

# Måling af det terrænnære grundvand



Vinter grundvandsspejl (foto: Jacob Kidmose 2018)

Notat er rekvireret af kommunernes landsforening og forfattet ved  
Jacob Kidmose ([jbki@geus.dk](mailto:jbki@geus.dk)) og  
Hans Jørgen Henriksen ([hjh@geus.dk](mailto:hjh@geus.dk))  
Februar 2022



**GEUS**

## Indhold

Forord.....	1
Typer af terrænnært grundvandsspejl.....	1
Anbefalinger for måling af det terrænnære grundvandsspejl .....	3
Årsager og ændringer af det terrænnære grundvandsspejl.....	5
Hvor opsættes et pejleprogram .....	7
Målemetoder og udstyr .....	11
Arkivering af indsamlet data.....	12

## Forord

Målet for notatet er at give den kommunale sagsbehandler en vejledning i hvordan måling af det terrænnære grundvand gennemføres. Notatet er rekvireret af KL og udarbejdet af GEUS. Det vurderes, at et terrænnært grundvandsspejl mere end 3 m under terræn er af mindre betydning for målgruppen, og derfor fokuseres notatet på målinger af grundvandsspejlet i de øverste 2-3 m.

Observationer af højde og variation af det terrænnære grundvandsspejl er afgørende for planlægning af ny bebyggelse, infrastruktur og arealanvendelse. Det terrænnære grundvandsspejl er allerede (ikke mindst i byområder) observeret til at være stigende og med klimaforandringer forventes denne stigning at fortsætte. Der er generelt meget få systematisk indsamlede tidsserier fra det terrænnære grundvand. Den terrænnære grundvandsstand svinger med naturlige sæsonvariationer og ved kraftige nedbørshændelser. Variationen er påvirket af en række lokale faktorer som ofte kan være vanskelige at vurdere betydningen af.

### **Definition af terrænnært grundvandsspejl**

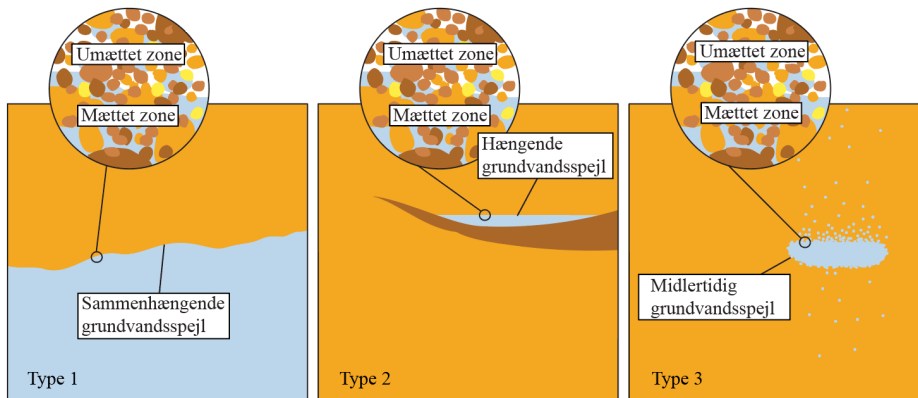
Det terrænnære grundvandsspejl er i forbindelse med den fællesoffentlig digitaliseringsstrategis initiativ 6.1 defineret som: *”Det øverste frie grundvandsspejl man støder på fra oven”* (Henriksen et al. 2020).

En måling af det terrænnære grundvandsspejl er således en måling af højden for den øverste vandmættede jord-horisont, enten som en dybde under terræn, eller angivet i kote (i forhold til havniveau, DVR90).

## Typer af terrænnært grundvandsspejl

Der kan skelnes mellem forskellige typer terrænnært grundvand (figur 1):

1. Sammenhængende højtstående grundvandsspejl
2. Hængende vandspejl
3. Midlertidige vandspejl/mættede zoner (nedsivende regn hændelser)



**Figur 1** Typer af terrænnære grundvandsspejl

Ved type 1 forstås et vandmættet sekundært eller primært terrænnært magasinssystem. Trykniveauet (grundvandsstanden) i dybere magasiner ses ofte at have stor betydning for variationer i det øvre magasin. Hvis vandføringsevnen af det terrænnære magasin er høj (f.eks. sand), kan det være nødvendigt at afdræne store vandmængder for at sænke grundvandsstanden. Et eksempel på en type 1 er den nye motorvej igennem Silkeborg Nord, hvor grundvandsstanden i et sekundært sandmagasin står tæt på terræn og har påvirket designet af motorvejen (Kidmose m.fl. 2013). Stedlig variation af et grundvandsspejl i en type 1 situation vil afhænge af jordarten/geologien, som grundvandsspejlet ligger i. Ved tæt moræneler, vil der være stor stedlig variation, mens der under sandede forhold ses mindre stedlig variation af målte trykniveauer.

Ved type 2, hængende vandspejl, forstås et permanent højtstående vandspejl opretholdt af et lavpermeabelt lag, typisk et lerlag, hvor afdræningsevnen er begrænset. Kældre og infrastruktur i kontakt med det hængende vandspejl kan påvirkes på samme måde som ved type 1 (fugtskader og vandtryk). Type 2 er velkendt fra de fleste glacielle landskaber med overfladenært moræneler og smeltevandsler. Et eksempel kan observeres ved Vibelund Havekoloni (Odense SV), hvor et hængende og terrænnært vandspejl står i kontakt med flere permanente småsøer. Under dette hængende terrænnære vandspejl er der ved borearbejde observeret mere end 10 m umættet zone, før det regionale grundvandsmagasin konstateres ca. 15 m under terræn.

Ved type 3, midlertidige vandspejl/mættede zoner er problemet typisk knyttet til langvarige og kraftige regn-hændelser, som giver anledning til

højtstående grundvand i en kortere eller længere periode. Midlertidige grundvandsspejl kan forekomme ved en lang række omstændigheder. F.eks. kan der ske midlertidig vandmætning af jordhorisonten som resultat af stormflod eller oversvømmelse af arealer fra å-systemer hvor vandføringsevne overskrides ved kraftige/langvarige regn hændelser. Et andet eksempel ses typisk på markarealer, hvor langvarig nedbør i vinterperioden overskrider nedsivningsevnen og udvikler midlertidigt vandmættede forhold i de øverste jordlag. I andre tilfælde kan nedsivningsanlæg (lokal afledning af regnvand) ligeledes skabe midlertidige mættede zoner terrænnært, selvom det primære grundvandsspejl findes i flere meters dybde.

## **Anbefalinger for måling af det terrænnære grundvandsspejl**

Der findes som sådan ikke nogen standard for måling af det terrænnære grundvandsspejl. Lovgivningsmæssigt er den enkelte lodsejer/eller husejer som udgangspunkt selv ansvarlig for forvaltningen af det terrænnære grundvandsspejl (hvis der ikke er tale om ny-udstyknings eller lign.). Som beskrevet indledningsvist, defineres det terrænnære grundvandsspejl som det første frie vandspejl (mættet zone) man støder på fra terræn og nedefter. Efter den definition findes der principielt et terrænnært grundvandsspejl overalt, men kun nogle steder udgør det en konkret risiko i forhold til bebyggelse og anden infrastruktur.

Hvor grundvandsspejlet ligger dybere end 2 - 3 m under terræn (når det står højest, f.eks. i februar-marts måned) er der derfor et mindre akut behov for at dokumentere og overvåge grundvandsspejlets variation og udvikling.

Hvis der blot er behov for at vide om grundvandsspejlet står tættere på terræn end 3 meter, anbefales det at installere pejlerør med filtersætning fra 2 til 3 meter under terræn. For borerør som skal benyttes til mere permanent overvågning, eller f.eks. grundvandsmodellering, anbefales det, at boringen fortsættes til minimum 1 m dybere end det erkendte sommer-vandspejl, eller til en dybde, som tilgodeser at boringen ikke løber tør under de tørreste perioder (sommersituation). Typiske årlige variationer for det terrænnære danske grundvandsspejl er ca. 1 m, men der findes flere eksempler på årlige variationer på 2-3 m i Danmark (specielt for leret geologi). Filtersætning og gruskastning anbefales at være minimum 1 m lang for at optimere kontakt mellem jord-horisont og vandstand i borerør. For at forhindre indtrængende overfladevand i pejlerøret, skal der etableres en eller flere lerspærre (f.eks. bentonit) mellem gruskastning og terræn (imellem yderkant af pejlerør og

boringsdiameter). Der bør ikke være filtersætning helt op til terræn (i de øverste 50 cm), da der ikke ønskes indsvivning af overfladevand direkte i pejlerøret. Det er således afgørende for anvendeligheden af senere målinger af vandstand i pejlerøret, at regnvand og overfladevand ikke kan sive ind i, eller ned langs pejlerøret og ind igennem filtersætningen. Desuden skal toppen af pejlerøret være forsvarligt aflukket og placeres sådan, at vand fra "oven" ikke kan sive/regne ind i pejlerøret igennem toppen. Ved permanente installationer kan en egentlig boringsafslutning bestående af en brøndring med låg, f.eks. af beton, være optimal.

Ved boringer anlagt i forbindelse med undersøgelser af jordforurening eller videnskabelige undersøgelsesboringer, ses ofte et filterinterval på mindre end 1 meter. Disse boringer er stadig velegnede til måling af vandspejl, så længe der er god kontakt mellem den omkringliggende jordhorisont og vandstanden i pejlerøret. Installation af flere pejlerør samme sted (i reder) med kort filtersætning i forskellige dybder, kan desuden benyttes til at konstatere, om der er opadrettet, eller nedadrettet grundvandsstrømning. "God kontakt" erkendes ved, at vandstanden i pejlerør reagerer på nedbørshændelser. Er der ikke god kontakt, ses ingen korrelation mellem nedbør/ingen nedbør og stigning/fald i vandstand i pejlerør. Står boringen tæt på overfladevand (f.eks. sø eller å) kan vandstanden i pejlerøret være påvirket af vandstanden i overfladevandet, men stadig have god kontakt til den omgivende jordhorisont.

Måling af det terrænnære grundvandsspejl vil oftest være knyttet til manglende viden om tidspunkter, hvor grundvandet står højest og dermed udgør den største trussel mod samfundsværdier. Ved mere detaljerede undersøgelser er det ikke kun vigtigt at kende den højeste grundvandsstand, men også dens varighed (f.eks. hvor lange perioder vil bygninger forventes påvirket) samt hyppighed (til beregning af eksempelvis trykniveau for gentagelsesperioder som 5, 10 eller 100 år hændelser). Derfor skal måleprogrammer observere den årlige variation med en tilstrækkelig datatæthed for at kunne beskrive minimums- såvel som maksimumsniveauer. Skal de opnåede data benyttes til egentlige analyser såsom beregning af gentagelsesperioder (hyppighed for en given hændelse), anbefales det, at der opsættes automatiske målinger, da manuelle pejlinger er for omkostningsfulde med flere end målinger 4-6 pr. år.

