

**GEOFYSIKSAMARBEJDET**

**Geofysisk Afdeling  
Geologisk Institut  
Aarhus Universitet**

**STRUKTUREL SÅRBARHEDSKORTLÆGNING -  
VURDERING AF LERTYKKELSE I BORINGER**

November 2005

## INDHOLD

### FORORD (1)

### BAGGRUND (2)

Lerindhold, geofysik og sårbarhed (2.1) .....	3
SSV-konceptet (2.2) .....	3
Akkumuleret lertykkelse	3
Korrelation	3
Geologisk efterpolering	4

### LERTYKKELSER VURDERET FRA BOREDATA (3)

Usikkerheder (3.1) .....	4
Grænsen mellem ler og sand (3.2) .....	5
Borerapporter og prøvebeskrivelser (3.3) .....	6
Andre faktorer (3.4) .....	7
Boremetode	7
Prøveantal, prøveintervaller og prøvers repræsentation	7
Boringens alder	7
Brøndborer	7
Geologiske forhold	7
Testboringer, ellogs, borehulslogs (3.5) .....	8

### EKSEMPLER (4)

Eksempel 1 (4.1) .....	9
Eksempel 2 (4.2) .....	10
Eksempel 3 (4.3) .....	11
Eksempel 4 (4.4) .....	12
Eksempel 5 (4.5) .....	13
Eksempel 6 (4.6) .....	14
Eksempel 7 (4.7) .....	15
Eksempel 8 (4.8) .....	16

### LITTERATUR (5)

## **1 FORORD**

I denne rapport gives en beskrivelse og vejledning af, hvordan lertykkelser vurderes ud fra boredata. Lertykkelserne indgår som en dataparameter i SSV-konceptet udviklet af GeoFysik-Samarbejdet.

Rapporten er udarbejdet af Flemming Jørgensen, Esben Auken og Anders Vest Christiansen. GeoFysikSamarbejdet, Geologisk Institut, Aarhus Universitets, november 2005.

## 2 BAGGRUND

### 2.1 LERINDHOLD, GEOFYSIK OG SÅRBARHED

Lerindholdet i de øvre jordlag er en vigtig parameter i vurderingerne af grundvandets sårbarhed overfor forurenende stoffer. Lerindholdet er tæt knyttet til de hydrauliske ledningsevner i jordlagene og giver således et fingerpeg om, hvor der sker en stor eller lille infiltration til grundvandsmagasinerne. Endvidere er det en kendt sag, at der eksisterer en sammen-

hæng imellem et lags elektriske modstand og litologien. Således har lerlag en lavere modstand end sandlag. Denne korrelation fra geofysiske målinger til en geologisk parameter har været anvendt gennem en årrække til at lave kort over den geofysiske lertykkelse, dvs. lertykkelser fundet vha. geofysik.

### 2.2 SSV-KONCEPTET

Som en del af den strukturelle sårbarhedskortlægning er der af GeoFysik-Samarbejdet blevet udviklet et statistisk koncept, der kan optimere de geofysiske lertykkelseskort i et kortlægningsområde under inddragelse borningsinformation. Konceptet kaldes SSV, som står for geoStatistical estimation of Structural Vulnerability. Det tager udgangspunkt i akkumuleret lertykkelse vurderet i nye og eksisterende borer. Denne lertykkelse benyttes i statistiske beregninger af den geofysiske lertykkelse i geoelektriske og elektromagnetiske datasæt.

#### **AKKUMULERET LERTYKKELSE**

Som nævnt er det den akkumulerede lertykkelse indenfor et udvalgt dybdeinterval der anvendes som parameter i konceptet. Dette er en gængs indgangsvinkel til vurdering af strukturel sårbarhed, men lerindholdet er ikke en parameter der direkte kan kvantificeres med geofysiske målemetoder. De geofysiske målemetoder der anvendes i sårbarhedskortlægningen

måler jordens elektriske ledningsevne. Ler er i den sammenhæng en bedre leder end sand og kalk, men differentieringen vanskeliggøres af andre faktorer, såsom vandindhold og lertype. De hydrauliske egenskaber er derimod i høj grad afhængig af lerindholdet i formationen. Andre væsentlige forhold er sorteringsgrad, porøsitet, lagdeling og sprækkeforekomster som også spiller ind i sammenhængen mellem elektrisk og hydraulisk ledningsevne.

#### **KORRELATION**

Ved konceptets estimering af den geofysiske lertykkelse fås en angivelse af de laterale variationer af lertykkelser indenfor en given dybde. Herved antages det, at det geofysiske datasæt er i stand til at opløse de laterale variationer i geologien. Den statistiske indgangsvinkel bygger på, at der eksisterer korrelerbare sammenhænge mellem individuelle geofysiske målepunkter og borer. Da korrelationen imellem borerne og geofy-

sikken ikke altid er entydig på grund af heterogen geologi, er det ved kørslen af konceptet vigtigt, at der indbygges geologisk viden undervejs.

