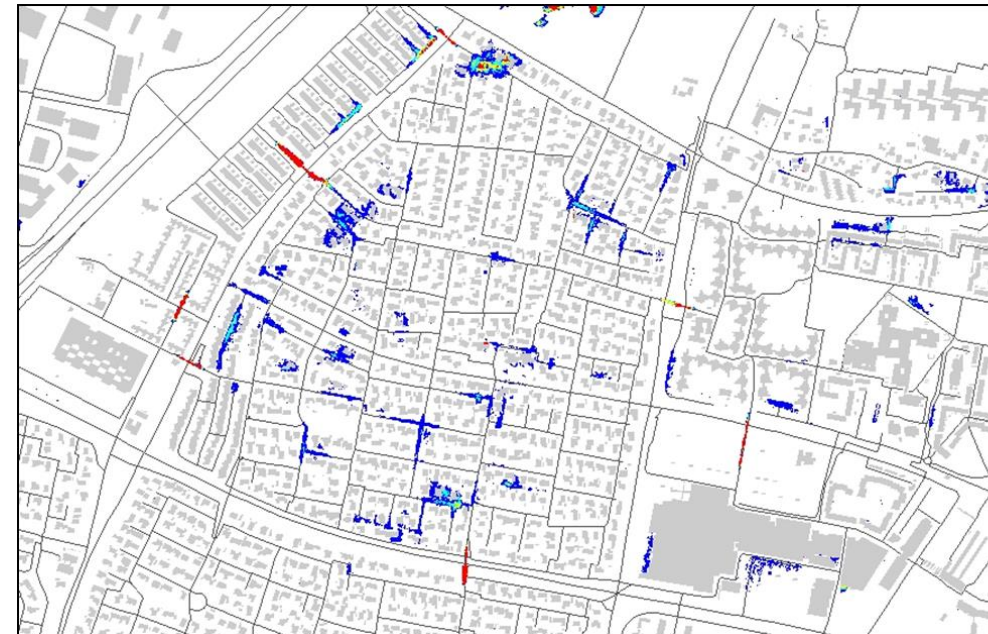
- Simulerer afstrømningen i ledninger og kanaler
- Afstrømning til og på terræn via overløb til og mellem lavninger (bassiner)
- Simulerer ikke vandføring (og hastighed) på terræn mellem lavningerne (udenfor render)
- Medtager vand på terræn men ikke strømning på terræn
- Nøjagtigheden afhænger af tærskelværdien (overløbshøjden) mellem lavningerne!



Reference: DANVAs klimakogebog

# Resultat - Kombineret afløbsmodel og overflade model (1D-1D)

- Udbredelse og vandstand men kun i lavninger ikke information om højeste vandstand på terræn udenfor lavningerne på f.eks. veje



