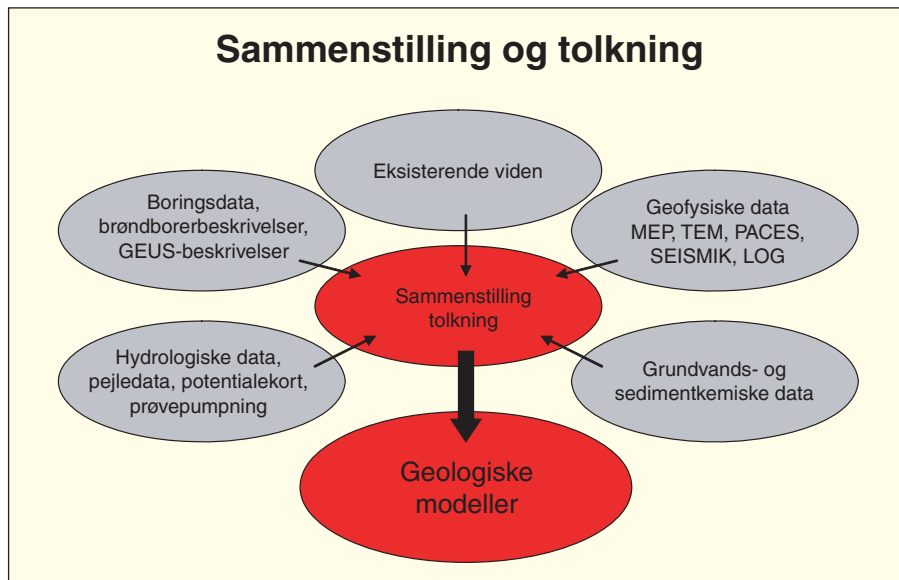


Opstilling af geologiske modeller - fra datahåndtering til dokumentation

Af Margrethe Kristensen, Flemming Jørgensen, Anker Lajer Højberg og Knud Erik S. Klint, GEUS, Christina Hansen, Miljøcenter Nykøbing F., Birthe Eg Jordt, Orbicon, Niels Richardt, Rambøll og Peter B. E. Sandersen, Grontmij/Carl Bro a/s.

Grundvandsmodeller anvendes i dag rutinemæssigt i den nationale grundvandskortlægning, og der har i den senere tid været stor fokus på kvalitetssikring og usikkerhedsvurdering af sådanne modeller. Grundvandsmodeller bygger grundlæggende på en forståelse af geologien og bør derfor altid tage udgangspunkt i en geologisk model. For geologiske modeller har der dog endnu ikke været den samme fokus på usikkerhed og kvalitetssikring, men da usikkerheden typisk er relativt stor ved geologisk tolkning og modellering, udgør den geologiske model normalt det svage led i modelprocessen. Samtidigt er det i stigende omfang erkendt og accepteret, at geologien i høj grad påvirker grundvandets strømningsforhold.



Sammenstilling og tolkning af forskellige datatyper ved geologisk modellering. (Grafik: Margrethe Kristensen)

Geologiske modeller har gennem årene været udført på mange forskellige måder. Der har været anvendt mange forskellige arbejdsprocedurer og arbejdsgange, og de resulterende modeller har været meget forskelligartede i bl.a. opsætning, konstruktion og kvalitet. Sammenstilling eller sammenligning af modeller fra forskellige områder har af denne grund været begrænset. Hertil kommer, at mange modeller har været så sparsomt dokumenterede, at en evaluering af de geologiske tolkninger og dermed modellens kvalitet ligeledes har været vanskelig. Viderebearbejdning og opdatering af sådanne modeller har været problemfyldt eller måske endda umulig.

Der har derfor været et ønske og et behov for, at der blev udarbejdet en vejledning for geologisk modellering til grundvandsmodellering. For lidt over et år siden blev et projekt, der skulle munde ud i en sådan vejledning, sat i søen af Miljøcentrene og GEUS. GEUS har været hovedaktør i projektet, men det er gennemført i tæt samarbejde med miljøcentrene og en række rådgivende ingeniørfirmaer. Projektet har haft stor bevågenhed, og der har været mulighed for at påvirke projektet gennem deltagelse i en følgegruppe. Vejledningen ligger nu klar /1/ og kan downloades fra GEUS's hjemmeside /2/ eller købes som trykt eksemplar hos GEUS.