### **GEOLOGISK EFTERPOLERING**

Outputtet af konceptet er dog primært en estimering af den geofysiske lertykkelse, uden at den eventuelt eksisterende generelle geologiske viden nødvendigvis er blevet benyttet tilbundsående. Det geofysiske lertyk-

kelskort bør derfor efterfølgende blive udsat for en "geologisk efterpolering", hvilket vil føre til udarbejdelsen af det endelige strukturelle sårbarhedskort. F.eks. vil områder med skråtstillede lag kunne udvise en betydelig forhøjet strukturel sårbarhed i forhold til områder med horisontal lagdeling, men dette vil ikke nødvendigvis blive afsløret i det geofysiske lertykkelseskort som variationer i den samlede lertykkelse.

## **3 LERTYKKELSER VURDERET FRA BOREDATA**

Når den akkumulerede lertykkelse i en boring skal estimeres i forhold til sårbarhed ligger udfordringen principielt i, at bestemme hvor grænsen mellem "sand" og "ler" ligger set ud fra et hydraulisk synspunkt. Der er meget vide grænser for, hvornår boreprøver af både brøndborere og geologer vurderes som værende sand eller ler. Derfor er det ikke tilstrækkeligt blot at udsøge lerlag i boredatabaser. Det er nødvendigt at vurdere alle borerapporter og beskrivelser samt eventuelt forekommende logs individuelt. Desuden er det nødvendigt at estimere usikkerheder for alle angivelser af ler-

tykkelser. Grænsen mellem "sand" og "ler" er et vidt begreb, som ikke kan defineres præcist, men det er dog en brugbar parameter, da de fleste brøndborere anvender disse beskrivelser i et eller andet omfang. Samtidig giver begreberne indikationer om den hydrauliske ledningsevnes størrelse. Generelt set vil der være brugbar information at hente fra de fleste borerapporter og prøvebeskrivelser. Der skal blot tillægges reelle usikkerhedsintervaller. Men i nogle tilfælde kan usikkerhederne være af så betydelig karakter, at boringens data må kasseres.

### **3.1 USIKKERHEDER**

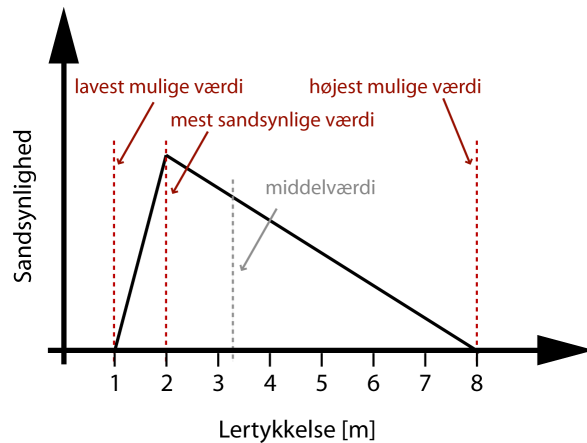
Lertykkelsesvurderingen bliver subjektiv, fordi en lang række forhold skal tages i betragtning. Forhold som boremetode, brøndborer, boringens alder, antal prøver, geologiske forhold og prøvebeskrivelsesmåde er særligt vigtige at forholde sig til, men også fejkilder som lokaliseringens præcision eller eventuelt ombyttede borerapporter skal tages med i vurderingerne. Subjektiviteten betyder, at der er en vis usikkerhed forbundet med lertykkelsesvurderingen.

Beregningskonceptet arbejder med endelige, brugerdefinerede sandsyn-

lighedsfordelinger. Det vil sige, at sandsynlighedsfordelingen ikke behøver være symmetrisk som f.eks. en gaussfordeling er det. Endvidere skal lertykkelsen ikke opgives som middelværdien i usikkerhedsintervallet, men derimod som den mest sandsynlige værdi. Figur 3.1 viser en sandsynlighedsfordeling der illustrerer de forskellige termer. Den mest sandsynlige værdi for dette eksempel er 2 meter ler, og det vurderes at værdierne ligger indenfor intervallet 1-8 meter. Usikkerhedsintervallerne for den vurderede lertykkelse må naturligvis ikke være større end intervallerne for ler-

tykkelsen totalt (f.eks. 0-20 m). Da det er den mest sandsynlige værdi, og ikke middelværdien der anvendes, kan man godt i det ekstreme tilfælde

forestille sig, at man angiver den mest sandsynlige værdi til 0,1 m ler og intervallet til f.eks. 0-5 meter.



