

Roskilde Amt - Indsatsområde Køge Syd

Borehulslogging i borerne
DGU nr. 212.740 og -.781

Kurt Klitten og Erik Clausen



Roskilde Amt - Indsatsområde Køge Syd

Borehulslogging i borerne
DGU nr. 212.740 og -.781

Kurt Klitten og Erik Clausen

1.	Introduktion og undersøgelsesprogram	3
2.	Sammenfatning af resultater	6
2.1	Tekniske forhold og geologi	6
2.2	Indstrømningsfordeling	6
2.3	Saltvandspåvirkning.....	7
2.4	Konklusion	8
3.	Undersøgelsesresultater i de enkelte borer	10
3.1	DGU nr. 212.740 – Herfølge vandværk B6.....	10
3.1.1	Tekniske forhold – kaliber log og flow-log uden pumpning.....	10
3.1.2	Lagfølge jævnfør gamma-, induktions- og resistivitets-log	10
3.1.3	Indstrømningszoner	11
3.1.4	Ledningsevne- og temperatur-log, samt saltvandspåvirkning	12
3.2	DGU nr. 212.781 – Herfølge vandværk B7	14
3.2.1	Tekniske forhold – kaliber log og flow-log uden pumpning.....	14
3.2.2	Lagfølge jævnfør gamma-, induktions- og resistivitets-log	14
3.2.3	Indstrømningszoner	15
3.2.4	Ledningsevne- og temperatur-log, samt saltvandspåvirkning	16
3.3	DGU nr. 212.1031 – Fruedal B4, Køge Vandværk	17
3.3.1	Tekniske forhold - kaliber log og flow-log uden pumpning	17
3.3.2	Lagfølge jævnfør gamma-, induktions- og resistivitets-log	17
3.3.3	Indstrømningszoner	18
3.3.4	Ledningsevne- og temperatur-log samt saltvandspåvirkning	18
3.4	DGU nr. 212.987 – Klemmestrup, Køge vandværk	19
3.4.1	Tekniske forhold og flow-log uden pumpning.....	19
3.4.2	Lagfølge jævnfør gamma- og resistivitets-log	19
3.4.3	Indstrømningszoner	20
3.4.4	Ledningsevne- og temperatur-log samt saltvandspåvirkning	20
4.	Log stratigrafi i Danien kalken	22
4.1	Korrelation af Gamma-logs.....	22
4.2	Korrelation af Resistivitets-logs	22
4.3	Korrelation af Induktions-logs	22
4.4	Konklusion	22
5.	Bilags liste	23

1. Introduktion og undersøgelsesprogram

GEUS udførte på foranledning af COWI v./Jan Stæhr i perioden 25-28 november 2003 borehulslogging i to gamle indvindingsboringer ved Herfølge vandværk, DGU nr. 212.740 og 212.781. Logging-undersøgelserne indgår som en del af Roskilde Amts kortlægningsopgave i Indsatsområde Køge Syd.

Boringerne er henholdsvis 60 m og 50 m dybe og er ført henholdsvis 48 m og 37 m ned i kalken, idet det kvartære dæklag over Danien kalken er henholdsvis 12 m og 13 m tykt. Boringerne er fra henholdsvis oktober 1966 og juli 1968, og er udbygget med stålforerør til ca. 24 m dybde, medens de står som åbne kalkboringer herfra og til bund. Der er det særlige ved udbygningen, at de nederste 12 m af forerøret i begge boringer har slidser, som tillod indstrømning fra den øvre løse og ofte opsprækkede kalk. Begge boringer er rapporteret oprindelig at have haft en særdeles god specifik ydelse, i 212.740 således 30 m³/t med 5,2 m sænkning efter 3 døgn, og i 212.781 observeredes kun 4,0 m sænkning efter 3 døgn pumpning med 48 m³/t. Kloridindholdet i det oppumpede vand efter 3 døgn pumpning lige efter boringernes færdiggørelse var 300 mg/l i 212.740 og 223 mg/l i 212.781.

Formålet med borehulslogging i de to boringer var ved hjælp af flow-logging at bestemme indstrømningsfordelingen i såvel den åbne kalk sektion som i det opslidsede forerør, samt ved sammenligning med resultater fra tidligere borehulslogging i 2 andre kalk boringer (212.1031 ved Fruedal og 212.987 ved Klemmestrup) beliggende i eller tæt ved indsatsområdet at vurdere, om der er nogen generel sammenhæng mellem indstrømningsfordeling og en eventuel log-stratigrafisk inddeling af Danien kalken.

Formålet med logging var derfor også at undersøge, om der i indsatsområdet kan opstilles en log-stratigrafi for kalken, d.v.s. om der er en generel lithologisk variation i dele af kalken, som kan følges fra boring til boring. Derfor blev der også udført gamma-, induktions- og resistivitets-logging. For kontrol af boringernes udbygning udførtes der tillige kaliber-log. Endvidere blev der udført kombineret ledningsevne- og temperatur-log både uden og med pumpning med henblik på at identificere eventuelle forskelle i disse parametre ved indstrømningszonerne og dermed også give støtte til tolkningen af flow-log. Da der som nævnt ovenfor er observeret forhøjet klorid i begge boringer, er hensigten med ledningsevne-log naturligvis også at kunne vurdere, hvad der er årsag hertil, eksempelvis om det kloridholdige vand stammer fra bunden af boringerne.

Opsummerende er der følgende formål med at udføre de forskellige typer logs: Verifikation af den geologiske lagfølge i de enkelte boringer opnås ved gamma-log, induktions-log og resistivitets-log, medens ledningsevne- & temperatur-log udført såvel uden som under pumpning fra boringen giver information om eventuel saltvandspåvirkning, indikation på intern strømning uden pumpning, samt identifikation af indstrømningszoner under pumpning. For en fastsættelse af indstrømningen i de enkelte indstrømningszoner i procent udføres der flow-log under pumpning fra boringen, samt en kaliber-log. Sidstnævnte er nødvendig, fordi variation i borehullets diameter og især forholdet mellem diameteren i forerøret og den gennemsnitlige diameter i kalken lige under forerøret kan influere stærkt på flow-

loggens resultater. Kaliber-loggen giver tillige information om eventuelle uregelmæssigheder i forerørs diameteren, og disse kan være indikation på gennemtæring.