Dybde

0-20 cm

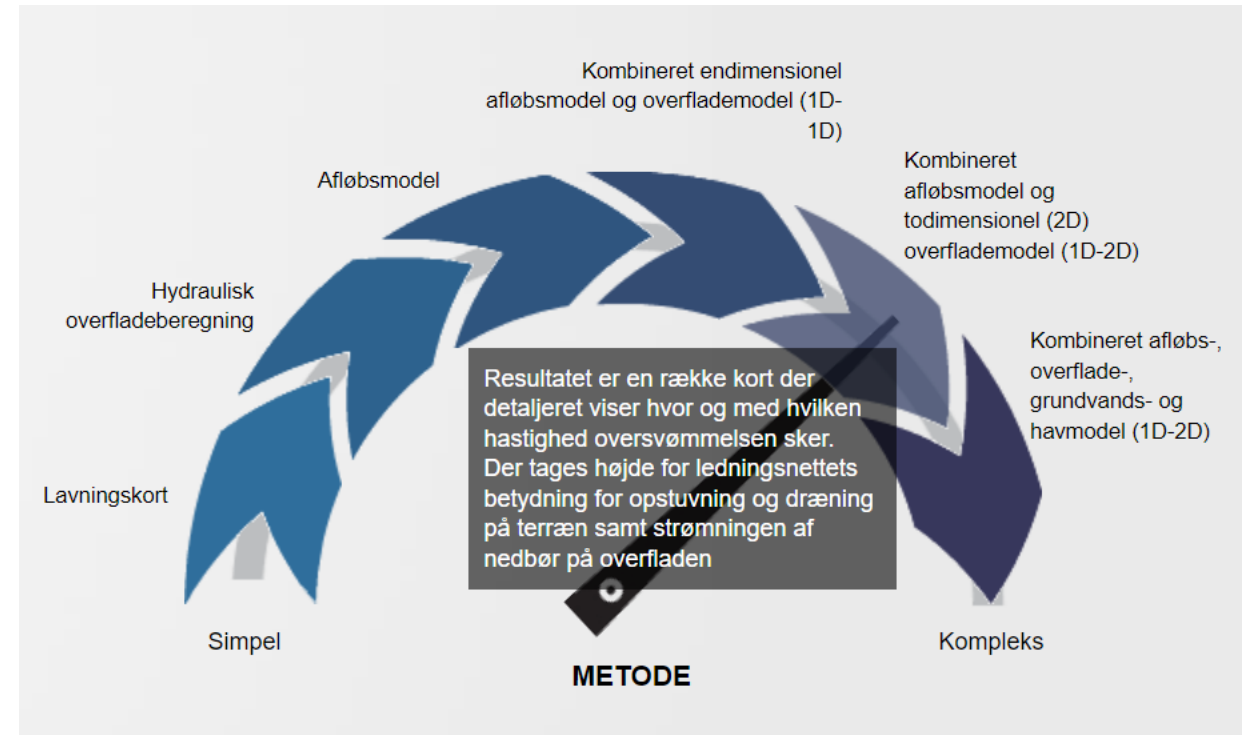
20-30 cm

30-40 cm

Over 40 cm

# Kombineret afløbsmodel og overflade model (1D-2D)

- Dynamisk afløbsmodel og dynamisk hydraulisk overflade model
- Medtager hydraulisk strømning på terræn
- Simulerer vandføring (og hastighed) på terræn
- Kan vise maksimale vandstande alle steder i modellen også udenfor lavningerne
- MIKE Flood, PC-SWMM

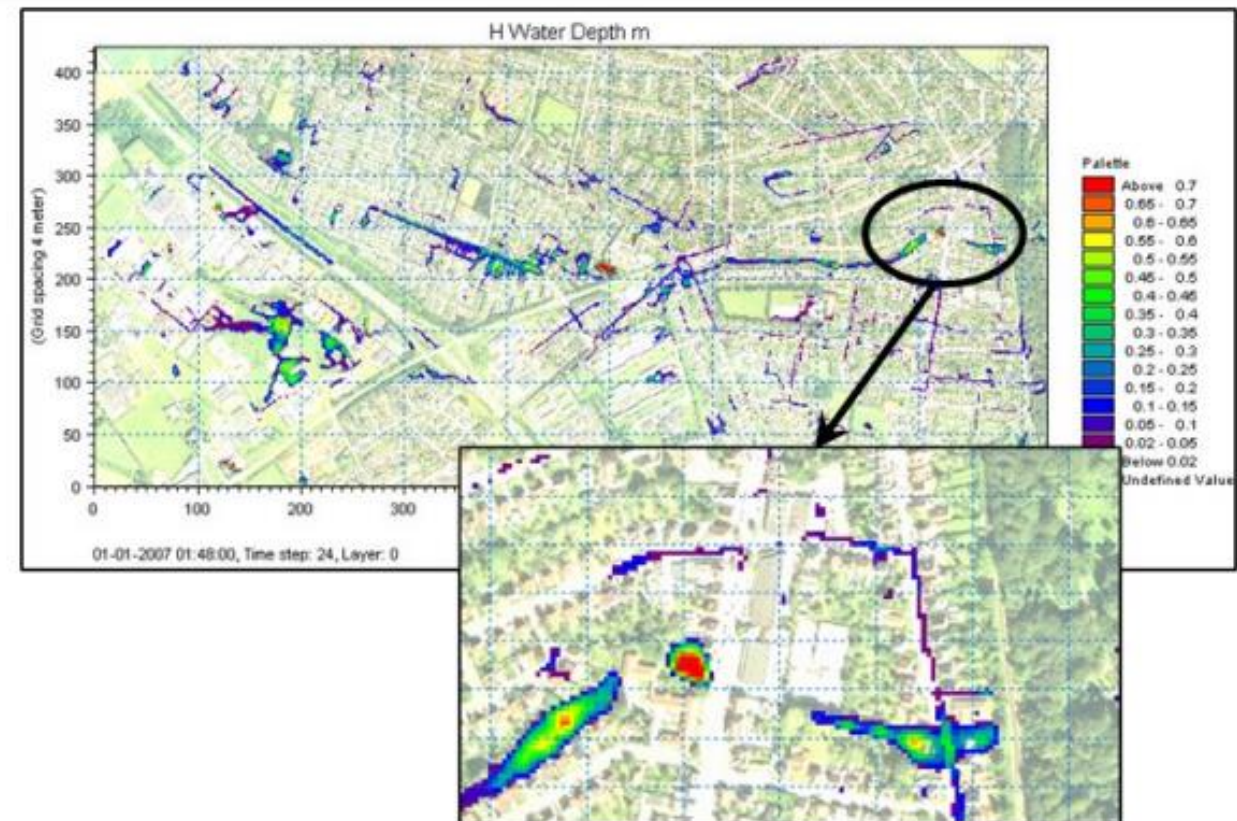


# Resultat - Kombineret afløbsmodel og overflade model (1D-2D)

- Vandstande, udbredelser, vandhastighed og vandføring

## Obs

- Undgå dobbelt voluminer
- Overvej hvilke brønde der skal kobles
- Validering af model (?)
- Uanset detaljeringsgrad – husk det er usikkert!
- Overvej hvilken værdi ekstra arbejde giver i forhold til usikkerheden