Figur 3.1 Illustration af de forskellige termer anvendt ved estimering af lertykkelsen i en boring

Det er naturligvis i praksis meget vanskeligt at bestemme lertykkelser med tilhørende usikkerheder. Ved vurderingerne må man give sit bedste bud ud fra en samlet betragtning af ovennævnte usikkerhedsforhold. En stor usikkerhed, f.eks. forbundet med få og dårligt beskrevne prøver fra en direkte skylleboring, giver naturligvis et stort usikkerhedsinterval, hvori- mod en snegleboring med velbeskrevne prøver for hvert gennemboret lag kun vil give et lille usikkerhedsinterval. Samtidig skal det dog også understreges, at usikkerhedsintervallerne ikke må bruges til at gå let hen over den geologiske vurde-

ring. Det giver f.eks. ikke meget mening at beskrive en boring som indeholdende 5 meter ler med et interval på 0-20 m, fordi man er usikker på hvad brøndboreren har skrevet i rapporten. Har man kun meget lidt information er det måske bedre helt at udelade boringen. Det er vigtigt, at der bliver taget stilling, da det er kvaliteten af de beskrevne lertykkelser i boringer der danner grundlaget for SSV sammen med geofysikken. De vurderede usikkerheder indregnes i beregningsmodulet, således at den estimerede lertykkelse vægter højest, og fordelingsfunktionen bestemmer vægtningsforløbet til hver side.

### 3.2 GRÆNSEN MELLEMLER OG SAND

"Ler" og "sand" er alment anvendte begreber. De benyttes af både brøndborene og geologer i beskrivelsen af jordprøvers kornstørrelseskarakteristika. Dermed indikerer begreberne noget om den hydrauliske ledningsevne og dermed også noget om den

strukturelle sårbarhed. Den hydrauliske ledningsevne er mange gange større for sand end den er for ler, så derfor kan man overordnet set betragte ler som impermeabelt sammenlignet med sand. I virkelighedens verden er "sand" dog ikke blot sand

og "ler" ikke blot ler. En gennemgang af de forskellige jordartsklassifikationer kan findes i Larsen et al. (1995). Der er en gradvis overgang mellem sand og ler, hvori også siltfraktionen indgår, men siltbetegnelsen benyttes ikke i samme omfang som "sand" og "ler" i beskrivelserne. I praksis vil en finkornet jordprøve med en sammenhængende plastisk konsistens blive beskrevet som "ler". Vandindholdet i prøven spiller en meget væsentlig rolle for bedømmelsen af prøver der befinder sig i området omkring silt-ler-grænsen. Mere eller mindre usammenhængende prøver vil generelt blive beskrevet som "sand" eller evt. "silt". Lerindholdet i en prøve defineret som værende "ler" er højere end 10-15 %. Typisk dansk moræneler har et lerindhold på 12-25 %, mens morænesand har lerindhold på under 12 %. Smeltevandsler har normalt relativt højt lerindhold, mens fedt paleogent ler kan have meget høje lerindhold, der når over 50-80 %. En joker i jordprøvebeskrivelserne

er som nævnt siltindholdet. Prøver af silt kan sommetider give jordprøver en "leragtig" karakter og foranledige fejlvurderinger. Dette gælder f.eks. for tertiært glimmersilt og for visse smeltevandssedimenter.

Sårbarhedskonceptet tager udgangspunkt i ovennævnte skelnen mellem "sand" og "ler" i jordprøver og muligheden for også at skelne mellem sandede aflejringer og lerede aflejringer i de geofysiske data. I praksis forstås "sand" som værende de sedimentter som ikke er "ler". Det forudsættes, at det der i jordprøvebeskrivelserne beskrives som "sand" er hydraulisk ledende og dermed sårbart, mens det der er "ler" er impermeabelt og dermed beskyttende. "Sand" omfatter derfor også f.eks. kalk, grus og sten. Den beskrevne skelnen mellem "sand" ("ikke-ler") og "ler" i borerne benyttes til at finde frem til, hvor grænsen mellem samme "sand" ("ikke-ler") og "ler" findes i de geofysiske datas elektriske modstande.