Vejledningens formål

Vejledningen har primært til formål at højne kvaliteten af de opstillede geologiske modeller samt at sikre, at modellerne opbygges efter ensartede procedurer. Ved at tilnærme ensrettede procedurer vil det blive lettere for andre at forstå det gennemførte arbejde, og det vil blive lettere at arbejde videre med eller opdatere de geologiske modeller. Desuden vil det i højere grad blive muligt at sammenkoble forskellige geologiske modeller.

Under udarbejdelsen af vejledningen er det dog anerkendt, at der er en grænse for hvor stramme retningslinier, der kan gives. Geologiske modeller skal stadig specifikt kunne tilpasses faktorer som formål, aktuell geologi og tilgængelige data. Derfor kan alle modeller ikke laves efter én fast procedure, men der har i vejledningen kunnet gives overordnede anbefalinger for de forskellige trin i modelleringsprocessen samt eksempler på måder at løse forskellige problemstillinger på. Desuden er der blevet foreslået en fælles terminologi, hvor dette er skønnet formålstjenligt.

Vejledningens målgruppe er geologiske modelopstillere, men også brugere og købere af geologiske modeller.

Vejledningens indhold

Vejledningen indeholder 3 hovedkapitler:



MILJØRÅDGIVNING
JORD & GRUNDVAND

Forureningsundersøgelser
Jordforurenninger
Grundvandsforurenninger
Indeklima

Anlægsarbejde
Klassificering af jord
Ændret arealanvendelse
Myndighedsbehandling

Geofysik
Lokalisering af ledninger og tanke
Lokalisering af vandskader i bygninger
Kortlægning af jordlagene

POUL FALKENBERG ApS
MILJØRÅDGIVNING - JORD & GRUNDVAND
Nordre Strandvej 119A, DK-3150 Hellebæk
Tlf: +45 48 18 75 66
www.poulfalkenberg.dk

1. Problemformulering og udarbejdelse af projektbeskrivelse
2. Arbejdsgang ved geologisk modellering
3. Værktøjskasse

Kapitel 1 omhandler den indledende fase med problemformulering og projektbeskrivelse, hvor væsentlige overvejelser og problemstillinger inden modelopstillingen gennemgås. Kapitel 2 indeholder en beskrivelse af arbejdsgangen ved den geologiske modellering; hvordan og i hvilken rækkefølge modelarbejdet gribes an. Kapitel 3 er en "værktøjskasse" med emneopdelte, detaljerede beskrivelser af data, metoder og erfaringer. Her findes uddybende og tekniske beskrivelser af en lang række emner inden for geologisk modellering; bl.a. håndtering af forskellige datatyper (figuren øverst på side 8), konstruktion af modelskelet samt tolkning og modelleringsteknik. Kapitellet består af uafhængige beskrivelser, som kan bruges til opslag i forbindelse med anvendelse af kapitel 1 og 2.

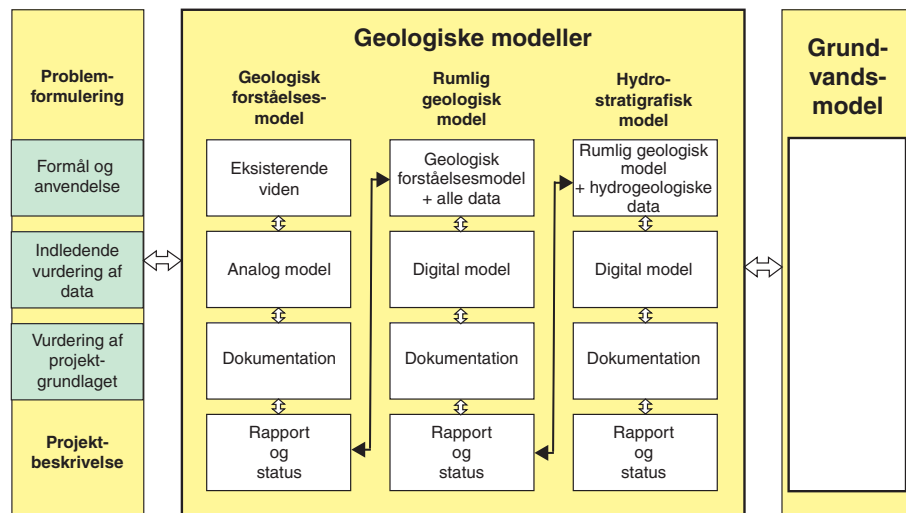
Anbefalet arbejdsgang ved modellering

Et af de primære resultater fra arbejdet med vejledningen har været en anbefalet arbejdsgang, hvor modelopstillingen sker gradvist med opbygning af tre forskellige modeltyper:

1. Den geologiske forståelsesmodel
2. Den rumlige geologiske model
3. Den hydrostratigrafiske model

De tre modeltyper er grundlæggende forskellige i koncept og konstruktion. De har forskelligt formål og bør i udgangspunktet opstilles i rækkefølge. Hidtil har der inden for geologisk modellering ikke været anvendt en ensartet terminologi. Dette har betydet, at samme modeltyper ofte beskrives ved flere forskellige termer. For at undgå misforståelser er det foreslået, at ovenstående udtryk for modeltyperne anvendes fremover.

Inddelingen og definitionen af modeltyperne har til formål at sikre en grundig modelopstilling, hvori alle vigtige led medtages



Flowdiagram der viser arbejdsgangen gennem de tre typer af geologiske modeller. (Grafik: Flemming Jørgensen)

i modelleringsprocessen. Dermed sikres en høj kvalitet, og der skabes ensartede rammer og definitioner for det udførte arbejde herfor.

De tre modeltyper kan i praksis udføres alene, uden at de forudgående eller efterfølgende modeltyper opstilles. Principielt bør de dog ikke stå alene, da de forudgående modeller danner grundlag for de efterfølgende modeller. Hvis fx slutproduktet skal danne basis for efterfølgende grundvandsmodellering, opstilles alle tre modeller, mens det kun er nødvendigt at opstille de to første modeller, hvis formålet er en forståelse af områdets geologiske opbygning. Arbejdsgangen gennem modeltyperne er illustreret i figuren ovenfor.

Ved de to første modeller (geologisk forståelsesmodel og rumlig geologisk model) arbejdes der med geologiske strukturer, lag og laggrænser, herunder dannelseshistorie, dannelsesprocesser og -miljøer. Ved den tredje model (den hydrostratigrafiske model) arbejdes der med hydrogeologiske enheder, hvilket gøres på baggrund af de modellerede geologiske forhold ved de to første modeller.

Den geologiske forståelsesmodel

Den geologiske forståelsesmodel bygger på eksisterende beskrivelser og tolkninger, og har til formål at give et overordnet billede af geologien i et modelområde (figuren øverst på s. 10). Dermed skal den udgøre en basis for opstillingen af den efterfølgende rumlige geologiske model. De eksisterende beskrivelser og tolkninger kan være geologiske kort, geologiske og hydrogeologiske rapporter, specialer og afhandlinger, øvrig geologisk litteratur m.v. Den geologiske forståelsesmodel består typisk af beskrivelser, principskitser, skitser af den overordnede stratigrafi samt en foreløbig dannelsesmodel for området.

Den rumlige geologiske model

Arbejdet med den rumlige geologiske model tager udgangspunkt i den geologiske forståelsesmodel og består af en detaljeret og integreret geologisk tolkning af alle tilgængelige og relevante data. Disse data vil i praksis primært bestå af boredata og geofysiske data. Til forskel fra den geologiske forståelsesmodel anbefales det, at den rumlige geologiske model bliver opstillet digitalt,



- Rensning af forurenede jord
- Kartering af jord
- Håndtering af overskudsjord
- Genanvendelse af bygge- og anlægsaffald
- Genanvendelse af slagger

en del af koncernen

dog med tilhørende skriftlig dokumentation, udarbejdelse af kort m.m. Det digitale modelarbejde omfatter en rumlig opbygning af geologiske lag og laggrænser samt en tilhørende vurdering af usikkerheden på de geologiske tolkninger. Den rumlige geologiske model er en model af undergrundens fysiske opbygning, men også en model der beskriver dannelseshistorie og -processer. Modellen opstilles kun i områder, hvor der kan foretages geologiske tolkninger med en rimelig sikkerhed, og der vil således normalt ikke være tolket i hele modelrummet. På denne måde udgør modellen en form for status for kendskabet til geologien i det aktuelle område.

Digitale geologiske modeller opstilles typisk som lagmodeller, og i langt de fleste tilfælde anvendes lagmodellen, hvor der arbejdes med "punkt-tolkning" og hermed menes digitalisering af punkter i modelrummet; i praksis ofte på profiler. Der er i vejledningen defineret forskellige typer af tolkningspunkter; bl.a. fladetolkningspunkter, som afsættes i modelrummet på positioner, hvor en given laggrænse tolkes at være til stede. Fladetolkningspunkterne udgør det grundlæggende element i den rumlige geologiske lagmodel. Fladetolkningspunkter, der tilsammen definerer en bestemt laggrænse, kan interpoleres til en gridflade, men det er stadig fladetolkningspunkterne, der udgør det grundlæggende element i modellen.