Nedenfor i tabel 1.1 ses det aktuelle undersøgelsesprogram, der er udført i hver af de to borer, samt tillige de logging-undersøgelser, der tidligere er udført i de to omtalte borer beliggende i (Fruedal) eller tæt ved (Klemmestrup) indsatsområdet, og som derfor også vil blive inddraget i nærværende rapport. Disse sidstnævnte to borer er undersøgt under et igangværende studie af saltvandsgrænsen i kalk undergrunden i det Nordøstlige Sjælland, som finansieres af Roskilde Amt, København Amt, Frederiksborg Amt og Københavns Energi.

Tabel 1.1: Logging undersøgelser i Indsatsområde Køge Syd

Boring: DGU nr.	Herfølge Vv. B6 212.740	Herfølge Vv. B7 212.781	Fruedal B4 212.1031	Klemmestrup B? 212.987
Log metoder / Dato for logging:	25-28.11.03	25.11.03	20.11.02 (*)	28.04.03 (*)
Gamma	X	X	X	X
Gamma spektral	-	-	-	-
Resistivitet	X	X	X	X
Induktion	X	X	X	-
Kaliber	X	X	X	-
Temp. & Ledningsevne uden pumpn.	X	X	X	X
Temp. & Ledningsevne under pumpn.	X	X	-	-
Flow uden pumpning	X	X	X	X
Flow under pumpning	X	X	X	-
Heat pulse basis flow	-	-	-	-

(*) Udført under GEUS's saltvandsprojekt

Som det vil fremgå af præsentation og diskussion af resultaterne skete der desværre den fejl under logging arbejdet den 25 november i begge borer, at flow-logs og temperatur- & ledningsevne-logs under pumpning blev udført således, at den øverste del af filtersektionen ikke blev medtaget. Logging operatøren havde overset, at 12 m af forerøret var med slidser og således var en filtersektion. Hans opfattelse var, at foringsrøret i begge borer gik ned til ca. 24 m.

Fejlen blev opdaget under kvalitetskontrol af data den 26 november, og det blev derfor besluttet at gentage disse logs i boring 212.740, hvilket skete den 27 november. Da der endvidere ved logging arbejdet den 25 november var blevet anvendt ny flow-log sonde (HRFM) og ny temperatur- og ledningsevne-sonde (TCDS), blev der ved endnu en gentagelse den 28 november anvendt de gamle, men stadig brugbare sonder (IFM) og (TCGS), for derved at kunne sammenligne resultaterne fra de nye og de gamle sonder.

Hvis de to typer logging, flow- og temp. & ledningsevne-log under pumpning, også skulle have været gentaget i boring 212.781, ville det kræve en gentagelse af alle de særlige foranstaltninger, der var nødvendige for at kunne udføre logging i denne boring, nemlig stop af indvindingen, påmontering af midlertidigt forlængerrør på forerør, pumpning fra brønd, optagning og demontering af pumpe, pumpearrangement for logging m.m. Da det endvidere viste sig ved data kvalitets kontrollen den 26 november, at den gennemførte flow-log var tilstrækkelig til at kunne vise, at al indstrømning sker på de øverste ca. 4 m af filteret, blev det vurderet ikke at være nødvendig på ny at udføre logs i boring 212.781.

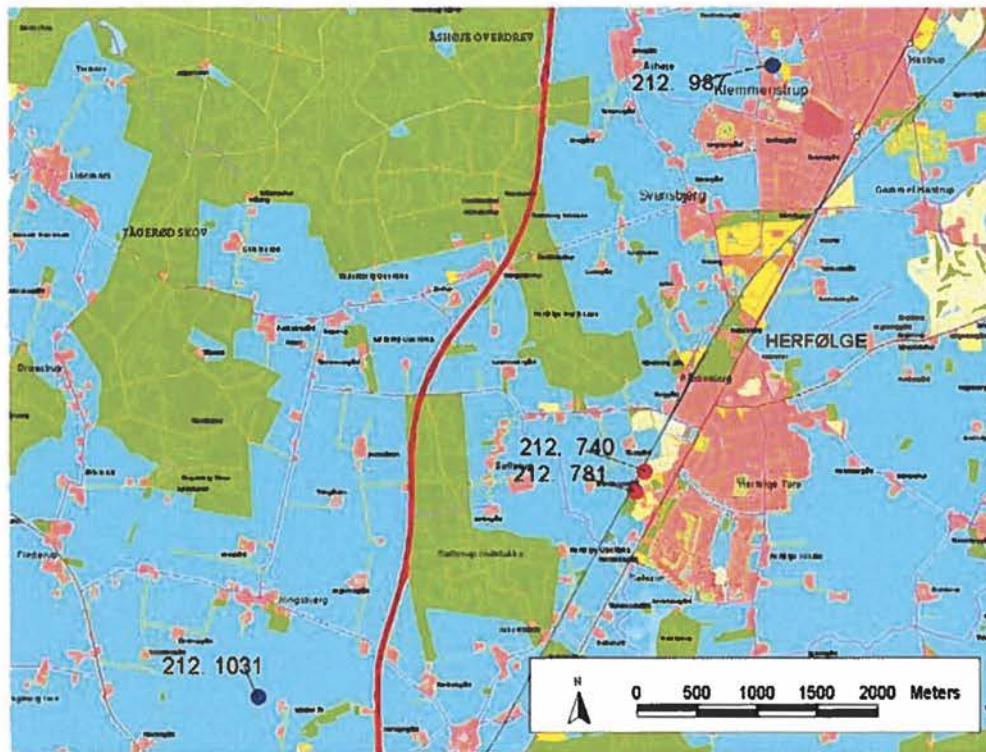


Fig. 1: Køge Syd – de to undersøgte borer er vist med rødt – to andre borer, hvorfra log-data er inddraget i rapporten, er vist med blåt.

2. Sammenfatning af resultater

2.1 Tekniske forhold og geologi

Begge de undersøgte borerer ved Herfølge står med stålforerør $\varnothing_i = 210\text{mm}$ til ca. 24 m under terræn, og de nederste ca. 12 m af disse rør er udført med slidser, således at de fungerer som filterrør. I boring 212.781 viser kaliber-log i 20 m dybde en stor revne eller gennemtæring i filterrøret, og dette sandsynlige hul i røret kan være grunden til, at boringen er opsiltet på de nederste 5 m, således at den nu kun er ca. 45 m dyb. Den anden boring, 212.740, er nær på stadig at have sin oprindelige dybde på 60 m, idet den nu er ca. 59 m dyb. I denne boring viser kaliber-log nogle uregelmæssigheder i ca. 15,5 m dybde, som kunne være tegn på begyndende gennemtæring.