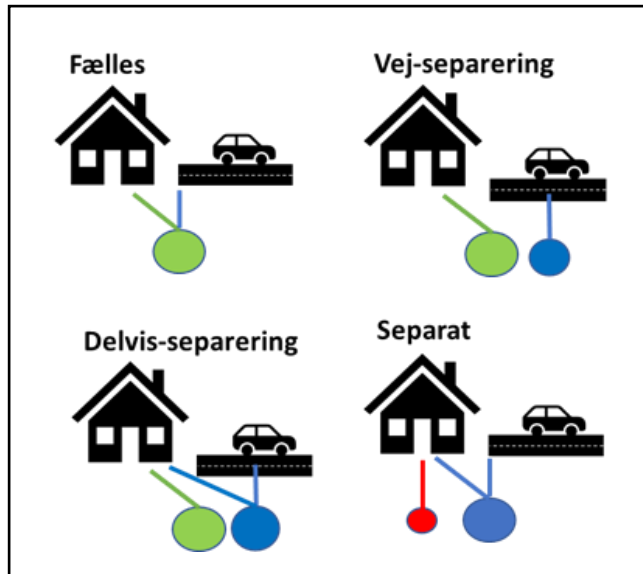




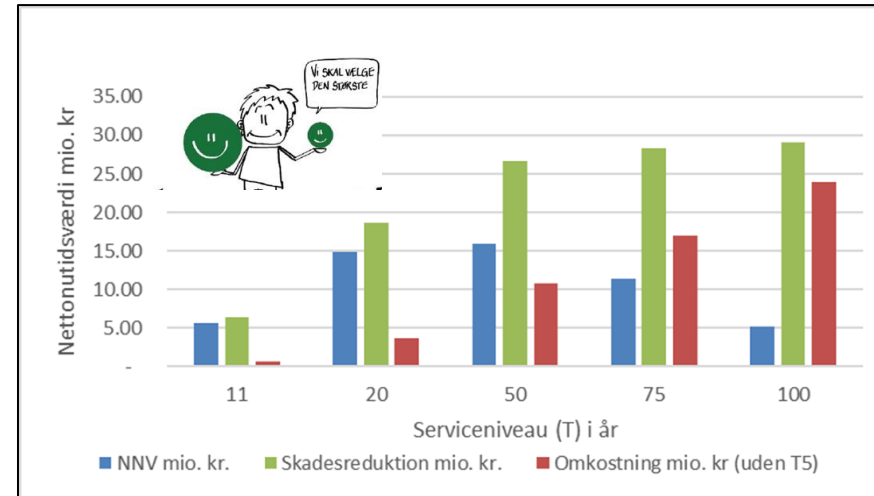
# Anvendelse (1D-1D & 1D-2D)