### 3.3 BORERAPPORTER OG PRØVE- BESKRIVELSER

Under borearbejdet registrerer brøndborerne i en borerapport den gennemboede lagserie. Borerapporten indeholder normalt jordprøvebeskrivelser og ofte også andre mere indirekte observationer, der opleves under selve borearbejdet. Dette kunne f.eks. være laggrænser, kornstørrelsesvariationer i gennemboede, manglende prøver m.m. Brøndborenes rapporter er vigtige da de indeholder observationer iagttaget i felten og som ofte ikke kommer videre over i PCJupiter. Borerapporter kan findes i amternes og GEUS' borearkiver og er ikke en del af boredatabasen PCJupiter. I princippet skal brøndborenen udtage prøver til geologbeskrivelse på GEUS for hver 5.

meter eller hver gang et lag gennemboes. Langt de fleste borer er gamle, og denne praksis har ikke altid været anvendt. På en stor del af borerne er der enten ikke indsendt boreprøver til GEUS, eller også er der kun indsendt meget få prøver pr. boring. I tilfælde med kun få indsendte prøver er GEUS' beskrivelser kun af begrænset værdi, da det ikke vides med sikkerhed, om prøverne er repræsentative for den gennemboede lagfølge. Bl.a. derfor er det altid nødvendigt at vurdere sine lertykkelssværdier ud fra både borerapport og GEUS' geologbeskrivelser.

### 3.4 ANDRE FAKTORER

Ovenfor er der primært taget stilling til de usikkerhedsmomenter, der direkte vedrører prøveudtagning og prøvebeskrivelser. Det er naturligvis helt grundlæggende også at inddrage forhold som f.eks. boremetodens egnethed til at frembringe repræsentative prøver, boringens alder, geologiske forhold og brøndborerens omhu, erfaring og ekspertise. Nogle af disse forhold gennemgås kort i det følgende.

#### **BOREMETODE**

Boremotoden er meget vigtig, da forskellige metoder giver meget varierende prøvekvaliteter. Tørboringer giver de bedste prøver, ofte med intakte cuttings af ler og relativt uforstyrrede prøver af sand og grus. Tørboringer omfatter bl.a. snegleboringer og slagboringer og står i modsætning til skylleboringer med anvendelse af boremudder. Skylleboringerne giver generelt dårligere prøver, men det har vist sig, at den såkaldte "omvendte skylleboring" eller "lufthæveboring" kan give tilfredsstillende, repræsentative prøver. De fleste nyere vandforsyningsboringer udføres som lufthæveboringer. Ved "direkte skylleboringer" fås ofte meget dårlige prøver, som kan være svære at tolke "rigtigt" for GEUS. Derfor er det ved disse boringer i særlig grad vigtigt at kigge på brøndborerens optegnelser, da han indirekte har kunnet "mærke" hvad der er blevet gennemboret. En nærmere gennemgang af boremetoder kan f.eks. findes i Karlby & Sørensen 1998.

#### **PRØVEANTAL, PRØVEINTERVALLER OG PRØVERS REPRÆSENTATION**

Ved de fleste boringer er antallet af prøver indsendt til GEUS mindre end antallet af væsentlige geologiske lag. Brøndboreren har typisk foretaget sin egen vurdering af lagfølgen og indsendt et begrænset antal af prøver, der repræsenterer lagfølgen afvejet i

forhold til den på boretidspunktet gældende praksis for indsendelse af boreprøver. Ved brøndborerens udvælgelse af prøver går der en del oplysninger tabt; oplysninger som muligvis er registreret i borerapporten. Det er meget vigtigt for tolkningen af lagfølgen at brøndborerens udvælgelse er sket på en måde så sættet af boreprøver repræsenterer lagfølgen ordentligt.

#### **BORINGENS ALDER**

Boringens alder er vigtig, fordi der op gennem tiden har været anvendt forskellige retningslinier for hvordan boringer har skullet udføres, og ikke mindst for hvordan håndteringen af prøver og prøvebeskrivelser (inkl. tolkninger) skulle foretages.

#### **BRØNDBORER**

Brøndborere har gennem tiden arbejdet meget lokalt og mange brøndborere går igen når man gennemser et områdes borerapporter. Et generelt kendskab til brøndborerens arbejds-kvalitet affødt af omhu, erfaring og ekspertise, kan bidrage til bedre usikkerhedsvurderinger i gennemgangen af boringerne.

#### **GEOLOGISKE FORHOLD**

De danske geologiske forhold varierer meget fra region til region. I nogle områder er der tydelige forskelle på sandede og lerede aflejringer med en deraf følgende lille usikkerhed i bedømmelserne mellem sand og ler. I andre områder af Danmark, hvor der forekommer forholdsvis meget silt (f.eks. tertiært glimmersilt) er der mindre konsistens i de forskellige brøndboreres og geologers bedømmelser af, hvornår et materiale er sand, silt eller ler. Her er usikkerhederne selvfølgelig særligt store. Andre steder hvor der er store forskelle i opfattelserne af hvad der er sand og hvad der er ler kan være i områder præget af kridt- og kalkbjergarter.