Diameteren i den åbne kalk sektion lige under filterrøret er i begge borerer væsentlig større, 250-270 mm, og det må formodes at samme store diameter fortsætter bagved filterrøret op til top af kalk. Der foreligger ingen oplysninger om, hvilke foranstaltninger, der i sin tid ved etableringen af borerer, blev truffet for at gøre borerer tæt bagved forerør imod de kvartære aflejringer.

De to andre borerer fra tidligere GEUS-undersøgelser, 212.1031 Fruedal og 212.987 Klemmestrup, står som åbne kalkboringer fra top af kalken. Kun fra den ene, 212.1031, foreligger der kaliber-log, og denne viser ikke nogen uregelmæssigheder i forerør ($\varnothing_i = 265\text{mm}$), men meget stor ændring i diameteren i ca. 46 m dybde, fra 360 mm til 210 mm.

Kun fra to af de fire borerer har der til GEUS (DGU) i sin tid været indleveret prøver fra kalken, og på basis af disse er kalken beskrevet i boredata basen som bryozokalk. I de to andre borerer foreligger der ingen beskrivelse af kalken. Som nævnt nedenfor har det ikke været muligt på basis af log-korrelation at foretage en opdeling af kalken i forskellige lithologiske enheder, som kan genfindes fra boring til boring og som derfor ville have haft en regional udbredelse. Dette bekræfter, at Danien kalken i området overalt udgøres af bryozokalk, idet bryozokalk er dannet som bankestrukturer, og disse har kun en lokal udbredelse. De enkelte lag har derfor ikke en regional udbredelse. Derimod tyder resistivitets- og induktions-logs på, at hvis man har at gøre med en tilstrækkelig tyk log-sektion af bryozokalken, eksempelvis mere end 30-40 m, så synes disse logs at vise generelle forskelle i lithologi og porøsitet imellem større underenheder i kalk sekvensen i den enkelte boring, muligvis afspejlende de enkelte banker (bio-hermer).

2.2 Indstrømningsfordeling

Indstrømningen i de to undersøgte borerer ved Herfølge sker i begge tilfælde udelukkende fra de øverste 4 m af kalken, og også i de to tidligere GEUS-undersøgte borerer ved henholdsvis Fruedal og Klemmestrup sker indstrømningen hovedsagelig fra den øvre del af

kalken. I Fruedal boringen er der dog også tale om enkelte mindre indstrømningszoner dybere nede i kalken.

2.3 Saltvandspåvirkning

Til brug for vurdering af kloridpåvirkningen ud fra ledningsevnen i vandet bestemt ved logging er der nedenfor i **Figur 2** vist sammenhæng mellem klorid og ledningsevne ud fra 11 eksisterende boringskontrol analyser fra de fire borer (to fra 212.740, tre fra 212.781, to fra 212.987 og endelig fire fra 212.1031). Ledningsevnen i analyse rapportererne er opgivet ved 25 C⁰, og de er derfor omregnet til ledningsevne ved 10 C⁰, idet ledningsevnen bestemt ved logging jo er ved den aktuelle temperatur i vandet i borerne, og den ligger ca. på 9-10 C⁰.

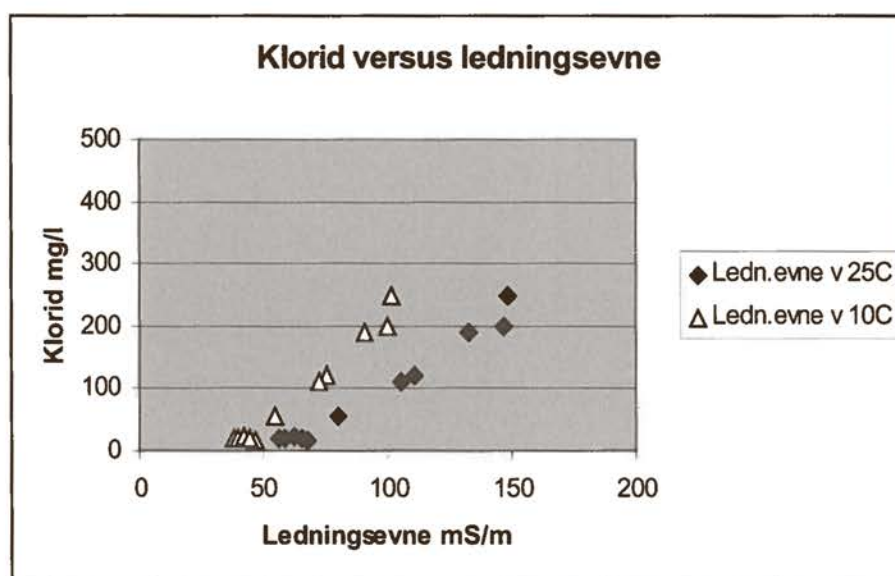


Fig.2: Kloridindhold og ledningsevne fra lab. analyser fra de 4 borer.

Logging undersøgelsen har vist, at kalken i de to Herfølge borer generelt har et lettere forhøjet kloridindhold i porevandet, og at det er højest i boring 212.781. I denne boring vurderes kloridindholdet til at være højere i bunden, hvor ledningsevnen er 180 mS/m (ved aktuel temperatur 9-10 C⁰), end i toppen af kalken, hvorfra hele indstrømningen sker, og hvor ledningsevnen er 105 mS/m (ved aktuel temperatur 9-10 C⁰). I boring 212.740 synes klorid belastningen derimod at være stort set ens i hele det gennemborede kalkinterval, idet ledningsevnen ved aktuel temperatur 9-10 C⁰ kun varierer mellem 85 mS/m og 95 mS/m med højeste værdier ved bund og i den øvre del. Også i denne boring kommer hele indstrømningen fra toppen af kalken, men i modsætning til 212.781 er det producerede vand fra 212.740 påvirket af oxideret vand. Dette manifesterer sig dels ved små mængder nitrat i vandet (0,2 mg/l i 1995), men især ved en tydelig påvirkning hidrørende fra pyritoxidation, som resulterer i forhøjet nikkel (25 µg/l i 1995) og sulfat (110 mg/l i 1995) samt et relativt højt forvittringsindeks (1,42 i 1995).