Hyppigheden af målinger skal ses i forhold til formålet af undersøgelsen og afgør, om det er mest hensigtsmæssigt at foretage manuelle pejlinger, eller investere i automatiseret måleudstyr. Ved automatiseret måling, enten online måling som kan fjernaflæses, eller ved nedsækning af en tryktransducer (som jævnligt skal tappes) anbefales som udgangspunkt en daglig måling (højere målehyppighed kan være ønskeligt, hvis tidslig respons mellem f.eks. nedbørshændelser/oversvømmelser og grundvand skal belyses). Manuelle målinger skal foretages minimum 6-12 gange pr. år for at

kunne beskrive den årlige variation (og som nævnt kan det være billigere at installere automatisk udstyr og dermed få et mere præcist billede af den årlige variation). I mange situationer vil en automatisk måling således være den mest økonomiske løsning, hvis kontinuerte målinger ønskes. Det er imidlertid vigtigt at indregne et større tidsforbrug til efterbehandling af automatiserede løsninger, da disse skal "hentes ud af" loggerudstyr i felten og korrigeres for drift og fejlmålinger, før de kan benyttes.

Manuelle og automatiserede løsninger kan med fordel anvendes sammen. Hvis der eksempelvis skal pejles i et større antal pejlerør indenfor det samme område, kan der med fordel installeres automatisk udstyr i en eller to borer, mens manuelle pejlinger kun gennemføres igennem de første tørre og våde perioder. Ofte viser det sig, at de enkelte stationer reagerer (stiger/falder) synkront, men har forskellige niveauer under terræn. Efter sammenligning og etablering af det generelle niveau for grundvandsspejlet ved hver enkelt pejlerør, kan en fortsat overvågning ske i de permanente stationer med automatiske målinger, samt ved udvalgte stationer hvor der blot måles f.eks. vinter og sommer. Således startes overvågningen ved mange "stationer", hvor den generelle vandstand etableres lokalt, mens fortsat overvågning sker i enkelte automatiske stationer, samt et par gange om året synkront ved et større antal punkter.

Ved geotekniske borer er det ikke altid praksis at gruskaste omkring filtersætningen (fylde sand/grus mellem pejlerør og ydre omkreds af borehullet). Således sikres ikke en optimal hydraulisk kontakt mellem vand i pejlerør og vand i den omkringliggende jordhorisont. Derfor kan målinger i sådanne rør være fejlbehæftede (specielt hvis filtersætning står i lavpermeabelt materiale, f.eks. ler). Det anbefales at gruskaste omkring filtersætningen på pejlerør, som indgår i det overvågningsprogram, der arbejdes med (tryktransducer + udvalgte synkronmålingspunkter). Hvis pejlerør i geotekniske borer installeres med filtersætning, gruskastning og lerspærre, som beskrevet i dette afsnit, kan de benyttes til pejling af det terrænnære grundvandsspejl.

Nyetablerede pejlerør (uanset om de er filtersat i sand eller ler) skal stå mindst én måned, før vandstanden i pejlerøret er i ligevægt med vandspejlet i jordhorisonten.

## **Årsager og ændringer af det terrænnære grundvandsspejl**

Fælles for de tre typer af terrænnære grundvandsspejl (figur 1) er, at de alle er styret af den geologiske ramme, de befinder sig i. Herunder, spørgsmålet om det terrænnære grundvandsspejl er beliggende i en sandet eller anden højpermeabel enhed, eller i en lavpermeabel enhed som f.eks. moræneler. Samtidig er grundvandsspejlets niveau i tid og



sted (og evt. ændringer i vandspejl) afhængige af den lokale vandbalance og vandkredsløbsforhold.

Årsager til højtstående / stigende grundvand i byområder og i det åbne land kan derfor være mange. De kan skyldes stigende eller varierende havvandspejl (kystnært/tæt på vandløb i kystzonen), øget nedsivning (som følge af lokal afledning af regnvand) eller ændret indvindingsstruktur (f.eks. reduceret vandindvinding i dybereliggende grundvandsmagasiner). De kan også være et resultat af øget nedbør eller fordampning og ændret hydrologi i søer og vandløb (øget vinter nedbør evt. kombineret med reduceret vandføringsevne, eller opstuvning i vandløb fra stemmeværker, vådlægning, eller under ekstremhændelser). Indsats omkring tætning af kloakker (indsats mod uvedkommende vand i spildevandssystemer) eller manglende vedligeholdelse af dræn (marker, dræn/grøfter, samt vej- og evt. omfangsdræn i byområder) kan give utilsigtede problemer med højtstående grundvand. Endelig kan sætninger af terræn (som følge af dræning, indvinding mm.) påvirke dybden til det øverste vandspejl.

Det terrænnære grundvandspejl er styret af en lang række faktorer som kan styre såvel helt lokalt (ændringer i vandbalance- og drænforhold for det terrænnære grundvand) som mere regionalt (udveksling med regionale og dybere grundvandsforekomster), se MST (2021).

Konsekvenser af ændringer i det højtstående grundvand kan give sig til udtryk på to måder: 1) som et ændret terrænnært grundvandspejl, 2) som en øget drænmængde til f.eks. markdræn, kloakker, grøfter mm. I praksis vil begge forhold være i spil samtidigt. I mange situationer er det vigtigt at kende begge konsekvenser, da f.eks. stigende grundvand, der resulterer i øget indsivning til kloakker kan være meget bekostelige og kræve klimatilpasning af infrastrukturen.

Det samlede naturbaserede og menneskeskabte drænsystems funktionalitet, effektivitet og vedligeholdelsestilstand i tid- og sted er en meget væsentlig usikkerhedsfaktor i byområder og bynære områder i forhold til dybden til grundvandspejlet. Terrænnære pejledata sammenholdt med modelresultater kan her være vigtige, når man skal bedømme og vurdere vedligeholdelsestilstand, funktionalitet og effektivitet af det samlede urbane ”drænsystem” (overfladisk afledning, fyld, traceer, kloakker, rør, urbane vandløb og grundvandsafstrømning), og menneskeskabte påvirkninger som følge af urbanisering, klimaændringer og andre indgreb (Mielby & Henriksen 2020).

Man kan eventuelt anvende en systemmodel (f.eks. en fysisk baseret hydrologisk model) hvis der er behov for at analysere hvilke faktorer, der har størst betydning i et givent område, eller for et givent sted. Det vil sige observerede pejlinger kan integreres med andre målinger af f.eks. nedbør, fordampning, drænastrømning, vandløbsafstrømning, vandspejl i vandløb, søer og kloakker/drænsystemer i byområder.

## Hvor opsættes et pejleprogram

Der kan der være forskellige intentioner med et måleprogram. F.eks. en generel overvågning af det terrænnære grundvandsspejl for at følge eventuelle påvirkninger af grundvandsspejlet (se nedenstående boks). Formålet kan desuden være at observere og kortlægge det terrænnære grundvandsspejl i problemområder, hvor man oplever gener fra et allerede problematisk højt grundvandsspejl.

Det er her vigtigt at skelne mellem to overordnet forskellige hydrogeologiske forhold:

1) Områder med højpermeable jordartsforhold, hvilket under danske forhold betyder en sandet geologi/jordart. Her forventes det, at grundvandsspejlet kun i mindre grad varierer horisontalt. Grundvandsspejlet stiger eller falder således ikke markant indenfor få meter. Grundvandsspejlet fra en måleboring vil her kunne repræsentere et større område (op til flere hundrede meter væk fra måleboringen). Dette forudsætter naturligvis, at samme sandlag er udbredt over hele det undersøgte område.

2) Områder med lavpermeable jordartsforhold som forskellige lerede og organisk rige aflejringer. Her kan det terrænnære grundvandsspejl varierer meget indenfor små horisontale afstande. Modsat de højpermeable områder, vil målinger kun repræsentere grundvandsstanden tæt omkring selve observationsstedet (i 10-20 m's afstand). Der er eksempler på, at den terrænnære grundvandsstand i byer kan variere op til 1 m indenfor en alm. parcelhusgrunde (Refsgaard m.fl. 2021). Her er det således vigtigt at opsætte pejlerør præcist, hvor der ønskes information.

### Hvornår bør det overvejes at overvåge det terrænnære grundvand?

- Grundvandet er allerede observeret højtstående
- Ændring af kloaknetværk, f.eks. tætning (strømpeforing) af gamle rør.
- Ændring af vandspejl eller vandføringsevne for overfladevand (søer, åer), herunder "rewilding" (gensnoning), og hævning af vandløbsbund.
- Etablering af lavbundsprojekter, sø-genopretning, vandparkering og minivådområder.
- Etablering af nedsvivningsanlæg (regnbede, faskiner) og blå-grønne løsninger (naturbaserede løsninger)
- Ændring i vandindvinding.
- Påvirkning af undergrunden ved store infrastrukturanlæg og byggeprojekter.



Før et pejleprogram for et område etableres, er det relevant at undersøge om der findes eksisterende data for den terrænnære grundvandsstand i området. Følgende liste indeholder typiske kilder til eksisterende data.

- JUPITER (Danmarks nationale borearkiv)
- Regioner (Data fra undersøgelser af jordforurening)
- Rådgivere (Data fra tidligere projekter, f.eks. grundvandsmodeller hvor pejledata er benyttet til modelkalibrering).
- Forsyninger (lokal viden om indstrømmende grundvand til kloak, eller overvågning ifm. indvinding).
- Viden fra borgere og byggeprojekter i det relevante område (data for nedsivningsanlæg ligger ofte under byggesager).

Ovennævnte datakilder kan give indikationer på, hvor det terrænnære grundvandsspejl står specielt højt, og hvor fremtidige undersøgelser skal fokuseres.

Til screeningsformål vil det ofte være relevant at tilgå Hydrologisk Information og Prognose system HIP (<https://hipdata.dk>) og KAMP (<https://kamp.miljoportal.dk/>). KAMP er målrettet brugen af resultater fra HIP for sagsbehandlere og planlæggere i kommunerne. HIPdata indeholder et større sæt data, idet såvel pejletidsserier fra terrænnært grundvand som fra dybere grundvand er udstillet sammen med modelberegninger for 1990 og frem til i dag. I løbet af 2022 kommer der desuden realtidsdata med daglig opdatering af HIP-data inkl. dybde til terrænnært grundvand baseret på såvel modelberegninger som online realtidsmålinger (vandføring og grundvandsstand, samt havniveau). Der foreligger desuden et stort antal klimafremskrivninger af dybden til terrænnært grundvand, vandføring i vandløb, vandindhold i rodzonen og effekter på randbetingelser, alt sammen er tilgængelige i HIP data, og med udvalgte data tilgængelige i KAMP. I KAMP er der desuden mulighed for at se hvilke bygninger (med og uden kælder) samt veje og andre værdier, der er i risiko for grundvandsoversvømmelser som følge af højtstående grundvand.

HIP og KAMP kan benyttes som screeningsværktøjer til at udpege områder, hvor opsætning af egentlige målinger kan være relevant. Det kan f.eks. være område med højtstående grundvand i dag, eller med væsentlige stigninger som følge af forventede klimaændringer. De følgende bokse beskriver anvendelse og produkter fra KAMP og HIP. Et eksempel på brug af HIP og KAMP data for et byområde findes i Appendiks.