### 3.5 TESTBORINGER, ELLOGS, BOREHULSLOGS

For at teste boreprøvebeskrivelserne fra brøndborene såvel som fra GEUS, kan det være en god idé at udføre nye boringer. Dette gøres fordi der nogle steder kan være tvivl om, hvilken type af lag forskellige, gennemgående beskrivelser refererer til. Typisk vil man, når et område gennemgås, opdage et eller flere sammenlignelige lag i en del af boringerne, uden at det præcist vides, om der er tale om noget, der i beskyttelsesmæssig forstand kan karakteriseres som værende sand eller ler. For eksempel kunne det dreje sig om et mere eller mindre gennemgående lag, der i brøndborebeskrivelserne

primært fremgår som sandet moræneler, men af GEUS er tolket som morænesand. Et sådant lag vil være relevant at undersøge nærmere med nye boringer. I andre tilfælde kan det overvejes, at gennemføre elektrisk logging i eksisterende borehuller. Data fra nye boringer eller ellogs, der angiver sammenhænge mellem lithologier og elektriske modstande, kan også benyttes som en del af selve konceptkørslen. Her anvendes modstandsniveauer for grænsen mellem "sand" og "ler" som direkte input, eller som en verifikation af kørselsresultaterne. De kan endvidere benyttes ved en verifikation af de geofysiske data.

### 4 EKSEMPLER

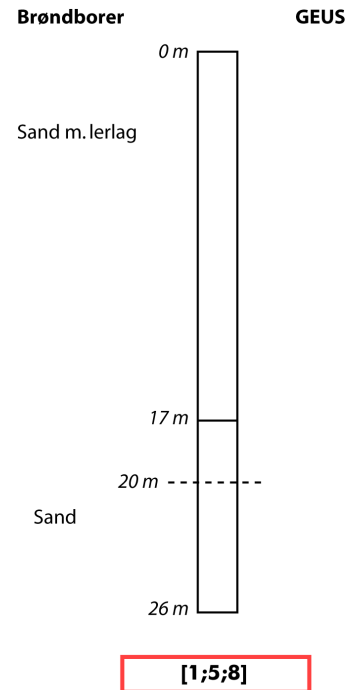
I det følgende gennemgås en række eksempler på hvordan lertykkelsesvurderinger kan foretages. Eksemplerne omhandler primært boringer, hvor det kan være vanskeligt, at udføre vurderingerne på grund af få eller dårligt beskrevne prøver. Der er ikke medtaget eksempler på velbeskrevne boringer, hvor vurderingerne er rela-

tivt uproblematisk. Der er heller ikke medtaget forhold som boremetode, brøndbore, lokal geologi m.m. Disse forhold skal naturligvis også tages i betragtning i praksis.

I alle eksempler er det den akkumulerede lertykkelse inden for de øverste 20 m, der vurderes.

**4.1  
EKSEMPEL 1**

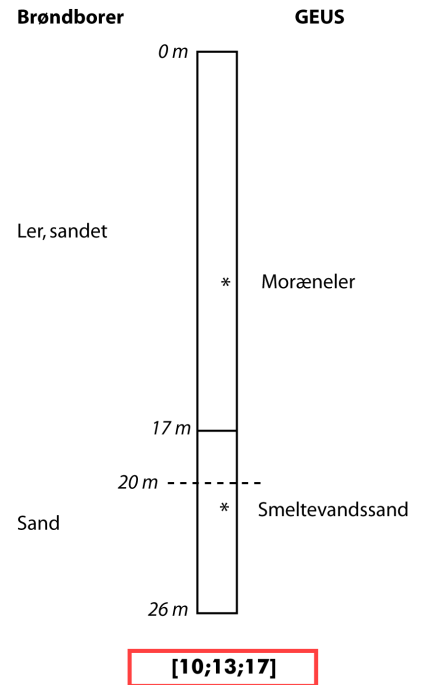
I figur 4.1 ses en skitse af en 26 m dyb boring. Der er kun brøndboreroplysninger, og ingen geologiske prøvebeskrivelser fra GEUS. Borningsbeskrivelsen fra brøndboreren er simpel og forenklet. Det kan forventes, at geologien er væsentligt mere kompliceret. I de øverste 17 m er lagserien beskrevet som "sand med lerlag". Lagserien indeholder derfor en vis mængde ler og da lagserien overordnet er beskrevet som sand, må lerindholdet være mindre end sandindholdet. Et bud på lerindholdet indenfor de øverste 17 m kunne derfor være 4 m med et relativt stort usikkerhedsinterval på f.eks. 1-7 m. Fra 17 til 26 m er der observeret sand uden yderligere beskrivelse. Der kan i dette sandlag findes indslag af ler, uden at dette er observeret eller beskrevet. En sandsynlig lertykkelsesvurdering kunne derfor være 1 m med et usikkerhed på 0-1 m i det 3 meter tykke interval ned til 20 m. For de øverste 20 m bliver lertykkelsesvurderingen altså samlet set 5 m med et usikkerhedsinterval på 1-8 m.