De kloridindhold, som man kan konstatere i det oppumpede vand fra de to Herfølgeboringer, senest 200 mg/l i 212.740 i 1995 og 300 mg/l i 212.781 i 2003, er indstrømmet til boringerne fra den øverste meget vandførende del af kalken jævnfør flow-logs. I begge boringer synes det forhøjede kloridindhold i det producerede vand at skyldes, at kalkens porevand generelt har forhøjet klorid. Dette gælder især 212.781, hvor kalkens resistivitet ligger på 20-30 ohmm og er aftagende mod dybden. I boring 212.740. ligger resistiviteten i kalken på 60-90 ohmm, hvilket afspejler et mindre forhøjet kloridindhold i kalkens porevand sammenlignet med 212.781, men dog forhøjet.

Det er i øvrigt bemærkelsesværdigt, at kloridindholdet i boring 212.781 fra at have ligget på 223-250 mg/l indtil 1994 faldt til 120 mg/l i 1997 og yderligere til 112 mg/l i 2001 for i 2003 igen at være steget til 300 mg/l. I samme periode er sulfat og nikkel ligeledes steget midlertidigt fra 27 mg/l og <2µg/l til henholdsvis 74 mg/l og 4 µg/l, hvilket indikerer øget tilstrømning af oxideret yngre vand. Denne midlertidige mindre klorid belastning i 212.781 kan derfor hænge sammen med omlægninger af indvindingen på kildepladsen eller med lavere forhold mellem årsindvinding og årsnedbør.

Boringerne ved Fruedal og ved Klemmestrup er ikke klorid belastede, 17-24 mg/l i 2122.1031 og 21-55 mg/l i 212.987. Ledningsevnen i kalkens porevand er også i begge boringer tilsvarende lav, mellem 40 og 50 mS/m ved 9-10 C⁰. Dette giver sig også til udtryk ved, at resistiviteten i kalken i disse boringer ligger på 80-150 ohmm, og således er væsentlig højere sammenlignet med resistiviteten i Herfølge boringerne, se ovenfor.

2.4 Konklusion

Indstrømningen sker i alle de fire boringer i den øverste del af kalken, og for de to Herfølgeboringer sker det indenfor de øverste 4 metre.

Selv om al indstrømning til de to Herfølgeboringer sker øverst i kalken, så viser begge boringer forhøjet klorid i det oppumpede vand, 200-300 mg/l. Dog har klorid i en periode fra 1997 til 2001 i boring 212.781 været helt nede på 112-120 mg/l, d.v.s. lavere end i boring 212.740 (200 mg/l) på trods af, at kalkens porevand i 212.781 har en væsentlig højere ledningsevne (105-180 mg/l) end i 212.740 (85-95 mg/l). Denne midlertidige formindskelse i klorid belastningen på boring 212.781 skal antagelig ses som udtryk for mere tilstrømning af oxideret yngre vand fra kvartær og den øvre del af kalken, idet sulfat og nikkel ligeledes er steget i samme periode (fra 27 mg/l og <2µg/l til henholdsvis 74 mg/l og 4 µg/l).

De to andre og meget dybere boringer, 212.1031 ved Fruedal og 212.987 ved Klemmestrup, er ikke klorid belastede. I førstnævnte ligger klorid indholdet konstant på 17-24 mg/l, medens det i den sidste varierer mellem 21 og 55 mg/l.

Danien kalken udgøres af Bryozokalk og det er ikke muligt at opdele denne i log-stratigrafiske enheder, som kan korreleres regionalt og ikke engang lokalt imellem de to Herfølgeboringer. Derimod synes det muligt i de enkelte boringer på basis af mindst 30-40 m kalk sektion med resistivitets- eller induktions-log at underdele kalken i 2-3 større enhe

der med generelle forskelle i lithologi og porøsitet, som muligvis afspejler de enkelte banker (bio-hermer). Sidstnævnte er dog endnu ikke blevet dokumenteret.

Der er på kaliber-log observeret tegn på gennemtæringer af filterrør i begge Herfølge borerne, og især i 212.781. I sidstnævnte boring må det anbefales, at Herfølge vandværk får udført en video-optagelse for vurdering af risikoen for, at de nederste ca. 3 m rør går løs og falder ned i boringen.

3. Undersøgelsesresultater i de enkelte boringer

3.1 DGU nr. 212.740 – Herfølge vandværk B6

3.1.1 Tekniske forhold – kaliber log og flow-log uden pumpning

Boringen er udført af firmaet Brøker i oktober 1966 til 60 m dybde, d.v.s. til kote -39 m idet terrænkoten ved boringen er +21 m. Ved logging-arbejdet i november 2003 observeredes det, at log-sonden ikke kunne komme længere ned end til ca. 58 m, så de nederste par meter er formodentlig opfyldt med kalkslam. Rovandspejlet stod under logging-arbejdet ca. 2 m under terræn. Boringen er højtydende – således var den specifikke kapacitet på $30/5.2=5.8 \text{ m}^3/\text{t/m}$ ved boringens etablering.

Indvinding fra denne boring stoppede i 1996, og årsagen opgives af driftsbestyrer Jacobi at være dels, at der var konstateret forurening i boringen af sprøjtegifte (diclorprop og atrazin) muligvis stammende fra nærliggende banelinie og/eller fodboldbane, og dels at de tekniske installationer til boringen skulle omlægges på grund af etableringen af idrætsareal ved boringen, hvilket man skønnede ville blive for dyrt.

Kaliber-loggen, se **Bilag 1A**, viser, at boringen er udbygget med $\varnothing_i=210\text{mm}$ stål forerør uden synlige samlinger til ca. 24 m dybde i overensstemmelse med brøndborer oplysninger om rørsætning til 24 m. Fra 24 m dybde er boringen åben med en diameter varierende mellem 210 mm og 280 mm. På de nederste 5 m er diameteren dog mindre, 200-210 mm. Ifølge brøndboreroplysningerne fra 1966 er der slidser i de nederste 12 m af forerøret uden at dette kan ses på kaliber-loggen. Derimod ses der nogle uregelmæssigheder i ca. 15,5 m dybde, som kunne være tegn på en begyndende gennemtæring af filterrøret.