**KAMP** - et Klimatilpasning- og Arealanvendelsesværktøj til Miljø- og Planmedarbejdere (<https://kamp.miljoportal.dk/>)

Værktøjets overordnede mål er at levere et grundværktøj til klimatilpasning, som kan understøtte kommunernes planlægningsarbejde ved at give den enkelte medarbejder et samlet overblik (på screeningsniveau) over både arealdata (bygninger, natur, fredninger, planområder, lavbundsområder m.m.) og påvirkningsdata (herunder bluespot-kort, havstigninger, terrænnært grundvand, m.m.) uden forhåndskendskab til modeller og avanceret GIS.

Formålet med dette værktøj er alene at give brugeren anledning til eventuelle nærmere undersøgelser. Det anbefales derfor enhver bruger at indhente yderligere oplysninger om de faktiske forhold i projektområdet, før brugeren disponerer på baggrund af screeningsresultater fra værktøjet. Miljøstyrelsen kan ikke gøres ansvarlig for brug eller fortolkninger af informationer fra KAMP.

Der er fire datasæt i KAMP som også findes i HIPdata og som er leveret af GEUS for den historiske periode 1990-2019. Data er visualiseret og tilgængelig fra KAMP sammen med øvrige arealanvendelsesdata:

-Dybde til terrænnært grundvand vinter& sommer (10x10 m, baseret på en maskinlæringsgeneret hybridmodel, hvor resultater fra 100m model indgår) (bruger kan identificere bygninger og veje i forhold til sommer- og vintergrundvandsspejl, hvor det står mindre end hhv. 1m under terræn og 2m under terræn for bygninger med kældere)

-Overskridelsessandsynlighed for hhv. dybde < 1m og < 2 m under terræn (bruger kan identificere bygninger og veje med højtstående grundvand; hvor det står mere end 10% af tiden nærmere end hhv. 1m under terræn for veje og bygninger uden kældere, eller 2m under terræn for bygninger med kældere)

-Klimaeffekter på dybde til terrænnært grundvandsspejl for 100m nedskaleret model (ændringer er tilgængelige for hhv. mindste, årsmiddel og maksimums grundvandsstand svarende til 99%, middel og 1 % fraktil værdier) for hhv. 2041-2070 og 2071-2100 for RCP8.5 (Representative concentration pathway 8.5)

-Klimaeffekter på overskridelsessandsynlighed (ændring i antal dage hvor grundvandet står hhv. 1m og 2m under terræn for hhv. 2041-2070 og 2071-2100 for RCP8.5.

### **HIP-DATA** (<https://hipdata.dk>)

#### Kort om data i HIP

HIP inkluderer målinger for terrænnært grundvand, vandløb og havvandsstand, der hentes online fra forskellige dataejere, samt detaljerede landsdækkende modelberegninger af terrænnært grundvand, jordens vandindhold og vandføring i vandløb for en historisk periode og for fremtiden. Der er også adgang til en række baggrundskort og støtdata i HIP, såsom administrative grænser, terrændata, bebyggelse, jordbundsforhold mm., hvilket giver bedre mulighed for at orientere sig geografisk i data og diskutere deres betydning.

Modelberegninger er foretaget af GEUS med den Nationale Vandressourcemodel, der er en landsdækkende 3-dimensionel fysisk baseret computermodel af ferskvandets kredsløb. Daglige historiske modelberegninger (1/1-1990 til 31/12-2019) er foretaget i 100 m grid og nedskaleret til 10 m grid med maskinlæring. Data er udviklet med henblik på anvendelse til screening og inkluderer visualisering af modelusikkerheder samt adgang til brugervejledning.

Prognoser for den nære (2041-2070) og fjerne (2071-2100) fremtid er beregnet på basis af klimascenarier fra DMI med anvendelse af to udledningsscenarier, hhv. et mellemhøjt (RCP 4.5) og et højt (RCP 8.5) CO<sub>2</sub>-ækvivalent udledningsscenario for fremtiden. Klimaændringernes betydning for det terrænnære grundvand ses tilsvarende i 100 m grid, og effekten på vandføring er beregnet for ca. 50.000 vandløbspunkter i Danmark.

Der er foretaget statistisk bearbejdning af både målinger og modelberegninger, der vises i HIP, således at data kan visualiseres både som middel- og ekstremværdier for en 30-års historisk periode (1990-2019), der kan sammenlignes med tilsvarende statistiske beregninger foretaget for 30 års perioder, der repræsenterer den nære (2041-2070) og fjerne (2071-2100) fremtid. Valget af statistiske variable er foretaget i tæt dialog med anvenderne og inkluderer for eksempel også sandsynligheden for, at dybden til grundvand er mindre end 1 m i dag såvel som i fremtiden. Der er foretaget statistiske beregninger, der giver information om både de fulde 30års perioder, men også sæsonvariationen i data, således at det er muligt at få statistisk information om dybden til terrænnært grundvand for hver af årets fire årstider og 12 måneder over 30-års perioden.

Der udstilles også data om usikkerheder for modelberegninger i HIP, og disse er vigtige at tage i betragtning for at forstå modelberegningernes gyldighed og anvendelsespotentiale. Modelberegninger i HIP opfylder generelt krav til anvendelse på screeningsniveau. Derudover gives der adgang til såkaldte modelbaserede randbetingelser, der kan anvendes til videreudvikling af mere detaljerede modeller og kortlægninger med supplerende anvendelse af lokale data. Adgang til randbetingelser giver en fælles referenceramme for videreudvikling af lokale modeller og kortlægninger, der er konsistente på tværs af forskellige geografiske regioner, og som kan anvendes til detailplanlægning.

GEUS er i samarbejde med SDFE, DMI og MST i gang med en videreudvikling af HIP (2022-2025) hvor der udvikles en realtidsmodel, dvs. HIP-data bliver opdateret dagligt og vil kunne anvendes til prognoser 5-10 dage frem til brug for planlægning i forhold til hhv. oversvømmelses- og tørkehændelser. Udstilling af data i HIP er allerede forberedt til sådanne visninger, idet tidsserier for såvel daglige pejling som afstrømninger kan vises for hhv. målinger og model og inkl. statistikker for 1990-2019.

## Målemetoder og udstyr

Der findes overordnet tre metoder til pejling i filtersatte boringer eller pejlerør. Et pejlerør er i princippet det samme som en filtersat boring, men med en mindre diameter (ydre diameter < 63 mm) samt en kortere filtersætning. De tre metoder til pejlinger er:

1) manuel pejling; 2) installation af tryktransducer, der typisk måler det absolutte vandsøjletryk ved sensor og skal kompenseres for atmosfærisk lufttryk; 3) Realtidsmåler (online sensor), typisk bestående af udluftet sensor (med lille udluftningsslange som løber op til atmosfæren) forbundet til en datalagringsenhed samt transmitter (sender data til server/ IOT- system). Fælles for metode 2 og 3 er, at de skal kontrolpejles minimum én gang pr. år.

Beskrivelse af fordele og ulemper ved hver type:

- 1) Manuel pejling kan foretages af ikke fagperson, når vejledning følges ift. definition af målepunkt og anvendelse af pejl. For at finde højeste og laveste grundvandsstand skal der pejles ofte.
- 2) Kræver indkøb af tryktransducer (typisk 1500-5000 DKK/stk.) og betjening af fagperson til installation samt årlige kontrolmåling og udtræk og korrektion af måledata. Fordelen er at hyppig målefrekvens kan vælges.
- 3) Som 2), men installation af realtidsudstyr er højere. Pris typisk 5.000-25.000 DDK/stk. afhængigt af mængde og placering. Skal kontrolpejles min. én gang pr. år. Kan drives af solceller + batteri, eller kun af batteri (som skal skiftes ved kontrolpejling. Den store fordel er, at nedbrud af udstyr kan registreres med det samme modsat 2).

Det terrænnære grundvandsspejl er dynamisk og kan variere meget og hurtigt efter nedbørshændelser. Hvis der ønskes en beskrivelse af grundvandsspejlets respons mod nedbørshændelser, skal observationer foretages ofte (time og dagsværdier). Hvis der ønskes en beskrivelse af årlige variationer, kan observationer mellem hver dag og hver 2. måned være tilstrækkelige. For at beskrive grundvandets variation, skal observationer min. foretages løbende igennem et år, dvs. dække våde og tørre perioder.

En ny form for tilvejebringelse af data kan ske ved borgerinddragelse. Her er det borgeren, som i sit lokalområde foretager pejlinger af grundvandsstand ved manuel pejling.

I et projekt ved Roskilde indsamlede borgere data for terrænnær grundvandsstand.

Følgende erfaringer for borger observationer blev opnået ved projektet:

- Økonomisk billig måde at få mange observationer på.
- Grundejer bidrager med lokal viden om f.eks. omfangsdræn eller stikledninger, der kan påvirke det terrænnære grundvandspejl.
- Øger borgeraccept af konklusioner og beslutninger fra undersøgelser.
- Udredning af kompleks hydrogeologi var kun mulig med det store antal observationer af det terrænnære grundvand indsamlet af borgere.
- Succesfuld borgerinddragelse forudsætter:
  - o Der skal være en "gulerod" for borgerne. Typisk i form af "indre" motivation - de er selv påvirket af et højtstående terrænnært grundvandspejl.
  - o Borgermålinger skal guides og kvalitetssikres af fagperson (f.eks. hvordan etableres en boring, og hvordan og hvor ofte måles grundvandsstanden i denne).
  - o Simpel og let tilgængelig data-infrastruktur, eksempelvis fælles google drev med excel-ark, hvor borger kan indtaste observationer.

(Kilde til viden om borgerinddragelse (Citizen Science) i Danmark: Refsgaard m.fl. 2021a + b)

## Arkivering af indsamlet data

Værdien af data er begrænset, hvis de ikke indberettes centralt. I den nuværende struktur har myndigheder et ekstra ressourceforbrug til indsamling af eksisterende data (typisk via rådgiver), hvis data ikke indberettes og findes centralt. Derfor anbefales det, at institutioner indberetter via automatiske rutiner, hvorved kvalitetssikring af data med årlige kontrolpejlinger kan gennemføres.

Fremtidens data kan med stor ressourcebesparelse indberettes til JUPITER via Sensornet (<https://data.geus.dk/sensornet/>). Fra JUPITER kan data hentes frit både af myndigheder til specifik sagsbehandling, men også til generel fremvisning f.eks. via Miljøportalen, og på hipdata.dk.

Man indberetter i dag en begrænset mængde data, hvorfor der er et behov for at genoverveje hvordan myndigheder, rådgivere, forsyninger og andre data-supporterer kan indberette. Der behov for et system, hvor data lettere kan indberettes til JUPITER.

GEUS har udviklet en hjemmeside dedikeret til visnings af kvalitetssikrede realtidsdata (online) for grundvandsstand, <https://grundvandsstanden.dk/>. Her kan realtidsmålinger af grundvandsstand for det terrænnære grundvand vises. Kommuner,

forsyninger m.fl. kan (via sensornet <https://data.geus.dk/sensornet/>) registrere deres online målestationer og få vist data sammen med de eksisterende stationer. Data indberettet til [grundvandsstanden.dk](http://grundvandsstanden.dk) vil automatisk registres i JUPITER og ”mærkes” i JUPITER som loggerdata.