→ Samfundsøkonomiske beregninger

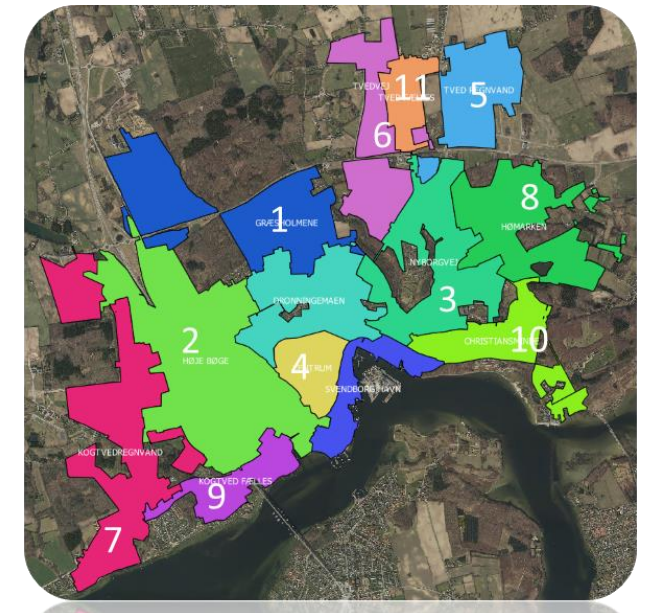
## Valg af afløbssystem



## Valg af serviceniveau



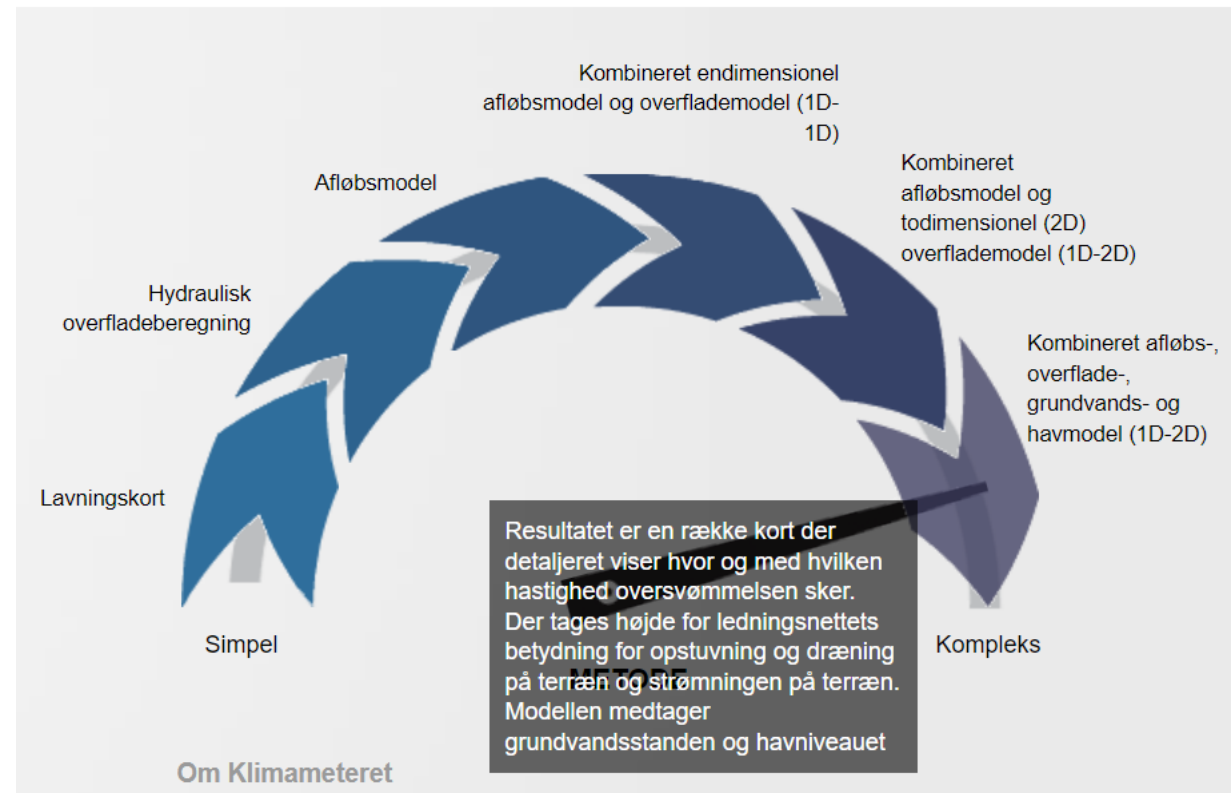
## Prioritering af klimatilpasning



Beredskab mm...

# Kombineret afløbs-, grundvands- og havmodel med en overflade model (1D, 2D/3D, 2D/3D - 2D)

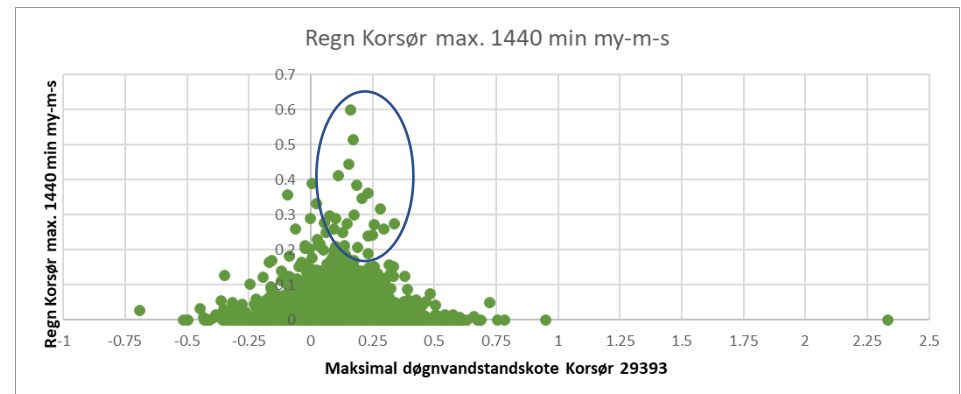
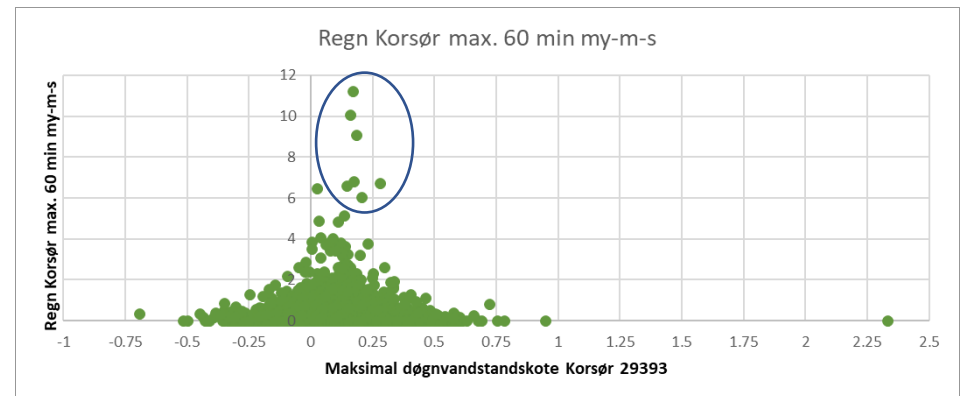
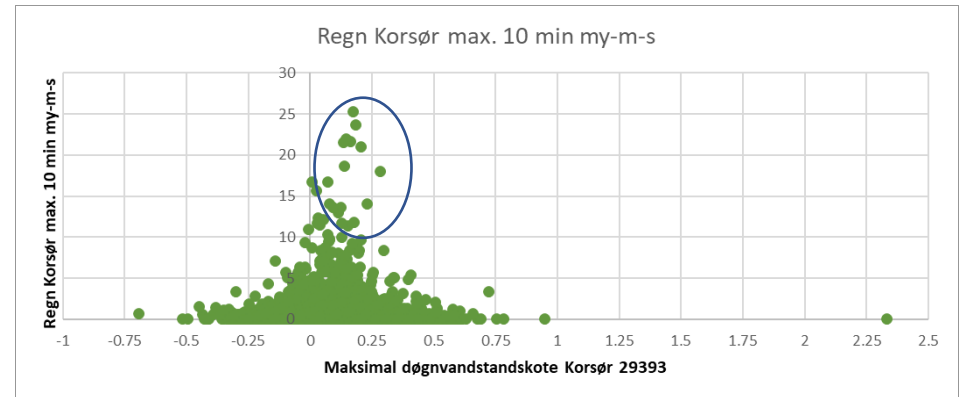
- Samme kombinerede 1D-2D model men med randbetingelser for grundvandsstand og hav som simuleres samtidig med afløbssystemet.
- For at modellen giver mening, skal der være sammenfald mellem ekstremer for f.eks. havvandstand og regn (ellers konstant!)
- Usikkerhed!
- (→ tung model)