Figur 4.1 Simpel brøndborerbeskrivelse, ingen GEUS beskrivelse. Den røde ramme angiver den vurderede lertykkelse med usikkerhedsintervaller.

**4.2  
EKSEMPEL 2**

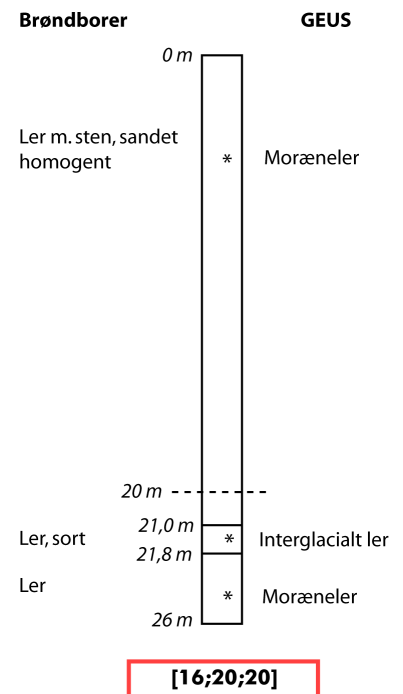
I figur 4.2 ses en anden simpelt beskrevet boring, men her dog med GEUS-beskrivelser. De øverste 17 m er af brøndboreren beskrevet som sandet ler. En enkelt prøve herfra er af GEUS beskrevet som moræneler. Dette lag kan selvfølgelig være et tykt og homogent lag af moræneler, og i så fald skal der angives en lertykkelse på 17 m her. Den simple beskrivelse fra brøndborerens side kan dog meget vel skjule internt forekommende mindre sandlag. Endvidere er der en usikkerhed ved, at leret er beskrevet som sandet. Dette betyder, at noget af laget muligvis i realiteten er sand. En vurdering for laget kunne derfor være 13 m ler med et usikkerhedsinterval på 10-17 m. For laget nedenunder gør de samme overvejelser sig gældende som i eksempel 1, også selvom der her foreligger en GEUS-beskrivelse.



Figur 4.2 Smpel brøndborerbeskrivelse med GEUS beskrivelse. Den røde ramme angiver den vurderede lertykkelse med usikkerhedsintervaller.

**4.3  
EKSEMPEL 3**

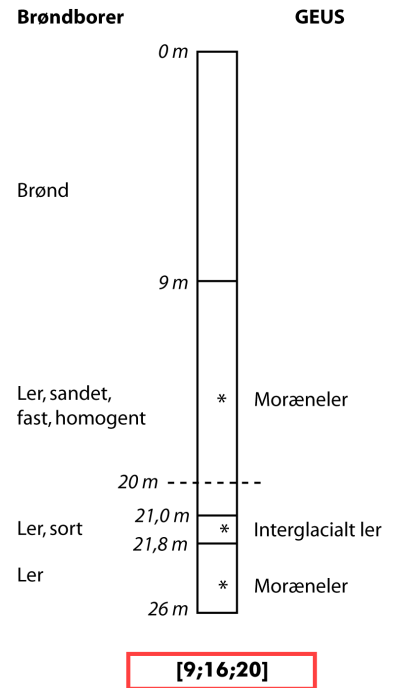
I figur 4.3 ses en boring, der er bedre beskrevet af brøndboreren. Dette ses særligt ved, at der internt i lerlaget er beskrevet et andet lerlag mellem 21,0 og 21,8 m. Denne præcise dybdebeskrivelse og skelnen mellem lertyper antyder, at også resten af lagserien er velbeskrevet, og der er dermed mindre risiko for, at der forekommer ubeskrevne sandlag i den øvrige del af boringen. Således kan man her angive lertykkelsen med stor nøjagtighed og lille usikkerhed for hele det vurderede interval. Endvidere beskriver brøndboreren, at de øverste 21 m består af homogent, fast ler. I denne boring vil den mest sandsynlige akkumulerede lertykkelse indenfor de øverste 20 m af lagserien være tæt på 20 m. En vurdering kunne umiddelbart være 20 m med et vist usikkerhedsmoment hidrørende fra beskrivelsen som "sandet". Noget af lagserien kunne være et materiale, der af brøndboreren blev betragtet som værende ler, men som i realiteten skulle have været vurderet som sand. Dette giver en usikkerhed på måske 4 m, således at usikkerhedsintervallet kan angives at være 16-20 m.