Propel flow-log udført uden pumpning (Flow 28.11 Q=0, **Bilag 1A**) og med en nedsænkings hastighed på 5 m/min for sonden viser et basis tælleantal i forerørs sektionen og i den åbne kalk sektion på 31 rotationer per min (rpm), hvilket ifølge kalibreringskurve for den anvendte IFM-sonde betyder, at der ikke sker nogen strømning i boringen uden pumpning.

3.1.2 Lagfølge jævnfør gamma-, induktions- og resistivitets-log

Gamma-loggen, **Bilag 1A**, bekræfter ved det generelt høje strålingsniveau til ca. 12 m dybde, at kvartæret overvejende består af ler, formodentlig moræneler, samt at det lave strålingsniveau fra ca. 12 m dybde netop skyldes, at kalken træffes fra denne dybde.

Der foreligger ingen beskrivelse på GEUS af prøver fra denne boring (selv om der på boreprofilen på **Bilag 1A** er anvendt bogstavbetegnelsen BK for kalken), men kalken må på basis af det meget lave og ensartede gamma-strålingsniveau formodes at være bryozokalk,

idet en så tyk sekvens (47 m) af kalksandskalk normalt ville indeholde enkelte gamma-marker horisonter med højere stråling.

Induktions- og resistivitets-log, **Bilag 1A**, udviser, som de også skal, et fuldstændigt modsat variationsmønster, d.v.s. når resistiviteten er høj ved tætte, hårde kalklag, skal formations-ledningsevnen være lav, og omvendt ved mere porøse og mindre hårde kalklag. Disse to typer af log kan ikke måle inde i forerøret, og bekræfter derved, at dette når ned til ca. 24 m dybde. På basis af de to logs synes kalksekvensen at kunne opdeles i en øvre generelt mere porøs og ensartet sekvens fra forerøret og ned til ca. 39 m, og en nedre generelt mindre porøs og mere varierende med flere tætte lag. Fra ca. 54 m synes formations-ledningsevnen at stige jævnt (resistiviteten at falde) på trods af, at borediameteren i denne nedre del er mindre, hvilket kunne tyde på, at porevandet i kalken fra denne dybde er saltvandspåvirket. Desværre foreligger der kun ca. 3 m logsektion under 54 m dybde, så det kan ikke endeligt afgøres på dette grundlag, om stigningen i formations-ledningsevnen fortsætter jævnt mod større dybde, hvilket ville være det endegyldige bevis for, at kalken er saltvandspåvirket fra ca. 54 m dybde.

3.1.3 Indstrømningszoner

Ved den kontinuerte propel flow-log under pumpning udført med den gamle sonde (IFM) den 28 november var pumpeydelsen på $7 \text{ m}^3/\text{t}$, og med pumpen anbragt i forerøret i ca. 7 m dybde. Loggens rotationstal RPM (se 1Flow28.11 Q=7) på **Bilag 1A** er omregnet til pct. af pumpeydelsen ved, at rotationstal i stål-forerøret er sat til 100 pct. efter at de først er blevet reduceret med basis rotationstallet for $Q=0 \text{ m}^3/\text{t}$ ved den anvendte sonde hastighed 5 m/min. Basis rotationstallet ses at være 31 rpm (Flow28.11 Q=0).

Den resulterende flow-log (2Flow 28.11 Q=7) på **Bilag 1A.**, viser, at mere end 90% af indstrømningen sker i de øverste 4 m af det slidsede forerør, d.v.s. i dybdeintervallet 12-16 m. De resterende 5-10% indstrømmer i ca. 23 m dybde.

Det kunne se ud som om, der også er lidt strømning fra bunden og op til ca. 40 m, men det skyldes antageligt den såkaldte stempeleffekt, idet hverken ledningsevne- eller temperatur log under pumpning indikerer nogen ind- eller udstrømning i dette interval. Denne stempeleffekt opstår netop ofte i den nederste del af en kalk boring, hvis kalken er meget tæt, og derfor ikke kan optage den vandmængde, som flow-sonden under sin nedsænkning fortrænger.

Som nævnt i indledningen blev flow-loggen den 25 november udført med den ny og mere følsomme flow-log sonde (HRFM), og gentaget med samme sonde den 27 november for at få målinger også fra den øverste del af filterrøret. Ved begge disse flow-logs var ydelsen $7 \text{ m}^3/\text{t}$ og sonde hastigheden 5 m/min som ved den efterfølgende log med den "gamle" sonde den 28 november. De to flow-logs fra 25 og 27 november er sammenstillet som een log, der dækker hele filtersektionen og den åbne kalkboring ned til nuværende bund, vist på **Bilag 1B** som "Flow25+27 Q=7". Til forskel fra den gamle sonde så registrerer den ny sonde også kontinuert sondens nedsænkningshastighed som dybderelaterede data på en speciel log kurve. De to sonde-hastigheds logs fra henholdsvis 25 og 27 november er derfor

ligeledes sammenstillet som én log dækkende hele filtersektionen og den åbne sektion, "Speed25+27 Q=7".

Den resulterende flow-log med den ny sonde med $Q=7 \text{ m}^3/\text{t}$, "Flow25+27 Q=7", viser tælleletal i forerøret over filterrøret på ca. 390 RPM, **Bilag 1B**. På de første 4 m af filterrøret, d.v.s. fra 12 m til 16 m dybde falder tælleallet i tre trin til ca. 190 RPM, og forbliver på dette niveau i resten af boringen ned til bunden. Fra flow-loggen uden pumpning fra 25 november, se "Flow 25.11 Q=0", ses det, at 190 RPM netop er basis rotationstallet for $Q=0$ og log speed 5 m/min. Hele indstrømningen sker således ifølge den ny sonde i dybdeintervallet 12-16 m, svarende til resultatet med den "gamle" flow-sonde bortset fra, at sidstnævnte også indikerede en mindre indstrømning (5-10%) i 23 m dybde.