## Regn vs. vandstand i havet (status)

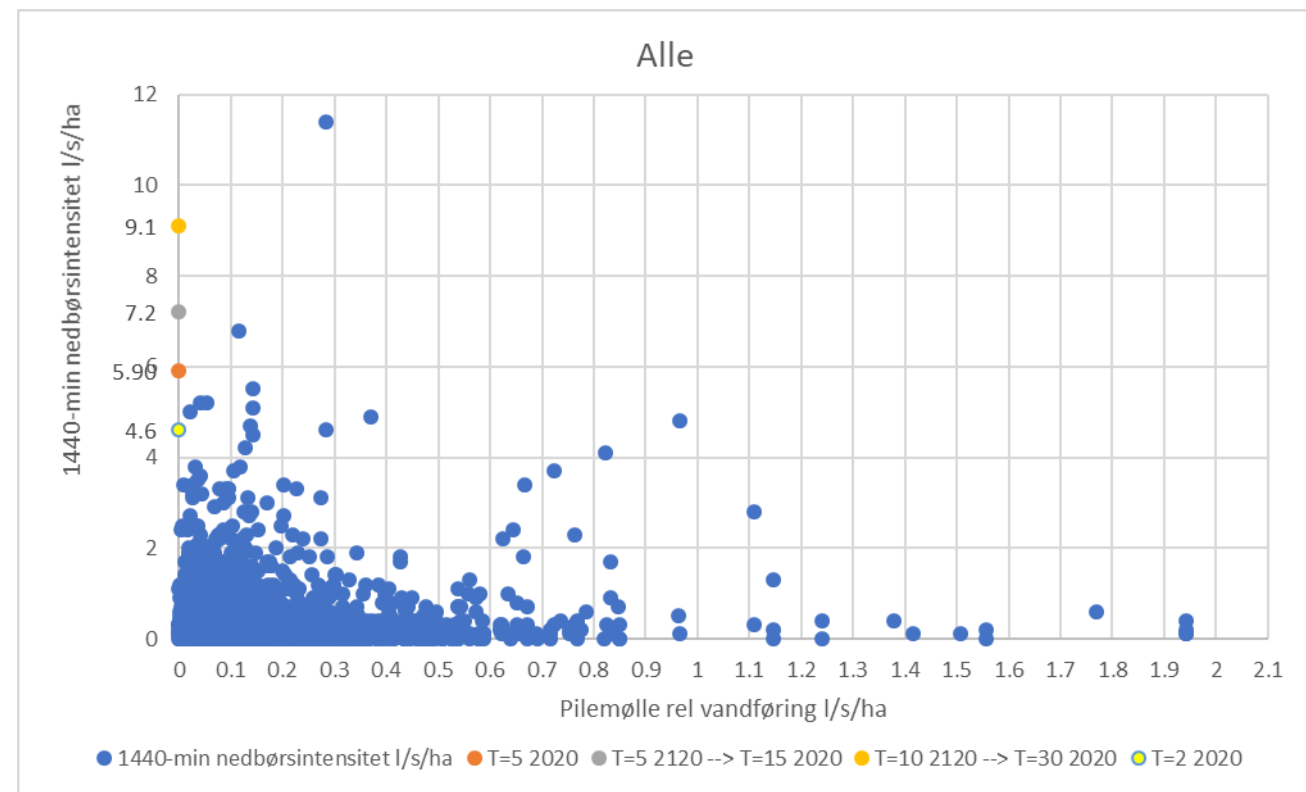
- Højintensregn ved vandstande  $< 0,25$  m
- Langvarig regn ved vandstande  $< 0,3$  m
- Brug  $0,3$  m som design vandstand