## Referencer

- GEUS 2003. Teknisk anvisning for grundvandsovervågning, version 3. [https://www.geus.dk/media/6778/midlertidig\\_anvisning\\_2003.pdf](https://www.geus.dk/media/6778/midlertidig_anvisning_2003.pdf)
- Henriksen HJ, Kragh SJ, Gotfredsen J, Ondracek M, van Til M, Jakobsen A, Schneider RJM, Koch J, Troldborg L, Rasmussen P, Pasten-Zapata E og Stisen S (2020) Sammenfatningsrapport vedr. modelleverancer til Hydrologisk Informations- og Prognosesystem Udarbejdet som en del af den fællesoffentlige digitaliseringsstrategi 2016-2020. Initiativet fælles data om terræn, klima og vand. [https://sdfe.dk/Media/637558092689251964/5majHIP4Plus\\_sammenfatningsrapport\\_v23Feb.pdf](https://sdfe.dk/Media/637558092689251964/5majHIP4Plus_sammenfatningsrapport_v23Feb.pdf)
- Kidmose J, Refsgaard JC, Troldborg L, Seaby LP, and Escrivà MM. 2013. Climate change impact on groundwater levels: ensemble modelling of extreme values, Hydrol. Earth Syst. Sci., 17, 1619-1634, doi:10.5194/hess-17-1619-2013. Frit tilgængelig på: <https://hess.copernicus.org/articles/17/1619/2013/>
- Koch J, Gotfredsen J, Schneider R, Troldborg L, Stisen S and Henriksen HJ 2021. High Resolution Water Table Modeling of the Shallow Groundwater Using a Knowledge-Guided Gradient Boosting Decision Tree Model. Front. Water, 01 September 2021. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frwa.2021.701726/full>
- Mielby S, Ditlefsen C, Olesen H, 2009-. Potentialekortlægning. Geovejledning 4. <https://www.geovejledning.dk/gv4/>.
- Mielby S and Henriksen HJ. 2020. Hydrogeological Studies Integrating the Climate, Freshwater Cycle, and Catchment Geography for the Benefit of Urban Resilience and Sustainability. Water (mdpi) 12. <https://doi.org/10.3390/w12123324>
- MST 2021. Fasttrack om højtstående grundvand. <https://www.klimatilpasning.dk/aktuelt/arbejdet-med-samlet-klimatilpasningsplan/fast-track-om-hoejtstaaende-grundvand/>
- Refsgaard JC, Berg O, Ramanujam PS, Anthony H, Jakobsen H, Madsen SATM, Correll H, Eriksen J. 2021. A. Borgerinddragelse i vandforvaltning. Vand og Jord, 28. Årgang, nr. 1 2021. <http://vand-og-jord.dk/>
- Refsgaard JC, Eriksen J, Berg O, Ramanujam PS, Anthony H, Jakobsen H, Madsen SATM, Correll H. 2021. B. Grundvandsproblemer i villakvarter. Vand og Jord, 28. Årgang, nr. 1 2021. <http://vand-og-jord.dk/>
- Stisen S, Schneider RJM, Ondracek M, Henriksen HJ. 2018. Modellering af terrænnært grundvand, vandstand i vandløb og vand på terræn for Storeå og Odense Å. GEUS rapport 2018/36. <https://vandmodel.dk/media/8074/36-2018-geus.pdf>
- Thorling og Langtofte 2013. Pejlinger af grundvandsstanden i felten. Teknisk anvisning. [https://www.geus.dk/media/6777/g03\\_pejlinger.pdf](https://www.geus.dk/media/6777/g03_pejlinger.pdf)

# Appendiks – Brug af KAMP og HIP til robust screening i forhold til højtstående grundvand

I nærværende appendiks gives et kortfattet eksempel på hvordan man kan bruge KAMP og HIP til screening i forhold til højtstående grundvand, herunder vurdering af fremtidige klimaeffekter samt usikkerheder på modelberegninger bedømt i forhold til pejlinger. Beskrivelsen i nærværende appendiks er forenklet så meget som muligt. Læs mere på HIP-data: <https://hip.dataforsyningen.dk/docs> (sidst i dette appendiks er der en tabel der giver en kortfattet oversigt over modeldata vedr. grundvandsstand der er tilgængelige i HIPdata og KAMP).

## Praktisk eksempel fra Roskilde på hvordan man kan bruge KAMP og HIP (læs mere i KAMP og HIP om den samlede brug) til en screening for et givent sted i et udvalgt byområde

I det følgende vil vi kigge nærmere på en case hvor der er indsamlet pejlinger i form af borgerdata (Refsgaard et al. 2021a/b) i Roskilde i kvarteret omkring Haraldsborg (Haraldsborgvej-Ægirsvej-Baldersvej-Valhalvej, se Figur 1) og hvor der er en problemstilling med højtstående grundvand. Her har en borgergruppe indsamlet et stort antal pejletidsserier i forbindelse med en sag om neddrosling af indvinding fra et vandværk (Haraldsborg vandværk – Refsgaard et al. 2017a/b). Borgerdata er indsamlet ved etablering af håndboringer der er pejlet og senere indberettet i Jupiter. Data har ikke indgået i DK-model HIP kalibrering og kan ikke ses i HIPdata men er tilgængelige i Jupiter. Casen er velegnet til illustration af brug af screeningsværktøjer som HIP og KAMP, herunder Jupiter vedr. Screening ved hjælp af disse værktøjer af højtstående/stigende terrænnært grundvand. Det skal understreges at formålet med casen ikke er at tage stilling til problemstillingen med neddrosling af indvindingen og om det kan være den fulde forklaring på problemet med højtstående grundvand der opleves i området, men at belyse hvordan KAMP og HIP kan bidrage til vurdering af behov for terrænnære pejleobservationer.

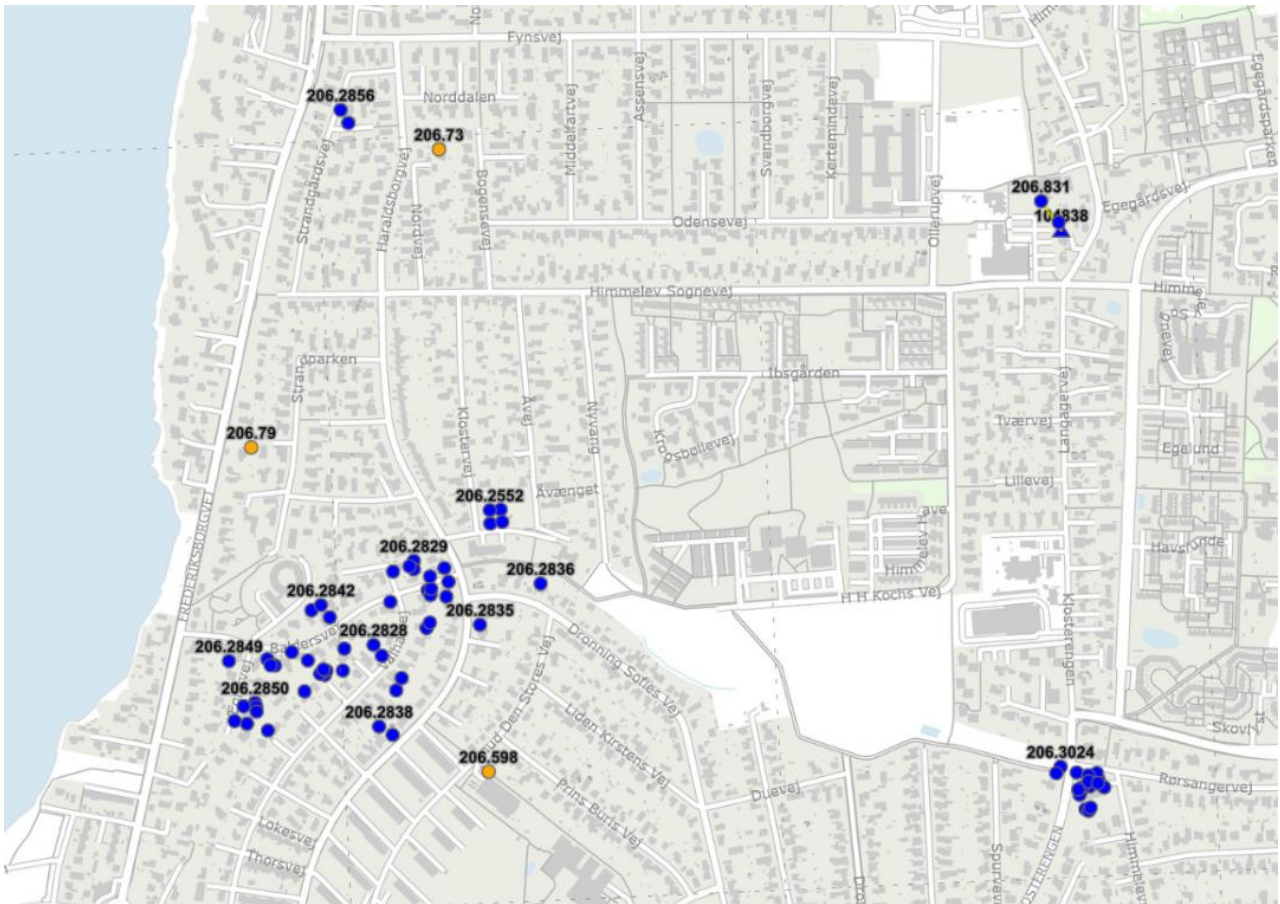
Man kan orientere sig i både HIP og KAMP omkring modelberegnet potentiale, men det er kun i HIP at man kan tilgå usikkerhed på modelberegninger samt inddrage pejledata der løbende hentes fra JUPITER og vises HIP sammen med modeldata. Da KAMP er lidt lettere at bruge for planlæggere og sagsbehandlere i kommuner og 'ikke specialister', er det praktisk først at bruge KAMP til at få et hurtigt overblik. Herefter kan man gå til HIP for et yderligere tjek i forhold til et langt mere omfattende datasæt. KAMP har desuden en implementering af værdier på infrastruktur, der kan blive påvirket af højtstående grundvand (huse med og uden kælder samt veje), der kan være relevant at have for øje. Derfor starter eksemplet her med KAMP (punkt 1-2), hvorefter HIP besøges i punkt 3-4 (uden at ambitionen dog er at vise den fulde brug af HIP-data, der henvises her til dokumentationen og anvendelser der kan læses i HIP).