Det er i øvrigt værd at bemærke, at en sammenligning af hastighedsloggen "Speed 25.11 Q=0" for logging uden pumpning med flow-log kurven "Flow 25.11 Q=0", **Bilag 1B**, tydeligt illustrerer den ny sondes følsomhed overfor variation i sondehastighed. I filterrørssektionen fra 12 til 17 m ses en nedgang i hastighed fra 5 m/min til 4.9 m/min således at medføre et fald i tælleallet fra basis rotationstallet 190 RPM til 180 RPM. Der ses andre lignende eksempler på sammenhæng mellem hastighedsvariation og tællelets variation, men der ses også tælleletsvariationer uden, at der er tilsvarende variationer i sondehastigheden. Dette gælder især i den åbne boringssektion, hvor rotationstælleallet generelt er mere varierende end i filter- og forerørssektionen, og uden at der ses tilsvarende variationer i sondehastigheden. I den nederste del af boringen, d.v.s. fra ca 40m dybde og ned til bunden ligger tælleallet generelt lidt højere end basis rotationstallet 190 RPM, hvilket som nævnt ovenfor under diskussionen af flow-log data fra 28 november med den "gamle sonde" blev tilskrevet den såkaldte "stempeleffekt".

3.1.4 Ledningsevne- og temperatur-log, samt saltvandspåvirkning

Der blev udført ledningsevne- og temperatur-log med en ny TCDS-sonde med og uden pumpning den 25 november og som nævnt i indledningen gentaget igen 27 november og 28 november, sidstnævnte dato med den gamle TCGS-sonde.

Resultaterne af de fire ledningsevne-logs, **Bilag 1A**, viser, at uanset sondetype og uanset pumpning eller ikke pumpning, så er ledningsevnen konstant ca. 80 mS/m i hele den åbne kalksektion nedenunder filteret, hvor der jævnfør flow-logs ikke sker indstrømning. Oppe i filteret fra 24 m til 12 m dybde er der derimod visse forskelle, og generelt lidt højere ledningsevne under pumpning end uden pumpning. Således viser ledningsevne-loggen under pumpning den 28 nov. indikation på indstrømning i 22-23 m dybde, idet ledningsevnen her stiger brat fra 85 mS/m til 95 mS/m. Tilsvarende ses ikke ved logging under pumpning den 25 og 27 nov. hvilket kan skyldes midlertidig ændring i strømningssituationen omkring boring 212.740 som følge af det midlertidige stop af indvindingen fra den nærliggende (100 m) boring 212.781 i dagene 25-26 november netop på grund af logging undersøgelserne.

I øvrigt ses der på ledningsevne-loggen under pumpning den 28 november en øget ledningsevne på de nederste par metre, hvilket underbygger tolkningen af den tilsvarende

stigning på den nederste del af induktions-loggen som værende et tegn på øget kloridpåvirkning nederst i boringen.

Resultatet af de fire tilsvarende temperatur-logs, **Bilag 1A**, viser samme tendens, nemlig en konstant temperatur hele vejen ned gennem den åbne kalksektion. Men i modsætning til ledningsevne-logs så viser temperatur-logs med TCDS-sonden under pumpning også samme konstante temperatur i indstrømningsektionen øverst i filteret, hvorimod temperatur-loggen med TCGS-sonden den 28. nov. viser springvis højere temperatur ved indstrømningerne øverst i filteret.

Forklaringen på, at den sidste temperatur-log viser disse spring i modsætning til de første temperatur-log under pumpning kan ikke skyldes, at det er en anden sonde, men må igen ligesom ved ledningsevne-loggen forklares ved det midlertidige stop af indvindingsboringen. Under dette stop stiger vandtrykket i den øvre del af kalken formodentlig ved opadgående bevægelse af vand med lavere temperatur og lavere ledningsevne, hvorimod vandtrykket den 28. november efter et par dages drift igen er afsænket, og ved korttidspumning fra denne boring under logging trækkes der primært vand ind fra den øvre del af kalken med lidt højere temperatur og ledningsevne.

Den meget konstante temperatur og ledningsevne i den åbne del af kalksektionen uanset om det er logging med eller uden pumpning kan i øvrigt tyde på en ganske langsom opadgående strømning, som er for lille til at kunne registreres selv med den ny og mere følsomme propel flow-sonde (HRFM), d.v.s. <0.1 m/min. Hvis der overhovedet ingen strømning foregik i situationen uden pumpning, kunne man forvente, at temperaturen ville stige ved større dybde fra ca. 25-30 m med en gradient på ca. 0.5 C⁰ per 20 m svarende til en gradient på 2.5 C⁰ per 100 m. En sådan meget langsom opadgående strømning er ikke i modstrid mod den ovenfor omtalte "stempeleffekt" som forklaring til flow-loggens registrering af tilsyneladende strømning fra bund og op til ca. 40 m dybde.

Konklusion: Hovedindstrømningen til boringen sker fra de øverste 4 m i kalken, d.v.s. i det slidsede jernrør fra 12 til 16 m dybde. En mindre indstrømning, $<10\%$, indstrømmer i ca. 23 m dybde. Vandet fra denne dybde og den øverste del af kalken har en lidt højere ledningsevne, 90-95 mS/m, end porevandet i kalken under 23 m dybde, hvor den kun er 85 mS/m. En ledningsevne på pumpevandet på 90-95 mS/m ved aktuel temperatur på ca. 10 C⁰ indikerer jævnfør Figur 2 et kloridindhold på ca. 200 mg/l, hvilket ifølge borings databasen også var koncentrationen ved seneste boringskontrol vandanalyse i 1995. Ved etablering af boringen i 1966 blev der ifølge brøndborer rapporten målt et kloridindhold på 300 mg/l i pumpevandet efter 3 døgns pumpning med 30 m³/t. Da indstrømningsfordelingen formodentlig også dengang var den samme som nu, må den observerede kloridpåvirkning dengang og nu stamme fra den øvre del af kalken. I denne sammenhæng er det værd at bemærke, at det producerede vand fra 212.740 også er påvirket af oxideret vand, idet boringen viser forhøjet nikkel (25 µg/l i 1995) og sulfat (110 mg/l i 1995). Men da der næppe er nogen sandsynlig kilde til kloridbelastning ovenover kalken, må den stærkt vandførende øvre kalk få sit klorid fra porevandet i kalken nedenunder. Dette var som nævnt allerede tilfældet ved boringens etablering i 1966, og sker formodentlig ved en langsom opadgående strømning i kalken som følge af et generelt lavere porevandstryk i den øvre kalk på grund af dennes afdræning til det nærliggende vandløb Vedskølle å.