Slip for havmodellen 😊

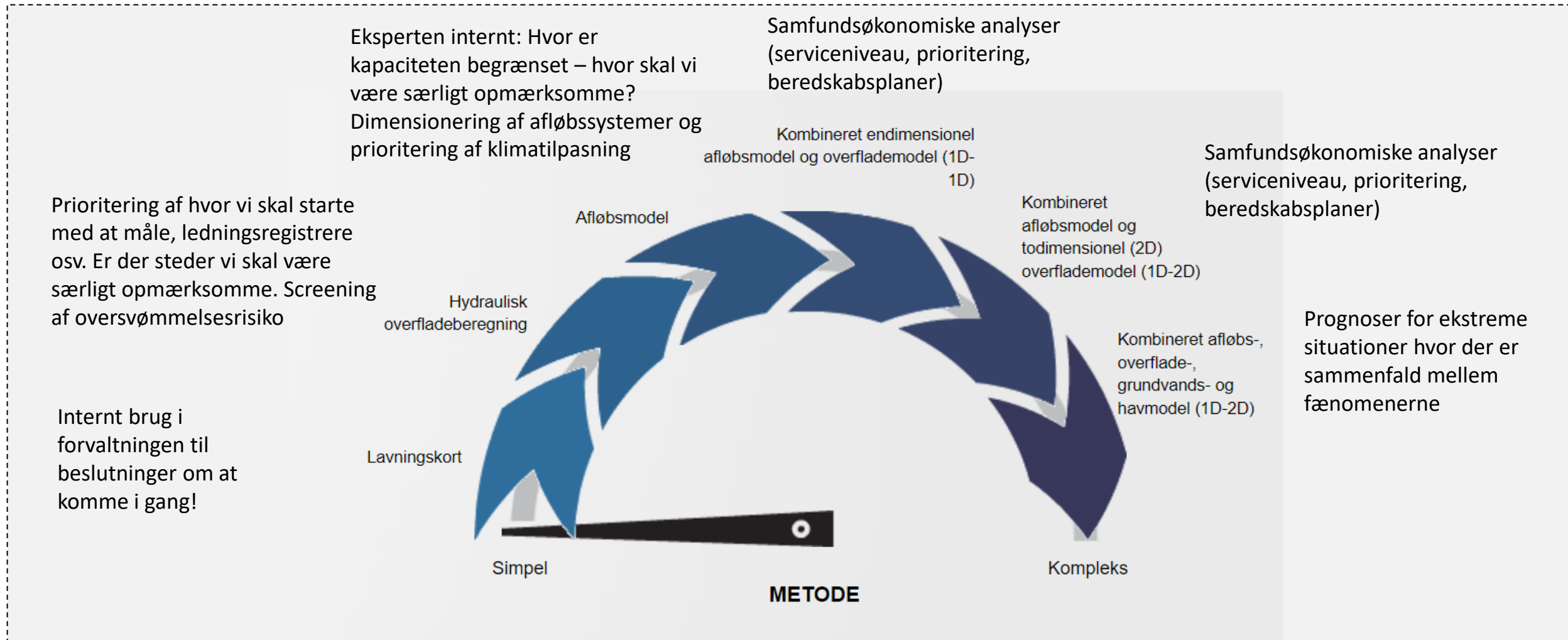


# Regn og vandføring i vandløb (grundvandsstand)

- Sammenfald mellem dimensionsgivende regn og regn og vandføring i vandløb?
- Vandføring i vandløb i nogen tilfælde repræsentativ for grundvandsstanden

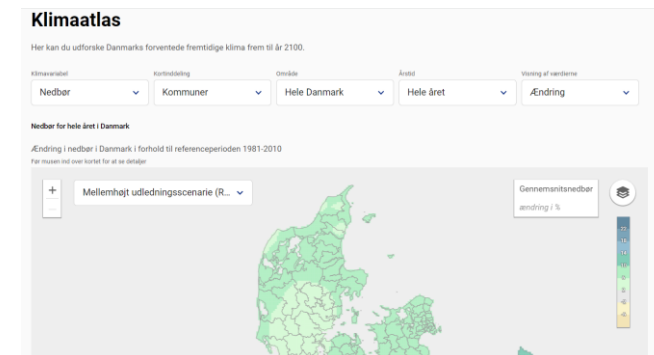


# Hvad er bedst – til hvad??



# Forudsætninger og rammer

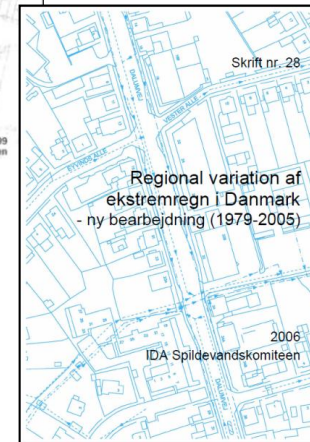
- Oversvømmelseskort med gentagelsesperioder for nedbør på T=1, 5, 10, 20, 50, 75 og 100 år. Valg af nedbør
- Klimafremskrivning
- Randbetingelser havstigning og vandføring i vandløb
- Usikkerhed
- Byudvikling/fortætning





# Regn: Spildevandskomiteens Skrift 26 → 28 → 30 → NYT 32

- Regionale regnrækker: sammenhæng mellem varighed, intensitet og gentagelsesperiode
- Anvendes til lednings- og i nogen grad bassindimensionering
- I mangel af bedre bruger vi disse til oversvømmelseskortlægning!
- (undersøgelse af regn til oversvømmelsesberegninger behandles i SVK Regnudvalget)



Northing (WGS84 ZONE 32)	6174858	
Easting (WGS84 ZONE 32)	715026	
Årsmiddelnedbør [mm]	643	Beregnes ud fra N og E koordinater
Middelværdi ekstrem døgnedbør DMI Klimagrid [mm/dag]	27.7	Beregnes ud fra N og E koordinater
Gentagelsesperiode (år)	10	
Sikkerhedsfaktor (Fra Skrift 27)	1.3	Defineret i Skrift 27, Faktor til beskrivelse af

Design regnkurve					
Varighed (min)	$z_T$ ( $\mu\text{m/s}$ )	$S(z_T)$ ( $\mu\text{m/s}$ )	$f^*z_T$ ( $\mu\text{m/s}$ )	Regression ( $\mu\text{m/s}$ )	
1	42.44	4.89	55.17	54.74	
2	37.43	3.90	48.66	48.72	
5	28.32	2.13	36.82	37.24	
10	21.19	1.82	27.55	27.47	
30	11.25	1.23	14.62	14.58	
60	6.88	0.93	8.95	9.19	
180	3.27	0.39	4.26	4.22	
360	2.01	0.15	2.61	2.55	
720	1.19	0.11	1.54	1.53	
1440	0.71	0.07	0.93	0.91	
2880	0.41	0.04	0.53	0.55	