- a) Brug KAMP og resultater fra Maskinlæringsmodel 10x10m (ML 10 m) vintermodel til vurdering af dybden til terrænnært grundvand. Hvor højt står grundvandet og hvad er forudsætning for at risikoen flages?
- |                          |   |
|--------------------------|---|
| a. < 0.5 m under terræn: | Meget høj risiko for infrastruktur (bygninger og veje 'flages') |
| b. 0.5-1 m under terræn: | Høj risiko for infrastruktur (bygninger og veje 'flages')       |
| c. 1 - 2 m under terræn: | Risiko for infrastruktur (bygninger med kælder 'flages')        |
| d. 2 – 3 m under terræn: | Lav risiko for infrastruktur                                    |
| e. > 3 m under terræn:   | Meget lav risiko for infrastruktur                              |

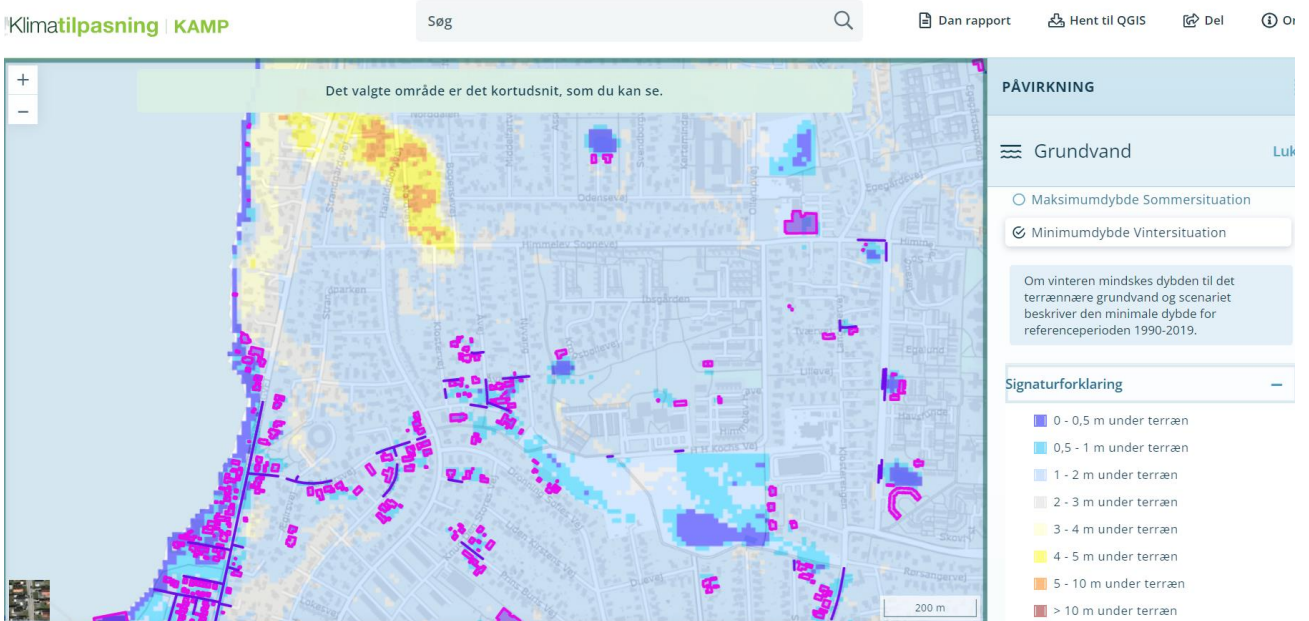
Det fremgår af KAMP for vintersituation (se Figur 2), at området omkring Ægirsvej-Baldersvej-Valhalvej-Haraldsborg vej har bygninger med og uden kælder, samt veje, der 'flages'. Det samme gælder sydlige del af Åvej-Klostervej og mere lokalt i en række øvrige områder. Hvor det står mindre 1 meter under terræn er



vist infrastruktur der påvirkes af det højtstående grundvand (veje og huse). Bygninger med kælder påvirkes (flages) så snart grundvandet står mindre end 2 meter under terrænen.



Figur 1 Oversigt over case område (borgerdata pejleboringer: ●, pejleboringer: ● og vandværk: ▲). JUPITER. Indvindingsboringer er ikke vist på figuren (se Figur 9 mht. placering af 3 indvindingsboringer)



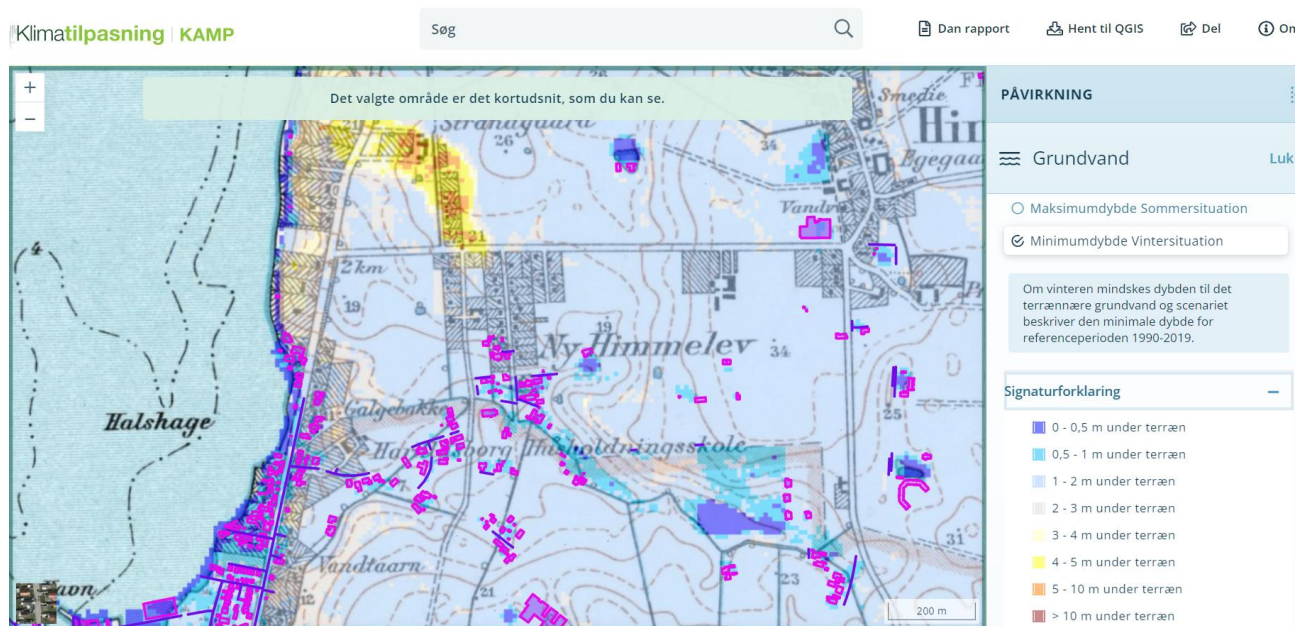
Figur 2 Dybde til terrænnært grundvand og bygninger og veje med risiko for højtstående grundvand (KAMP) baseret på minimumsdybde vinter (beregnet med 10m Maskinlæring for vinter i HIP). KAMP

ML 10m værktøjet giver et bud på middeldybden til terrænnært grundvand i vinter- og sommersituationen. I vinter for perioden december, januar, februar. I sommer for juni-juli-august. Vintermiddel er dog ikke nødvendigvis en ekstrem eller specielt høj grundvandsstand, her skal man i stedet have fat i f.eks. 10% fraktilen af ML 10m, eller resultater fra 100m model f.eks. returverdier  $T=2-100$  år. Begge kan ses i HIP. Man kan også lave tidsserieplot for en udvalgt periode og lokalitet og plot af modelresultater fra 100m model som daglige, månedlige og årlige værdier med visning af både percentil- og returverdier på plot for et valgt grid baseret på den historiske periode 1990-2019. Endelig kan man i HIP plotte de observerede pejlinger for både terrænnært og dybere grundvand (se skema sidst i dette notat).

Maskinlæringsmodel (ML model i 10x10m) giver et bud på 50% 'percentil' for vinterperioden, se Koch et al. (2021). I HIPdata kan man se konfidensgrænser for 10% og 90% percentiler.

Overskridelsessandsynligheder kan også vises i KAMP for 1m og 2m under terræn baseret på 100m model. Det tema findes for både historiske periode, og med ændringer som følge af klimafremskrivning.

Man kan også i KAMP og HIP sammenstille resultater med andre kort, f.eks. ældre målebordsblade (her vist 'lave'). Se Figur 3. Det giver et hurtigt overblik tilbage i tiden på hvordan landskabet har set ud engang. På tilsvarende vis kan man vise strømningsveje på terræn, økologiske målsætninger fra vandplaner og en række relevante temaer. Man kan evt. hente alle temaer over i QGIS og arbejde med dem der fra KAMP f.eks. for et udsnit som det vi kigger på for Roskilde.



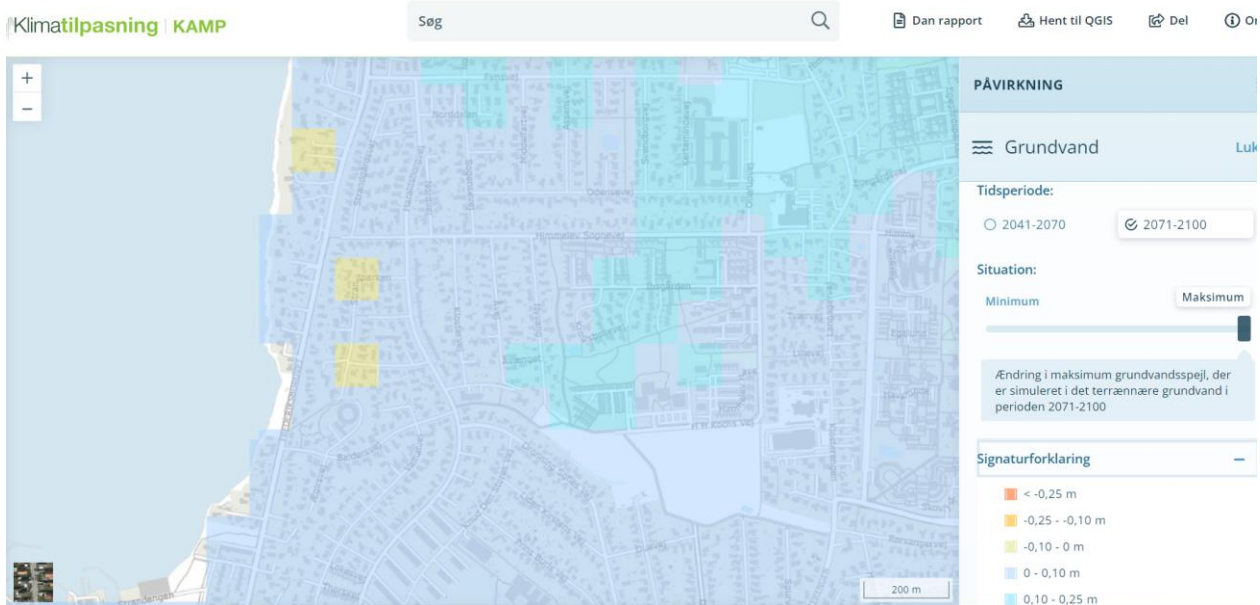
Figur 3 Dybde til terrænnært grundvand (KAMP) med minimumsdybde vinter ML 10m vist sammen med lave målebordsblade.