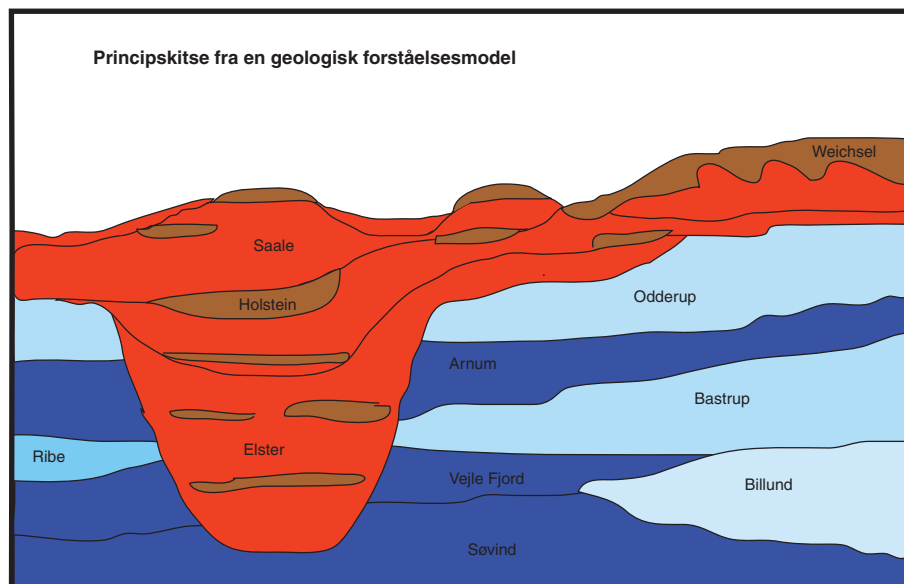
Afhængig af datamateriale og geologiske forhold kan den rumlige geologiske model bl.a. rumme følgende typer af laggrænser:

- **Kronostratigrafiske grænser** (fx grænsen mellem Kvartær og Tertiær, eller mellem Weichsel og Eem)
- **Lithostratigrafiske grænser** (fx bunden af et smeltevandsserlag eller grænsen mellem to tillenheder)
- **Formationsgrænser** (fx grænsen mellem Arnum og Odderup formationerne)

Den hydrostratigrafiske model

Der er en grundlæggende forskel mellem den rumlige geologiske model og den hydrostratigrafiske model (se figuren øverst på næste side). Den hydrostratigrafiske model er baseret på tolkningerne i den rumlige geologiske model, men den har fokus på jordlagenes hydrauliske egenskaber og inddeler jorden i hydrostratigrafiske enheder. De hydrostratigrafiske enheder er karakteriseret ved at have ensartede hydrauliske egenskaber, og under opstillingen af den hydrostratigrafiske model inddrages de hydrologiske og kemiske data som basis for tolkningen. Modellen udgør grundlaget for en efterfølgende grundvandsmodellering, og derfor skal der foretages tolkninger i hele modelrummet.

Ved opstillingen af den hydrostratigrafiske model sammenstilles den rumlige geologiske model med hydrologiske og kemiske data. Modellen vil ofte blive en forsimplet udgave af den rumlige geologiske model, da



Eksempel på principskitse fra en geologisk forståelsesmodel. Skitsen illustrerer den forventede stratigrafi i et kortlægningsområde. (Grafik: Margrethe Kristensen)

den hydrostratigrafiske model normalt kun indeholder grundvandsmagasiner og mellemiggende lag (aquiferer og aquitarder) (aquitarder er lag, der ikke indvindes vand fra). Forsimplingen skal foretages på en måde, så de geologiske forhold og strukturelle elementer, der influerer på strømningsforholdene, ikke mistes i tolkningen. I figuren øverst på næste side er der vist en forsimpling fra den rumlige geologiske model til den hydrostratigrafiske model, hvor kvartære og tertiære sandlag er forbundet på tværs af en begravet dal. Da kvartære og tertiære magasiner ofte er forskellige mht. vandets opholdstid og aflejringeres reduktionskapacitet, skal en sådan forsimpling af modellen opfølges af en grundig dokumentation. Den hydrostratigrafiske model kan også suppleres med hydrostratigrafiske zoneringsstemaer, som er udbredelseskort for de enkelte lag med fx den horisontale udbredelse af sedimenttyper eller transmissivitetssværdier.