Figur 4.3 God brøndborerbeskrivelse med GEUS beskrivelse. Den røde ramme angiver den vurderede lertykkelse med usikkerhedsintervaller.

**4.4  
EKSEMPEL 4**

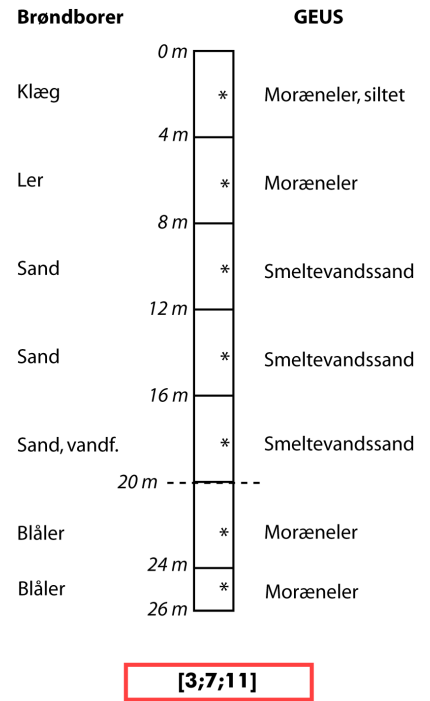
I figur 4.4 ses den samme boring som ovenfor, men her der imidlertid ingen oplysninger fra de øverste 9 m. Boringen er dog anvendelig, da den trods alt giver nogen oplysninger til brug i beregningskonceptet. I intervallet mellem 9 og 20 m er den vurderede lertykkelse med ret stor sikkerhed tæt på 11 m, men bidraget af ler fra de øverste 9 m er ukendt. En samlet vurdering for denne boring kunne være 16 m med et usikkerhedsinterval på 9-20 m.



Figur 4.4 God brøndborerbeskrivelse med GEUS beskrivelse men med brønd i de øverste 9 meter. Den røde ramme angiver den vurderede lertykkelse med usikkerhedsintervaller.

**4.5  
EKSEMPEL 5**

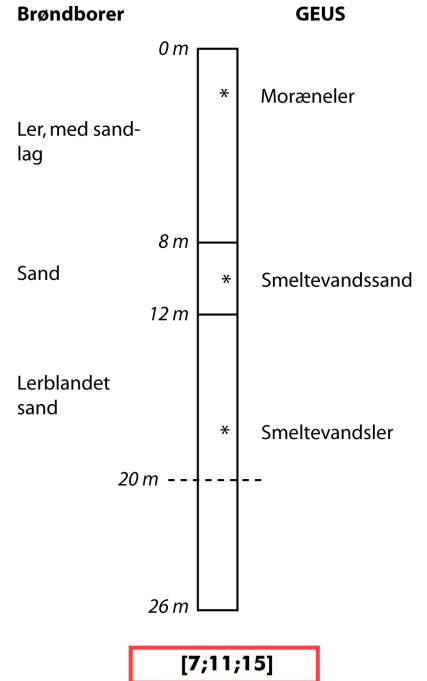
I den næste boring i figur 4.5 er lagene delt op i 4 m-intervaller. Dette er selvfølgelig ikke en naturlig lagdeling, men snarere en følge af borerørens længde eller lign. De beskrivelser, der er angivet stammer derfor enten fra prøver udtaget fra tilfældige afsnit af intervallet eller udgøres af gennemsnitlige vurderinger af hele intervallet. Der er altså ikke angivet laggrænser i denne boring, hvilket gør den usikker og svær at vurdere. GEUS' tolkning stemmer nogenlunde overens med brøndborerens mht. sand og ler. Det som brøndboreren betegner som "klæg" tolkes af GEUS som værende siltet moræneler. En sådan aflejring befinder sig tæt på sand/ler-grænsen og er derfor reeltvis usikker i lertykkelsessammenhæng. En samlet vurdering af den akkumulerede lertykkelse i boringen kunne lyde på 7 m (primært hidrørende fra de øverste 8 boremeter) med et usikkerhedsinterval på 3-11 m.