- b) Brug KAMP ændring som følge af klimaændringer (her vist frem mod 2071-2100). I KAMP kan man kun se resultater for højt emissionsscenario (RCP8.5), men man kan se både nær (2041-2070) og fjern fremtid (2071-2100) ændringer i forhold til 1990-2019 reference perioden.
  - a. Tjek om f.eks. højt grundvandspejl er ændret væsentlig for RCP8.5 frem mod 2071-2100 (se Figur 4). Man kan evt. bruge følgende risikoklasser, men om der vil være et problem i fremtiden afhænger naturligvis af hvor højt grundvandspejlet står i dag. Hvis det står f.eks. 5 meter under terræn i dag, vil en lille stigningen sjældent være problematisk. Anderledes



forholder det sig hvis grundvandet står tæt på terræn. Hvis området er drænet kan drænene bremse stigningen, men til gengæld øges mængderne af drænvand (f.eks. uvedkommende vand til utætte kloakker eller øgede drænmængder, der evt. kan forøge vandløbsafstrømningen og i stedet giver forøgede returværdier (maksimumafstrømning), der kan give oversvømmelser fra vandløb eller drænsystemer hvis max kapacitet overskrides. Mht. ændringer kan man evt. arbejde med kategorierne:

- i. < 0 cm stigning ingen risiko for øgede problemer i fremtidigt klima
- ii. 0-10 cm stigning lille risiko for øgede problemer
- iii. 10-25 cm stigning risiko for øgede problemer
- iv. 25-50 cm stigning stor risiko for øgede problemer
- v. > 50cm meget stor risiko for øgede problemer



Figur 4 Simuleret ændring i maksimum grundvandsspejl (terrænnært grundvand) i perioden 2071-2100 for emissionsscenario RCP8.5 vist med ændringer med en opløsning på 100x100m (KAMP). I HIP findes resultater for måneder, sæsoner og et stort antal statistiske temakort.

Figur 4 ovenfor viser ændringer i grundvandsspejl for fjern fremtid for RCP8.5 for maksimum grundvandsstand (svarende the 1% percentil som overskrides 3-4 dage pr. år i gennemsnit). Det fremgår at størstedelen af området har stigninger i det højtstående grundvand der forekommer hver vinter nogle få dage. Mod nordøst ses de største stigninger på 0.10 - 0.25 m i Roskilde testområdet. I størstedelen af området ses ret begrænsede stigninger på 0 – 0.10 m. I den vestlige del ses i tre områder et begrænset fald i vandspejlet på mellem -0.10 og 0 m. De største risikoområder i et fremtidigt klima er der hvor grundvandet står indenfor de øverste 3 meter under terræn om vinteren samtidig med at der er en væsentlig stigning i f.eks. maksimum grundvandsspejlet for nær og/eller fjern fremtid. Selvom ændringer er under 0.10m kan man ikke udelukke, at de øgede drænmængder i et område som Roskilde (med dræn og eller kloakker) ikke kan resultere i drænsystemoversvømmelse- og/eller vandløbsoversvømmelse. Man skal også inddrage usikkerheden på såvel simulering af historisk periode som på klimafremskrivning i en risikovurdering.

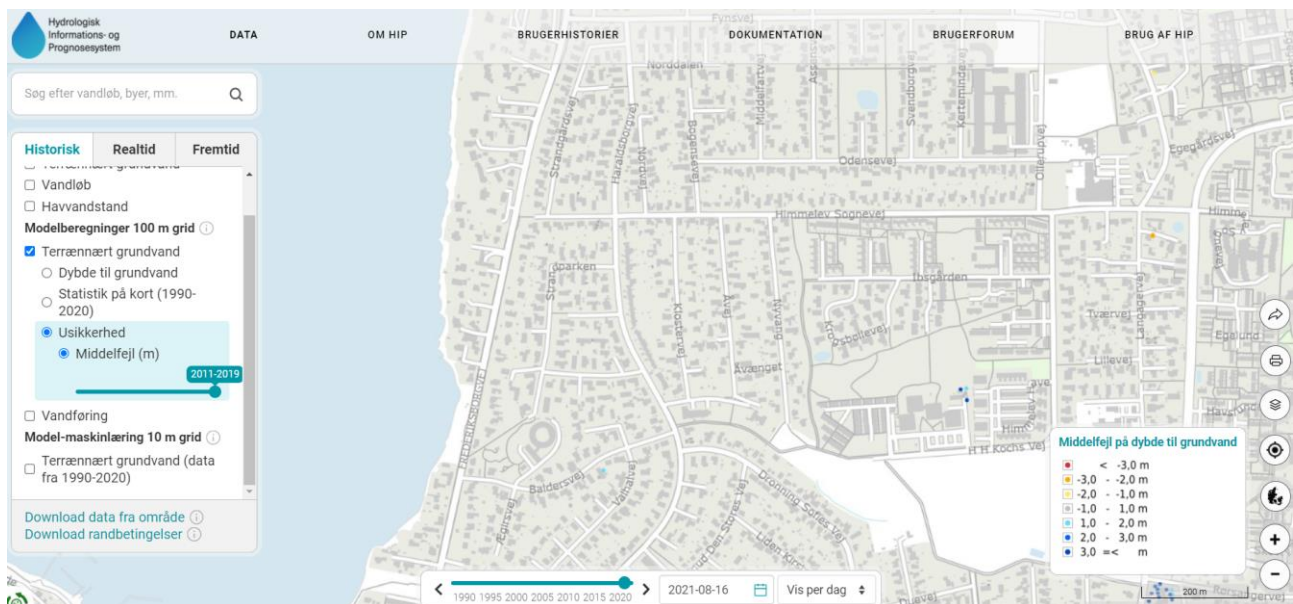
Den største usikkerhed på klimafremskrivninger er valg af klimamodel og i fjern fremtid emissionsscenario. Her anvender DK model HIP 17 RCP8.5 klimamodeller og 5 RCP4.5 klimamodeller. Standardafvigelsen på tværs af klimamodeller kan ses i HIP. Den er beregnet til intervallet 0-25 cm for området omkring Haraldsborg for RCP8.5 2071-2100 med 500m modellen. Spredningen på tværs af klimamodeller er i den

lave ende. På tværs af klimamodeller er der f.eks. for årsmiddel grundvandsdybden en standardafvigelse på nogle få cm.

Ifølge borgergruppens modellering af klimaændringer var resultatet med egne hydrologiske modeller et øget grundvandsspejl på 20-30 cm. Dermed er der beregnet en lidt større stigning end resultaterne med DK model HIP for RCP8.5 frem mod 2100 for middelsituationen er beregnet til (HIP beregner 0-25 cm stigning).

Oversvømmelser fra større vandløb, hav (stormflod) og lavninger (skybrud), kan evt. tjekkes med KAMP, hvor man kan vælge forskellige historiske hændelser og se hvilke huse og veje der er påvirket. I det følgende vil vi kigge på et par eksempler på brug af HIP.

- c) Brug af HIP-data til at tjekke afvigelse mellem model og pejlinger (usikkerhed på model, se Figur 5)
  - a. Er der væsentlige afvigelser? Brug indledningsvist valideringsperioden 2011-2019, tjek evt. kalibreringsperioden 2000-2010 og perioden 1990-1999.
  - b. Prøv evt. også at tjekke tidlige variationer i hhv. målte pejlinger og model fra den historiske periode og frem (pt. kan modelresultater kun ses frem til 31.12.2019, i løbet af et års tid kommer der en realtidsversion af HIP der løbende opdateres på daglig basis.



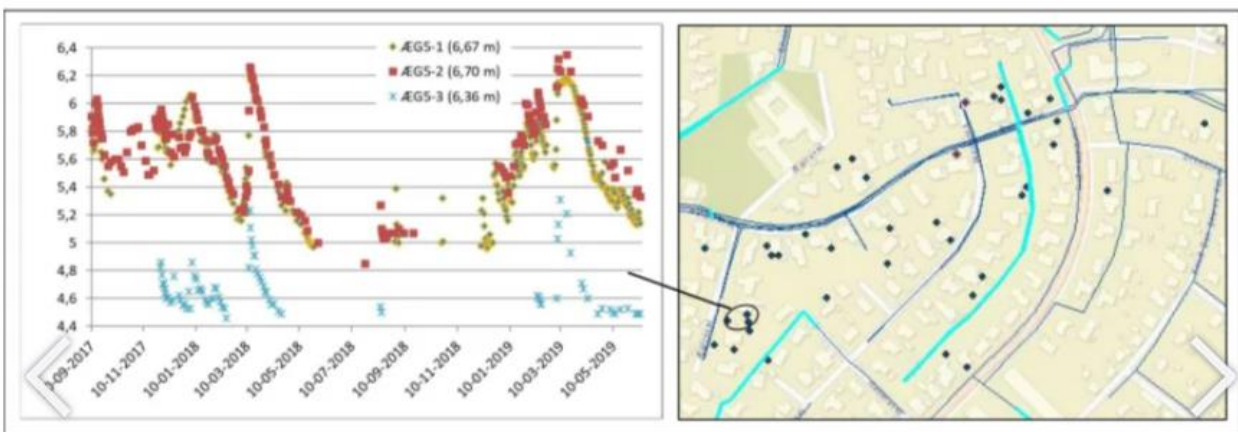
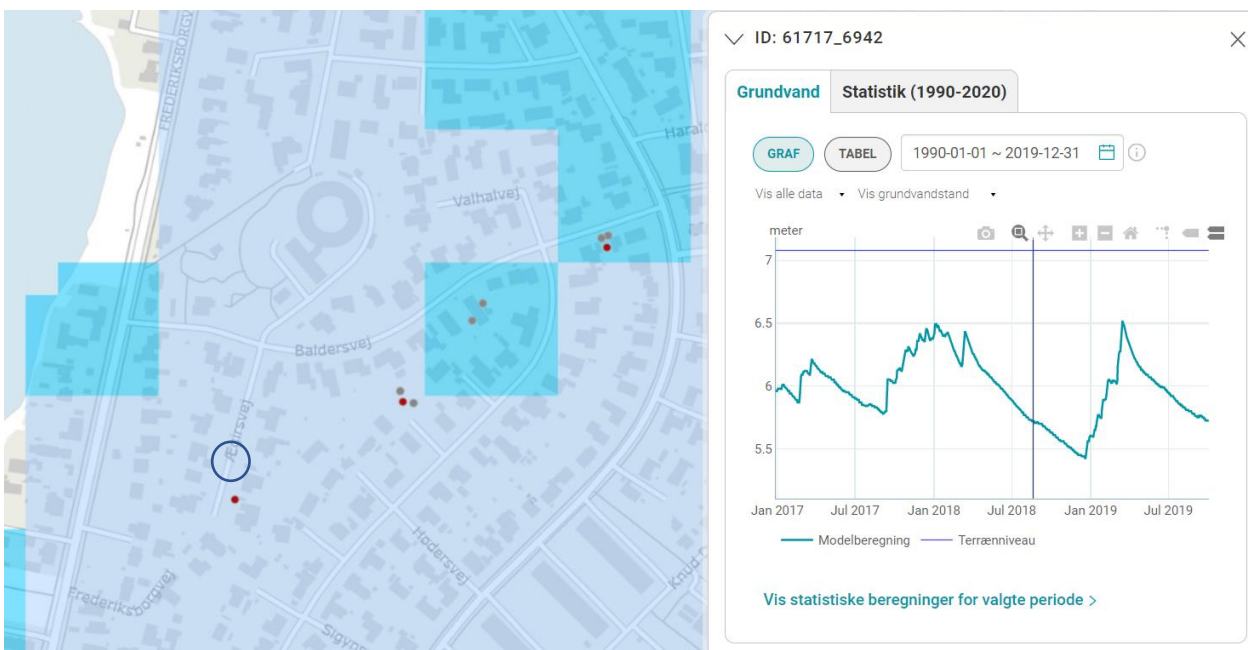
Figur 5 Middelfejl på DK-model HIP 100m i forhold til terrænnære pejledata der er anvendt i modelkalibrering og validering (HIP)

Figuren ovenfor viser resultater for valideringsperioden 2011-2019 i form af middelfejl (simuleret minus målt). Der er ganske få målte pejledata i området (når man ser bort fra de indsamlede borgerdata som vi kommer tilbage til indsamlet for 2017-2020). De blå prikker f.eks. nord for HH Kochs vej viser et par pejleboringer, hvor der simuleres for højt et grundvandsspejl (mørkeblå > 3m for højt og blå 2-3m). Brune-gule prikker øst for Langagervej viser lokaliteter hvor der simuleres for lavt et grundvandsspejl. Grå punkter har god overensstemmelse (men kan være svære at se). Umiddelbart har 100m modellen en rimelig god nøjagtighed i området med borgerdata (jf. figur 1), men der er kun ganske få pejlinger fra det terrænnære grundvand der indgik i kalibrering og validering af DK model HIP, så vurderingsgrundlaget er spinkelt.