# Klimafremskrivning - regn

- Klimafaktorer på regn: standard og høj
- Til dimensionering af afløbssystemer oftest "standard"
- For oversvømmelser fra afløbssystemer anvendes SVKs anbefalede klimafaktorer, se DMI og SVKs "anbefaling" [her](#)



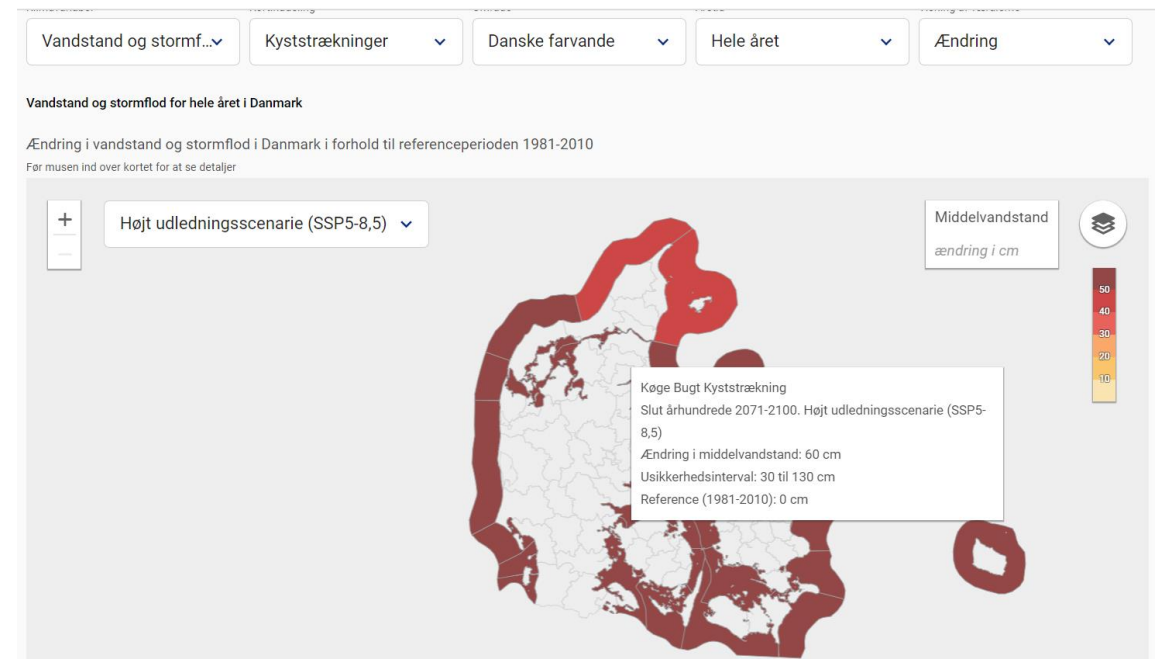
*Tabel 1 Anbefalede klimafaktorer baseret på tre nedskaleringsmetoder, 17 klimamodel kørsler og fem emissions scenarier*

	100 års horisont	
	Standard	Høj
2-års hændelse	1,2	1,45
10-års hændelse	1,3	1,7
100-års hændelse	1,4	2



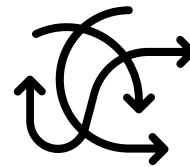
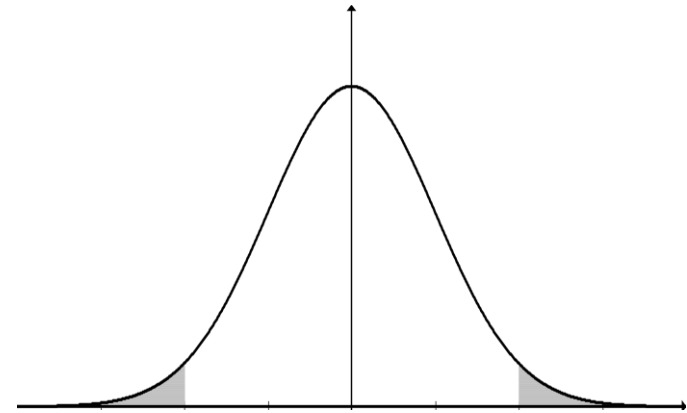
# Klimafremskrivning – hav, vandløb og søer

- Øget vandstand i havet – brug dimensionsgivende vandstand og fremskriv i henhold til klima atlas (middel hvis der ikke er sammenfald!) + 30 cm vindtillæg (?)
- Øget vandføring i vandløb? Brug evt. forøgelse i år (klima atlas)
- Søer?