Iterativ proces

Under hele udarbejdelsen af de geologiske modeller skal der tænkes iterativt. De geologiske modeller bør under hele arbejdsprocessen gøres til genstand for revurderinger, således at de arbejdshypoteser, der er opstillet i starten, kan tages op til genovervejelse og holdes op mod de nye tolkninger og modelresultater. Under modelleringsprocessen opnås typisk en gradvist dybere indsigt i de geologiske og hydrogeologiske forhold. Det kan fx være, modelarbejdet viser, at det geologiske kendskab er for svagt, og at der derfor bør indsamles nye/flere data (se figuren nederst på næste side). Den iterative proces fortsætter, også når den hydrostratigrafiske model er overført til strømningsmodellen, da denne kan være med til at identificere problemområder, hvor der er afvigelse mellem de observerede og simulerede hydrolo-

giske data. I disse problemområder kan det være nødvendigt at revurdere den geologiske og/eller den hydrostratigrafiske model.

Kvalitetssikring og dokumentation

I bestræbelserne på at få bedre, mere sammenlignelige og lettere gennemskuelige geologiske modeller spiller kvalitetssikring og dokumentation en stor rolle. Der er i vejledningen gjort meget ud af, at kvalitetssikring af data, tolkninger og rapportering er en vigtig del af alle trin i den geologiske modellering. På samme måde er der også gjort meget for at sikre, at dokumentationen af modellerne bliver så god, at modellerne bliver fuldt gennemskuelige med hensyn til opbygning, usikkerhed, svagheder og styrker.

