

Måling af det terrænnære grundvand



Notat er rekvireret af kommunernes landsforening og forfattet ved
Jacob Kidmose (jbki@geus.dk) og
Hans Jørgen Henriksen (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

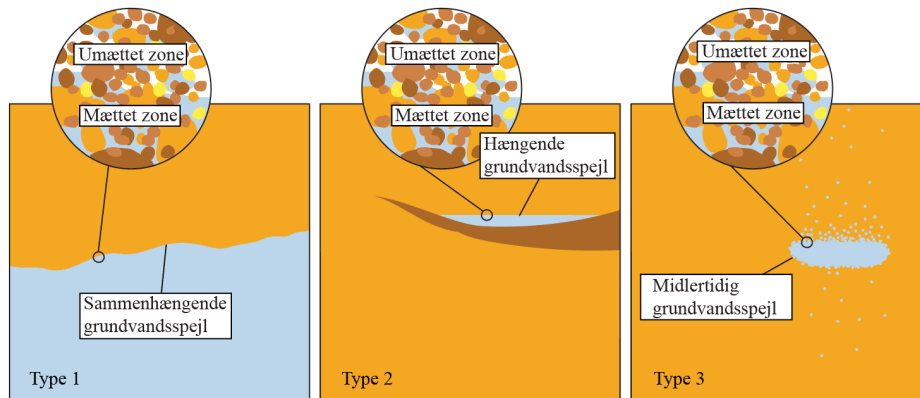
Det terrænnære grundvandsspejl er i forbindelse med den fællesoffentlig digitaliseringsstrategis initiativ 6.1 defineret som: *”Det øverste frie grundvandsspejl man støder på fra oven”* (Henriksen et al. 2020).

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, drænafstrømning, 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) CO₂-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 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
- 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
- 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