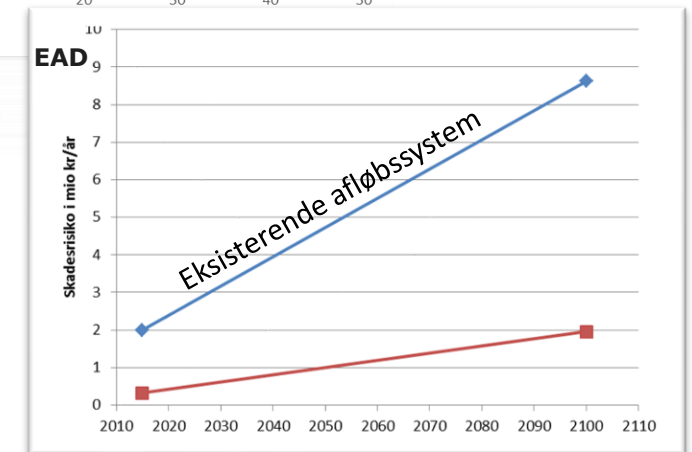
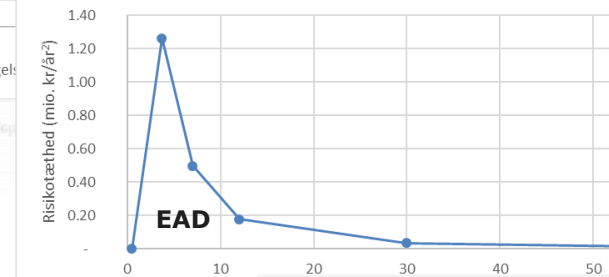
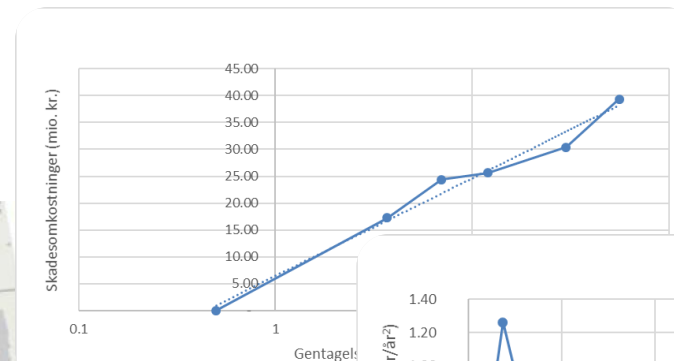
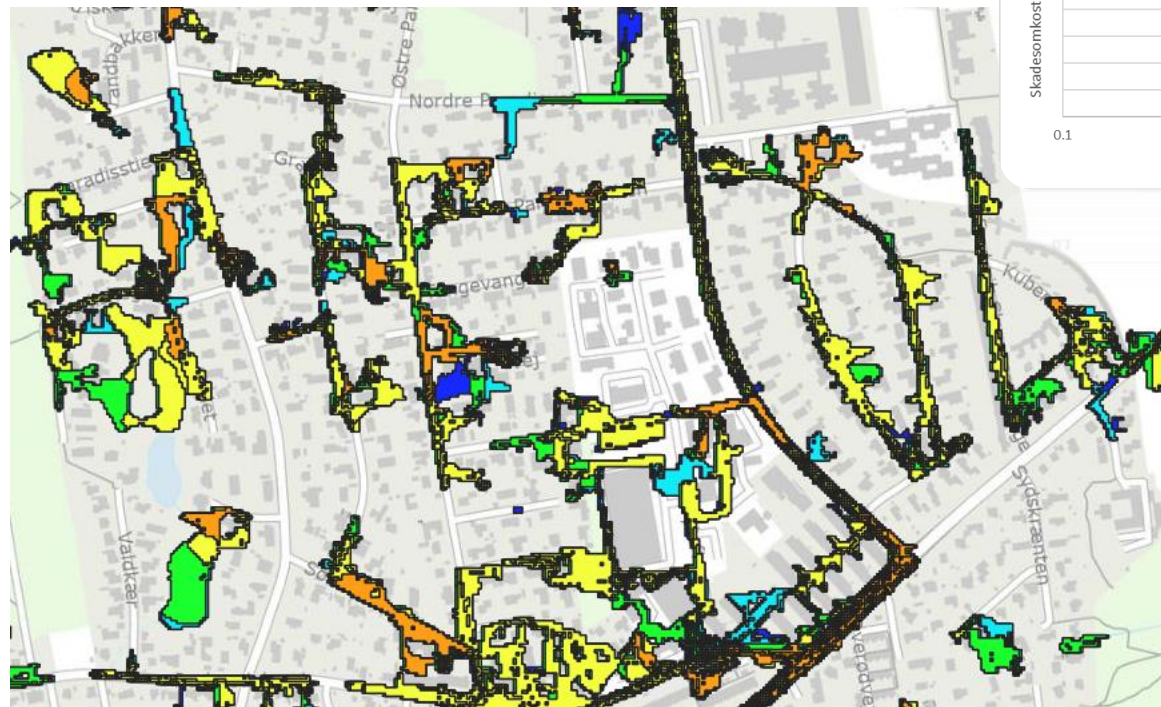


# Usikkerhed? Byudvikling/fortætning?

- Usikkerhed –  
oversvømmelsesberegningerne er  
temmelig usikre – men vi gør det så  
godt vi kan. Centralt estimat på  
oversvømmelserne.  
(OBS: SVKs usikkerhedsprojekt)
- Ofte bruger man 10% tillæg til det  
befæstede areal i planlægningen på  
et overordnet niveau...Husk  
byudvikling f.eks. fra kommuneplan.



# Og så er I klar til skadeskortlægningen!



God fornøjelse 😊