3.2 DGU nr. 212.781 – Herfølge vandværk B7

3.2.1 Tekniske forhold – kaliber log og flow-log uden pumpning

Boringen er udført af firmaet Brøker i 1968 til 50 m dybde, d.v.s. til kote -30 m, idet terrænkoten ved boringen er +20 m. Ved logging-arbejdet i november 2003 observeredes det, at log-sonden ikke kunne komme længere ned end til ca. 45 m, enten på grund af en udfaldet eller udpresset flint- eller kalkknold, eller fordi de nederste ca. 5 meter er opfyldt med kalkslam. Rovandspejlet stod ca. 1,5 m under terræn efter at der var blevet påsat forlængerrør på forerøret i brønden i forbindelse med optagning af pumpen for at der kunne udføres logging undersøgelse. Uden forlængerrør var vandtrykket højere end top forerør, og boringen løb over med ca. 50 m³/t. Der måtte derfor pumpes med denne kapacitet fra bunden af brønden for at undgå kortslutning af el-installationen i brønden. Boringen er højt-ydende og havde ved etableringen i 1968 en specifik kapacitet på 48/4.0=12.0 m³/t/m, og den anvendes stadig som indvindingsboring.

Kaliber-loggen, se **Bilag 2**, viser, at boringen er udbygget med $\varnothing_i=210$ mm stål forerør uden synlige samlinger til ca. 24 m dybde i overensstemmelse med brøndborer oplysninger om rørsætning til 24.5 m. Fra 24 m dybde er boringen åben med en diameter varierende mellem 225 mm og 290 mm. På de nederste 3 m er diameteren dog mindre, 210-235 mm. Ifølge brøndboreroplysningerne fra 1968 er der slidser i de nederste 12 m af forerøret. Kaliber-loggen indikerer en revne eller gennemtæring i filterrøret i ca. 20 m dybde.

Propel flow-log udført uden pumpning (Flow Q=0, **Bilag 2**) og med en nedsænkings hastighed på 5 m/min for sonden viser et basis tælleantal fra ca. 19 m dybde og nedefter på 190 rotationer per min (rpm). De lavere tælleantal, som ses ovenover 19 m dybde skyldes ikke en mindre sonde hastighed (se Speed Q=0), og vil derfor normalt være indikation på nedadrettet strømning af vandet i boringen. Sådanne lavere tælleantal (på ca. 85 RPM) ses fra øverst i forerøret og ned til ca. 8 m dybde, hvorfra tælleantallet stiger jævnt til 190 RPM i ca. 19 m dybde. Dette kunne således tolkes, som at der sker en strømning fra en utæthed øverst i forerøret og at dette nedad strømmende vand udstrømmer gennem flere utætheder fra 8 til 12 m, og endvidere udstrømmer i den øvre del af filteret fra 12 til 19m dybde. Det vurderes imidlertid ikke at være muligt, idet boringen stod med overløb på ca. 50 m³/t kort tid efter indvindingen blev stoppet og indtil forlængerrøret blev påsat forerøret. De lavere tælleantal antages derfor at må tilskrives en fejl i sondens funktion, som åbenbart er gradvist forsvundet under nedsænkningen, og fra 19 m måler sonden optimalt. Det skal understreges, at GEUS's erfaringer med denne ny sonde er begrænsede, idet denne flow-log undersøgelse var den første, hvor sonden blev anvendt.

3.2.2 Lagfølge jævnfør gamma-, induktions- og resistivitets-log

Gamma-loggen, **Bilag 2**, bekræfter ved det generelt høje strålingsniveau til ca. 13 m dybde, at kvartæret overvejende består af moræneler med et par mindre indslag af sand og grus, samt at det lave strålingsniveau fra ca. 13 m dybde netop skyldes, at kalken træffes fra denne dybde.

Der foreligger ingen beskrivelse på GEUS af prøver fra denne boring (selv om der på boreprofilen på **Bilag 2** er anvendt bogstavbetegnelsen BK for kalken), men kalken må på basis af brøndborerens beskrivelse og det meget lave og ensartede gamma-strålingsniveau formodes at være bryozokalk. Dog ses der i modsætning til boring 212.740 et par gammamarker horisonter med højere stråling indenfor de øverste 10 m af kalken, hvilket kun sjældent ses i bryozokalk, men hyppigere i kalksandskalk.

Induktions- og resistivitets-log, **Bilag 2**, udviser, som de også skal, et fuldstændigt modsat variationsmønster, d.v.s. når resistiviteten er høj ved tætte, hårde kalklag, skal formationsledningsevnen være lav, og omvendt ved mere porøse og mindre hårde kalklag. Disse to typer af log kan ikke måle inde i forerøret, og bekræfter derved, at dette når ned til ca. 24 m dybde. De to logs indikerer ligesom i 212.740, at kalk sekvensen er generelt mere ensartet fra forerøret og ned til her ca. 37 m end den nedre del. Men derimod er der ikke mulighed for at vurdere, om der også er en tilsvarende generel forskel i porøsitet imellem øvre og nedre del af sekvensen, idet porevandets ledningsevne jævner ledningsevne-loggene i denne boring er væsentlig højere end i 740, og yderligere er stigende fra netop 37 m dybde.

På resistivitets-loggen ses der i øvrigt to dybdesektioner på hver ca. 1 m, hvor der var udfald af målesignalet fra sonden og hvor der derfor ikke foreligger måledata. Men da der også er optaget induktions-log, har de manglende resistivitets-måledata ingen betydning for det endelige resultat.

3.2.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log under pumpning er udført med den ny og mere følsomme flow-log sonde (HRFM). Pumpeydelsen under udførelsen af denne log var konstant på 16.8 m³/t, og pumpen var anbragt i forerøret i ca. 7 m dybde. Som allerede nævnt blev loggen ved en fejltagelse udført fra 16.5 m dybde og nedefter, og har således ikke medtaget de øverste 4.5 m af filteret.

Loggens rotationstal RPM (se Flow Q=16.8 på **Bilag 2**) ses at ligge på ca. 190 på næsten hele sektionen. Nederst ses tælleletal at ligge lidt lavere som følge af tilsvarende lavere sonde-nedføringshastighed, Speed Q=16.8, og øverst ses tælleletal at vokse fra 0 til 190 på den første 1-1.5 m indtil hastigheden fra at være 0 når at blive korrekt indstillet til ca. 5 m/min.