Syd for Baldersvej er der simuleret 1-2m for højt et grundvandsspejl.

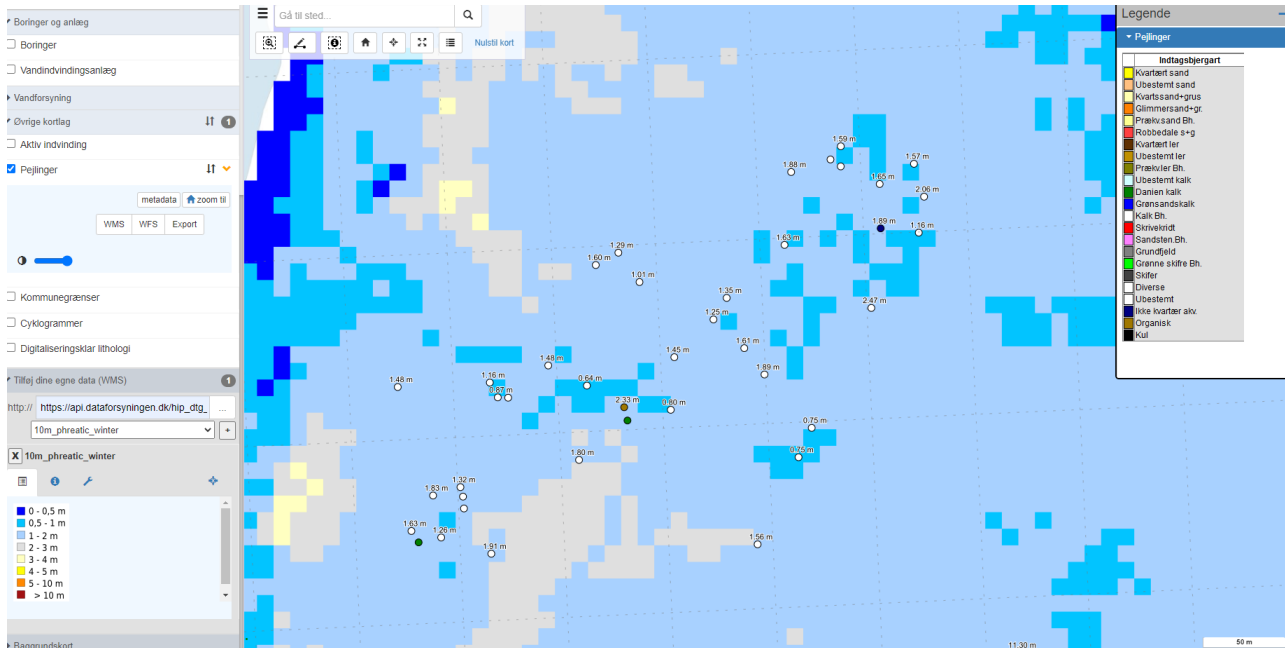
- d) Eksempel på tjek af simulerede dybder til terrænnært grundvand i forhold til 100m model og 10m maskinlæring for vintersituation med ML 10m på basis af borgerdata fra JUPITER
- Start med at plotte dybde til terrænnært grundvand for den lokalitet man har fokus på (hvor dybt står grundvandet, kan vandstanden evt. nærme sig terræn ved ekstremer?)
  - Performance test af samtlige borgerdata i forhold til ML10m vintersituation.

I eksemplet plottes det grid, hvor der foreligger 3 pejletidsserier (Ægirsvej boring ÆG1, ÆG2 og ÆG3 jf. borgerdata se Refsgaard et al. 2021a/b). Når man klikker på kortet (eller en pejleboring) får man vist en tidsserie, hvor man evt. kan justere X-akse eller Y-akse så skala svarer til perioden med målinger (2017 – 2020). Nedenfor ses et eksempel på resultatet for en grund med tre pejleboringer med borgerdata rapporteret i Vand og Jord artiklerne. Det fremgår, at målte tidsserier ved to af de tre målepunkter på samme grund svarer rimeligt godt til simulerede grundvandspejl med 100m model om vinteren, hvorimod 100m HIP modellen simulerer ½ meter for højt om sommeren. Bemærk også den relativt store variationer der er på de tre pejletidsserier selvom de står i samme eller nabo 100m grid.



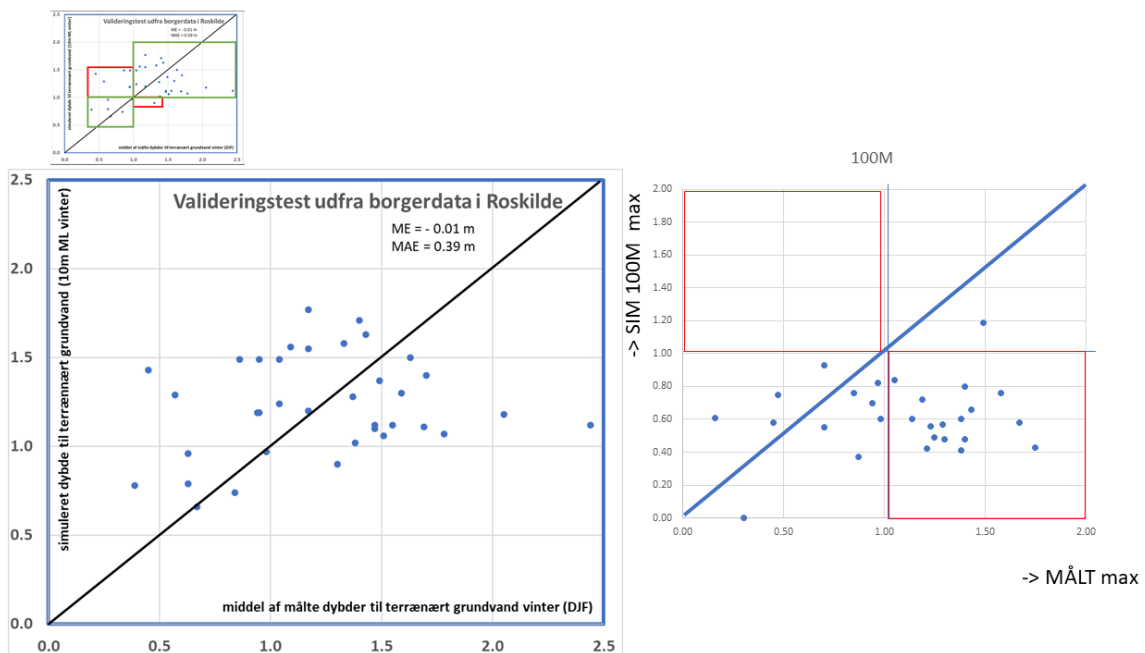
[Øverste to figurer: HIPdata.dk - nederste to figurer: Refsgaard 2021a)  
 Figur 6 Simuleret tidsserier for pejleboringer i sydlige del af Ægirsvej (øverst til venstre og øverst til højre). Pejledata fra treårsperioden fra tre boringer på samme grund (nederst til venstre). Placering af 38 af 40 borgerdata pejleboringer samt Fors' spildevands- og regnvandsledninger i området (nederst til højre).

I Figur 7 er vist et eksempel på plot af HIP resultater i JUPITER (se Figur 7). Her henter man WMS temaet ind i Jupiter og viser det sammen med f.eks. pejlinger fra borgerdata (læs mere herom i Jupiter+HIP-data).



Figur 7 Sammenstilling af HIP-data som WMS (ML 10m for vintersituation som WMS), med data i Jupiter.

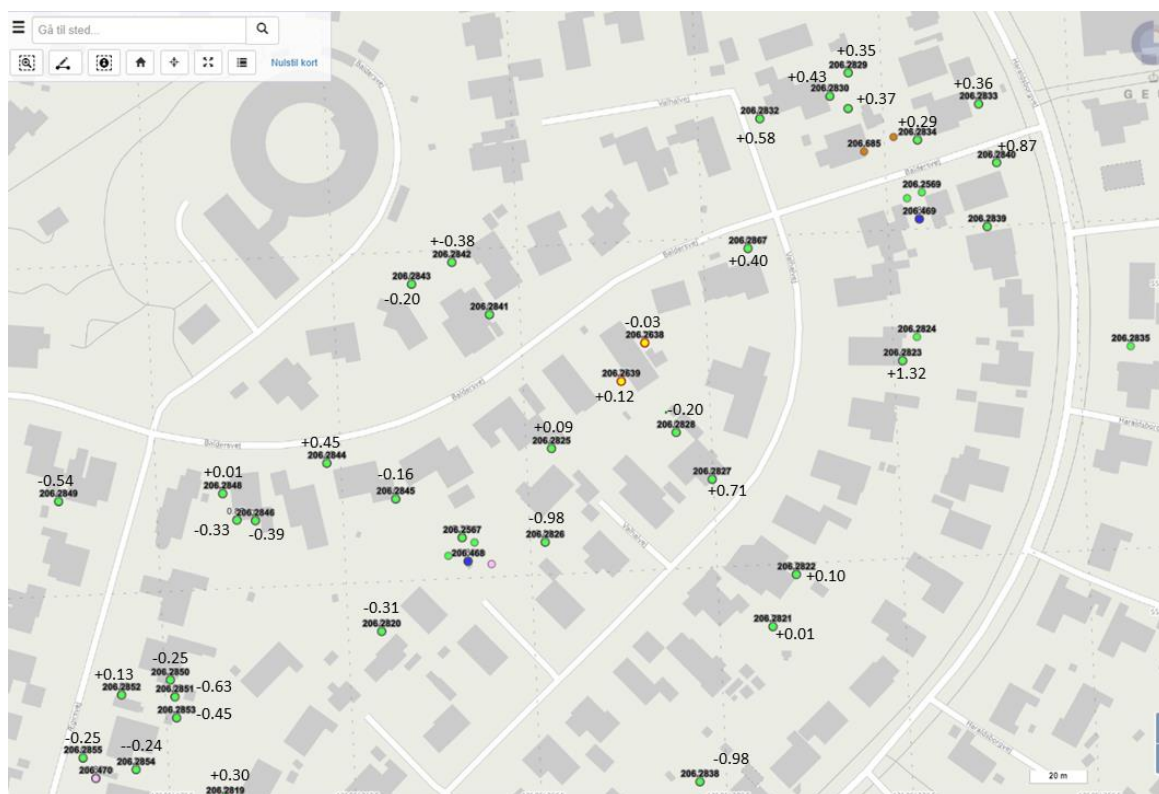
Afslutningsvis er her lavet en nærmere analyse af performance af DK model HIP-temaet for vinterdybden med ML10m model. Der foreligger et ret stort antal pejlinger ved samtlige borgerdata pejlehåndboringer indsamlet 2017-2020. Ud fra samtlige data er først udvalgt data der repræsenterer vinter måneder december, januar og februar. Herefter er data midlet for hver pejlestation. Efterfølgende er afvigelser mellem ML10m vintersituation model og midlede håndboringspejlinger beregnet som middelfejl (ME) og absolut middelfejl (MAE) ud fra samtlige borgerpejleboringer.