Figur 4.5 Boring med faste prøveintervaller. Den røde ramme angiver den vurderede lertykkelse med usikkerhedsintervaller

**4.6  
EKSEMPEL 6**

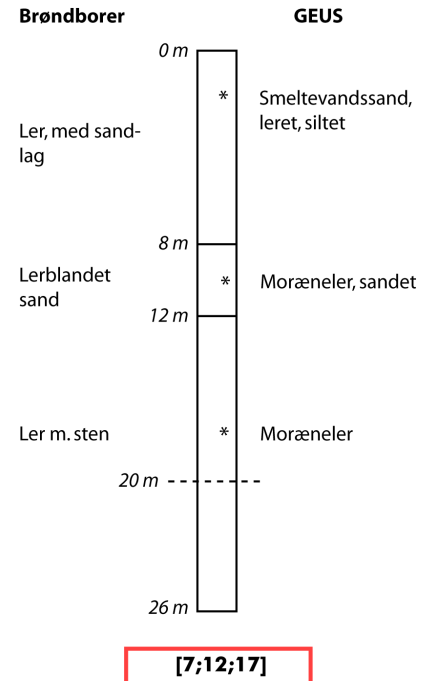
I boringen i figur 4.6 er lertykkelsen i det øverste lag svær at vurdere fordi brøndborener har skrevet "ler med sandlag". Det samme gælder for det nederste lag, som er beskrevet som "lerblandet sand". GEUS' tolkning er vigtig her fordi dette sand angives som ler og ikke sand. Alt i alt er der meget stor usikkerhed på denne boring og en vurdering kunne være 11 m med et usikkerhedsinterval på 7-15 m. Det er rimeligt at tro at over halvdelen af det øverste lag består af ler (måske 5 m), og at det meste af det nederste lag består af ler (måske 6 m).



Figur 4.6 Uklar brøndborerbeskrivelse og uoverensstemmelse med GEUS-beskrivelsen. Den røde ramme angiver den vurderede lertykkelse med usikkerhedsintervaller.

**4.7  
EKSEMPEL 7**

I boringseksemplet i figur 4.7 er der ret store uoverensstemmelser mellem brøndborer og GEUS' tolkninger. Det øverste lag er af brøndboreren som ovenfor beskrevet som "ler med sandlag", men af GEUS er det her tolket som leret og siltet smeltevandssand. Det mellemliggende lag beskrives af brøndboreren som "lerblandet sand", mens GEUS tolker det som sandet moræneler. Det nederste lag er der dog mindre usikkerhed omkring, da "ler med sten" passer godt med moræneler. En vurdering af lertykkelsen kunne lyde således: 3 m (1-5 m) i øverste lag, 2 m (0-4 m) i mellemste lag og 7 m (6-8 m) i nederste lag. I alt giver det 12 m med et usikkerhedsinterval på 7-17 m.

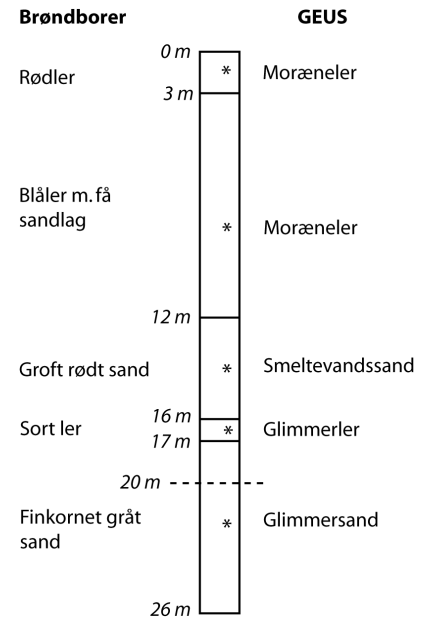


Figur 4.7 Store forskelle på brøndborer- og GEUS-beskrivelser. Den røde ramme angiver den vurderede lertykkelse med usikkerhedsintervaller.



**4.8  
EKSEMPEL 8**

I figur 4.8 ses en boring, der er godt beskrevet af brøndboreren. Tynde lag ned til 1 meter er registreret og i andet lag er det f.eks. angivet, at der er få sandlag til stede. Desuden stemmer GEUS' tolkninger af de indsendte prøver godt med brøndborerens registreringer. Dette antyder, at brøndboreren har været omhyggelig med at beskrive og udvælge repræsentative prøver. En samlet lertykkelsesvurdering for denne boring kunne være 10 m med et usikkerhedsinterval på 8-12 m.



**[8;10;12]**

Figur 4.8 God brøndborebeskrivelse i overensstemmelse med GEUS-beskrivelser. Den røde ramme angiver den vurderede lertykkelse med usikkerhedsintervaller.

**5  
LITTERATUR**

Karlby, H., Sørensen, I. 1998: Vandforsyning. Teknisk Forlag, København. 702 p.

Larsen, G. Frederiksen, J., Villumsen, A., Fredericia, J., Gravesen, P., Foged, N., Knudsen, B. & Baumann, J. 1995:

Vejledning i ingeniørgeologisk prøvebeskrivelse. dgf Bulletin, Revision 1, maj 1995. Dansk Geoteknisk Forening.