Vi håber på, at denne vejledning frem-

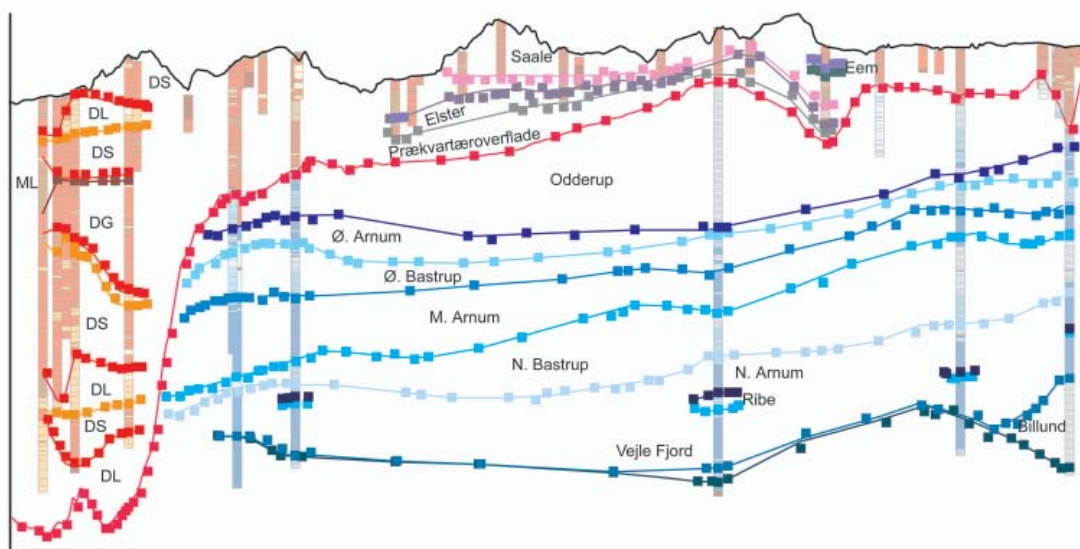
MALÅ
 GEOSCIENCE

ABEM
 Instrument AB

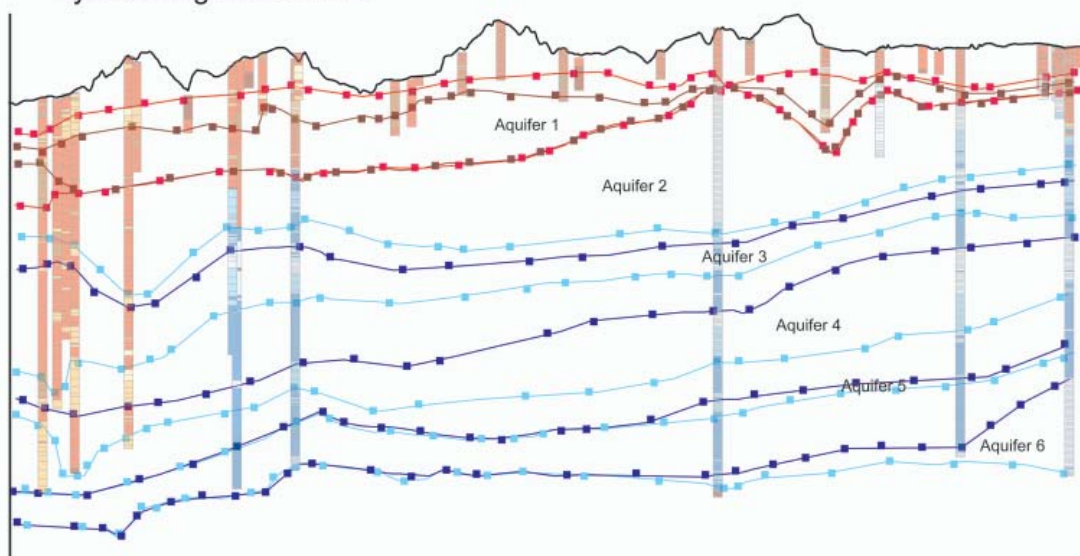
www.orica.dk.

Orica Denmark A/S
 Tel.: (+45) 43451538

Rumlig geologisk model



Hydrostratigrafisk model



Eksempel på forskellen mellem en rumlig geologisk model og en hydrostratigrafisk model. Den rumlige geologiske model er fx ikke tolket, hvor geologien ikke kan gengives med rimelig sikkerhed. Den hydrostratigrafiske model er tolket i hele modelrummet. (Grafik: Margrethe Kristensen/Flemming Jørgensen)

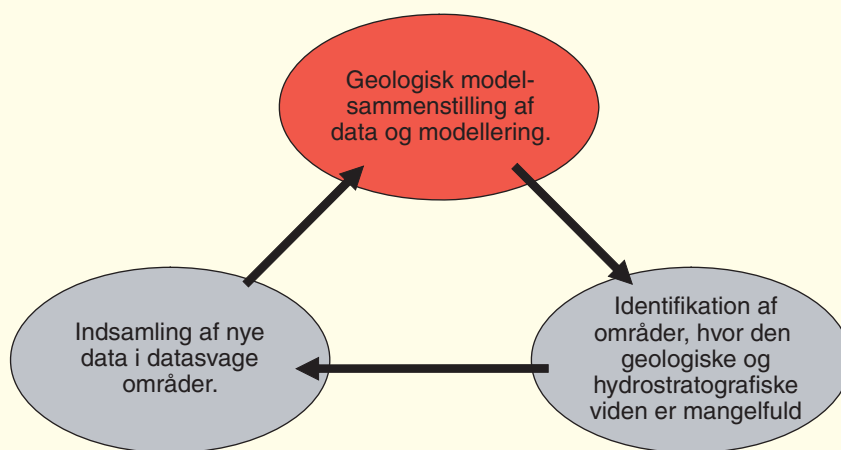
over vil udgøre et godt redskab til det fremtidige arbejde med geologiske modeller. Vejledningen har været nødvendig for at øge fokus på den geologiske modellering, da forståelsen af geologien både udgør synthesen af de indsamlede data og fundamentet for opstilling af grundvandsmodeller. Den geologiske modellering danner dermed grundlaget for udpegning af de områder, hvor der skal gøres en ekstra indsats for at beskytte grundvandet.

Referencer:

/1/ Jørgensen, F., Kristensen, M., Højberg A.L., Klint, K.E.S., Hansen, C., Jordt, B.E. Richardt, N og Sandersen, P. 2008: Opstilling af geologiske modeller til grundvandsmodellering. Geo-Vejledning 3. De Nationale Geologiske Undersøgelser for Danmark og Grønland - GEUS. 176 pp. ISBN 978-87-7871-227-1.

/2/ <http://gk.geus.info/grundvandskortlaegning/kravspec/vejledninger/index.html>

Iterativ proces



Iterativ proces hvor der gradvist indsamles nye data. Formålet med den geologiske model bestemmer type og sted, hvor supplerende data bør indsamles. (Grafik: Margrethe Kristensen)