Figur 8 Resultat af sammenligning af pejlinger udført af borgere med 10m ML model (venstre) for vintersituation (XY-plot). Til højre er vist sammenligning af højeste måling 2017-19 med 100m model.



Borgerdata giver overordnet set et generelt godt fit idet middelfejlen er tæt på nul og middel absolut fejl er under en halv m for vintersituation med 10mML (se Figur 8 til venstre). Sammenligning med 100m for højest målte vandstand viser at 100m model for visse lokaliteter simulerer for lav en dybde i forhold til observationer (Figur 8 til højre), og der ses systematiske afvigelser for visse pejleboringer i området (se Figur 9), der viser middelfejlen mellem observationer og ML10m vintersituation på et plankort. En stor del af de lokaliteter hvor observationer viser større dybde end 100m model er tæt på urbane dræn (kloak mv.).



*Figur 9 Resultat af sammenligning af dybder til terrænnært grundvand ud fra pejlobservationer og simuleret dybde med 10m ML model for vintersituation. Indvindingsboringer fra det nedlagte Haraldsborg vandværk i Roskilde kan ses på figuren (blå og lilla boringer), mod sydvest omkring Ægirsvej (206.470), mellem Baldersvej og Valhøjvej centralt i området (206.468) og mod Nordøst Baldersvej-Haraldsborg vej. Hvor forskellen er positiv er målt dybde til grundvandsspejl større end simuleret dybde.*

Plankortet i Figur 9 viser at der simuleres for lille en dybde til det terrænnære grundvand mod nordvest i området, mellem Valhøjvej og Haraldsborg vej og langs Baldersvej. Her observeres i borgerpejledata en større dybde end 10m ML og 100m modeller simulerer. Det gælder et flertal af pejlefiltre. Mellem Baldersvej og Valhøjvej (omkring nu neddrolede indvindingsboring 206.468) er der en tendens til at der simuleres for højt et vandspejl på basis af tre omkringliggende pejlefiltre. Det samme gælder øst for Ægirsvej hvor der systematisk simuleres for stor en dybde til det terrænnære grundvand med ML10m vintersituationen, i forhold til borgerpejledata.

I alle tre områder viste ML10m model (se figur 2) stor risiko for højtstående grundvand i vintersituationen. De etablerede pejleboringer viser at risikoen mod nordøst end mindre end for de to øvrige områder. Etablering af lokale terrænnære pejlinger, kan derfor forbedre vidensgrundlaget baseret på HIP og KAMP screeningsdata, og HIP- og KAMP-screeningsdata samt data fra Jupiter, er et godt udgangspunkt for screening og identifikation af lokaliteter/bydele, hvor der kan placeres lokale terrænnære pejlinger med henblik på mere detaljeret kortlægning og overvågning af bykvarterer med højtstående grundvand. Nærværende eksempel for Roskilde viser at ML10m/100m for dybder <1m giver få/ingen falsk negative.



## Data i HIP og KAMP

I tabel 1 er givet en forenklet oversigt over de forskellige data der er tilgængelige i HIP og KAMP.

Datatype	Beskrivelse	Enhed	Hvordan er data tilgængelige
Dybden til terrænnært grundvand i 100x100m	Modelberegninger kan anvendes til screening af hvor tæt på terræn grundvandet står. Er vist i HIP som en tidsserie med modelberegnete daglige, månedlige og årlige tidsskridt for 1/1 1990 til 31/12 2019, samt en række statistisk bearbejdede produkter for perioden. Terrænnære grundvandspejlinger fra Jupiterdatabasen inkluderer pejlinger fra boringer med et topindtag inden for 10m under terræn (vist med grå prikker på kort). Desuden muligt at se grundvandspejlinger fra dybere boringer i grafer (vist med røde prikker på kort). Grafer (tidsserier) for enkelte modelgrids og boringer kan vises med statistikværdier.	meter	Visning i HIP af tidsserier + kort + statistikværdier for 1990-2019 for samtlige ca. 60 temaer. WMS, REST Download.  Visning i KAMP med min (99% fraktil), middel og max (1% fraktil) for 1990-2019 på kort + udtræk til QGIS.
Dybden til terrænnært grundvand i 10x10m	Modelberegninger, der er nedskaleret med maskinlæring, giver et landsdækkende overblik over dybden til det terrænnære grundvand i høj rumlig opløsning (10x10 m) for en typisk vinter situation og en typisk sommer situation på basis af data for perioden 1/1-1990 til 31/12-2019. For de to situationer udtrykkes et usikkerhedsbånd baseret på 10% og 90% percentil.	meter	Visning i HIP af vinter+sommer incl. usikkerhedsbånd. WMS. Download  Visning i KAMP af vinter+sommer incl. usikkerhedsbånd + infrastruktur
Grundvandsstand i 100x100m	Modelberegningerne kan anvendes til screening af, hvor højt grundvandet står i forhold til havets gennemsnitlige overflade og vurdering af grundvandsstrømning. Grundvandsstand er tilgængelig som tidsserie blandt andet som daglige, månedlige og årlige tidsskridt, samt en række statistisk bearbejdede produkter for perioden.	DVR90 meter	Visning i HIP WMS, REST  Vises ikke i KAMP.
Vandindhold i jord i 100x100m	Modelberegningerne kan anvendes til screening af, hvor stort vandindholdet i rodzonen er. Jordens vandindhold er tilgængelig som tidsserie blandt andet som daglige, månedlige og årlige tidsskridt samt en række statistisk bearbejdede produkter for perioden.	Volumen Fraktion (0-1)	WMS, REST. Download.  Vises ikke i hverken HIP eller KAMP.

Vandføring i vandløb	Vises for 62.726 beregningspunkter. Modelberegningerne kan anvendes til screening af, hvor stor vandføringen er i et givent punkt. Vandføring er tilgængelig som tidsserie blandt andet som daglige, månedlige og årlige tidsskridt samt en række statistisk bearbejdede produkter for perioden 1990-2019.	m <sup>3</sup> /s	Visning i HIP. WMS, REST. Download.  Vises ikke i KAMP.
Usikkerheder terrænnært grundvand	For samtlige pejledata der er anvendt i kalibrering og validering af DK-model HIP foreligger beregnet middelfejl (ME) for kalibreringsperioden 2000-2010, samt valideringsperioderne 1990-1999 og 2011-2019. Middelfejl (ME) værdier er anvendelige til vurdering af, hvilke områder modellen har de største afvigelser i forhold til observationsdata. Tidsserier med simuleret og observeret trykniveau er udtrukket fra DK-model HIP 100 meter for kalibreringsperioden 2000-2010, samt valideringsperioderne 1990-1999 og 2011-2019.	-	Visning i HIP på kort. WMS, REST. Download.  Vises ikke i KAMP.
Usikkerheder vandføring	For samtlige vandføringsdata der er anvendt i kalibrering og validering af DK-model HIP i foreligger usikkerhed (305 punkter) for beregnet dynamik (KGE), vandbalance (WBE), og karakteristisk stor vandføring (Q01) for både kalibreringsperioden 2000-2010, samt valideringsperioderne 1990-1999 og 2011-2019. Tidsserier med simuleret og observeret vandføring er udtrukket fra DK-model HIP i 100 meter for kalibreringsperioden 2000-2010, samt valideringsperioderne 1990-1999 og 2011-2019.	-	Visning i HIP. WMS, REST. Download.  Vises ikke i KAMP.
Nedskaleret klimaændring i dybden til terrænnært grundvand i 100x100m	Modelberegningerne giver et landsdækkende overblik over den forventede klimafremskrevne ændring i dybden til det terrænnære grundvand i perioderne 2041-2070 og 2071-2100 i en opløsning på 100x100 meter (eksklusiv Bornholm, som er beregnet med 100m model for alle klimafremskrivninger). De klimafremskrevne ændringer er tilgængelige for udledningsscenarierne RCP 4.5 og RCP 8.5. Modelberegningerne kan anvendes til screening af, hvor stor en ændring der forventes i dybden til	Meter	Visning i HIP på kort. For RCP4.5 og RCP8.5 for nær og fjern fremtid. WMS, REST. Download.  Visning i KAMP på kort for min (99% fraktil), middel og max (1% fraktil) for RCP8.5 for nær og fjern fremtid.

	terrænnært grundvand i fremtiden. De klimafremskrevne ændringer i dybden til terrænnært grundvand er tilgængelige som ændringen for udvalgte statistisk bearbejdede produkter. Der er ikke tilknyttet usikkerheder til denne leverance. Det anbefales, at man orienterer sig mod usikkerhederne på klimaændringerne i 500x500 meter (se standardafvigelser på tværs af hhv. 5 i RCP4.5 og 17 klimamodeller i RCP8.5. Ændring =fremtid minus reference).		
Klimaændring for vandføring	Modelberegningerne giver et landsdækkende overblik over den forventede klimafremskrevne median ændring i vandføring i vandløb i perioderne 2041-2070 og 2071-2100 for 48.653 vandløbsberegningsspunkter. De klimafremskrevne median-ændringer er beregnet for udledningsscenerierne RCP 4.5 og RCP 8.5. Modelberegningerne kan anvendes til screening af, hvor stor en ændring der forventes i vandføringen i vandløb i fremtiden. De klimafremskrevne ændringer i vandføring er tilgængelige som median-ændringer for udvalgte statistisk bearbejdede produkter.	Klimafaktor	Visning i HIP (kun på kort). WMS, REST. Download.

## Referencer

Koch J, Gotfredsen J, Schneider R, Troldborg L, Stisen S and Henriksen HJ 2021. High Resolution Water Table Modeling of the Shallow Groundwater Using a Knowledge-Guided Gradient Boosting Decision Tree Model. Front. Water, 01 September 2021. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/frwa.2021.701726/full>

Refsgaard JC, Berg O, Ramanujam PS, Anthony H, Jakobsen H, Madsen SATM, Correll H, Eriksen J. 2021. A. Borgerinddragelse i vandforvaltning. Vand og Jord, 28. Årgang, nr. 1 2021. <http://vand-og-jord.dk/>

Refsgaard JC, Eriksen J, Berg O, Ramanujam PS, Anthony H, Jakobsen H, Madsen SATM, Correll H. 2021. B. Grundvandsproblemer i villakvarter. Vand og Jord, 28. Årgang, nr. 1 2021. <http://vand-og-jord.dk/>