Ved sammenligning med flow-log optaget uden pumpning, se Flow Q=0 på Bilag 4.2, ses denne også at have tælleletal på ca. 190 på størstedelen af sektionen svarende til sondens basis tælleletal ved nedsænkningshastighed af sonden på 5 m/min. Deraf kan det konkluderes, at der ikke ved pumpning med 16.8 m³/t foregår nogen strømning i boringen på hele sektionen fra nuværende bund i 45 m og op til 16.5 m. Følgelig må al instrømning ske ovenover 16.5 m, d.v.s. i den øverste del af det slidsede forerør fra 16.5 til 12 m i lighed med, hvad der blev observeret ved flow-logging i boring 212.740.

3.2.4 Ledningsevne- og temperatur-log, samt saltvandspåvirkning

Der blev udført ledningsevne- og temperatur-log med en ny TCDS-sonde med og uden pumpning den 25 november, men ved en fejltagelse blev loggen med pumpning kun udført fra bunden og op til 13,75 m dybde, hvorved de sidste 1,75 m af filteret ikke blev dækket.

Af ledningsevne-loggen udført under pumpning, **Bilag 2**, ses, at indstrømningen netop sker ovenover 16 m dybde, idet ledningsevnen her falder fra ca. 138 mS/m under 16 m til 106 mS/m over 16 m. Da ledningsevnen uden pumpning er 104 mS/m fra 14 m og hele vejen op til top af rør, og boringen har stået med overløb i en kort periode medens forlængerrør blev påsat, ville dette også have været ledningsevnen på vandet ovenover filteret under pumpning. Der sker altså yderligere en indstrømning fra 13,75 m og til top af filter i 12 m, som sænker ledningsevnen fra 106 mS/m til 104 mS/m.

Fra 16 m dybde og hele vejen ned til nuværende bund i ca. 45 m dybde viser de to ledningsevne-log fuldstændig samme forløb, d.v.s. 138 mS/m stigende til 140 mS/m i 36 m dybde, derfra stigende til 156 mS/m i 43 m, og endelig på de sidste par metre stigende til 177 mS/m.

De to temperatur-logs, **Bilag 2**, bekræfter, at der ikke sker nogen strømning under ca. 17 m dybde uanset om der pumpes eller ikke pumpes i boringen, idet begge logs fra ca. 17 m viser en ganske svagt stigende temperatur mod dybden. Gradienten er imidlertid kun 0,2 C⁰ på 25 m svarende til 0,8 C⁰ per 100 m. Temperaturen på vandet, der indstrømmer i de øverste 4 m af filteret, er ca. 0,1 C⁰ højere end i det stagnerende vand i den nedre del af filteret.

Konklusion: Hovedindstrømningen til boringen sker fra de øverste 4 m i kalken, d.v.s. i det slidsejrnør fra 12 til 16 m dybde. Vandet fra denne øverste del af kalken har på undersøgelsestidspunktet en ledningsevne på 104-106 mS/m ved aktuel temperatur på ca. 9 C⁰ hvilket jævnfør Figur 2 indikerer et kloridindhold på ca. 260 mg/l på det vand, der produceres fra denne boring. Seneste vandanalyse fra november 2003 viste et kloridindhold på 300 mg/l.

Ledningsevnen i porevandet i kalken under 16-17 m dybde er ca. 140 mS/m ned til 36 m dybde, hvorfor vandet i denne del af kalken har endnu højere kloridindhold. Dette stiger yderligere fra denne dybde og mod bunden, hvor det formodes at være væsentlig højere end 600 mg/l, idet ledningsevnen her er 180 mS/m ved 9,2 C⁰.

Selv om det producerede vand fra denne boring stammer fra indstrømning i den øverste del af kalken, så skyldes kloridbelastningen af boringen antagelig, at porevandet i kalken på denne lokalitet generelt er stærkt forhøjet. Boringen står tættere ved Vedskølle ådal end boring 212.740, og netop omkring denne ådal er der ifølge oplysninger fra COWI observeret en stor afsænkning af vandtrykket i den øvre del af kalken formodentlig på grund af hydraulisk kontakt til åen. Der vil derfor lokalt i dette område være en opadrettet trykgradient, som kan være forklaringen på den lokale saltvandspåvirkning af kalken. Sidstnævnte er blevet bekræftet ved senere geofysiske undersøgelser (MEP-profiler og sonderinger) udført af COWI som led i indsatsområde-kortlægningen.

3.3 DGU nr. 212.1031 – Fruedal B4, Køge Vandværk

3.3.1 Tekniske forhold - kaliber log og flow-log uden pumpning

Boringen er udført for Køge vandværk af firmaet Svend Nielsen i 1988 til 100 m dybde, d.v.s. til kote -66 m, idet terrænkoten ved boringen er +34 m. Boringen har bevaret sin oprindelige dybde, idet det ved logging-arbejdet i november 2002 observeredes, at log-sonden kunne komme helt ned til boringens bund. Under logging arbejdet stod rovand-spejlet ca. 4 m under terræn. Boringen havde ved etableringen i 1988 en specifik kapacitet på $25/15,6=1,6 \text{ m}^3/\text{t/m}$, d.v.s. en middelhøj kapacitet, og den anvendes stadig som indvindingsboring.

Kaliber-loggen, se **Bilag 3**, viser, at boringen er udbygget med $\varnothing_i=263\text{mm}$ stål forerør uden synlige samlinger til ca. 17.5 m dybde i overensstemmelse med brøndborer oplysninger. Fra denne dybde er boringen åben med en diameter varierende mellem 350 mm og 490 mm ned til ca. 46 m dybde, hvorfra den er væsentlig mindre, 200-265 mm.

Propel flow-log med IFM-sonden udført uden pumpning (Flow $Q=0$, **Bilag 3**) og med en nedsænkings hastighed på 5 m/min for sonden viser et basis tælleantal på 31 rotationer per min (rpm) i forerør og i den nedre del af den åbne kalksektion med den lille diameter. I kalksektionen med stor diameter, d.v.s. fra 17.5 m og ned til ca. 46 m, ligger tælleantallet på ca. 25 rpm, hvilket er mindre end basistælleantallet og derfor indikerer en nedadgående strømning fra lige under forerøret og ned til ca. 46 m dybde.

3.3.2 Lagfølge jævnfør gamma-, induktions- og resistivitets-log

Gamma-loggen, **Bilag 3**, bekræfter ved det generelt høje strålningsniveau til ca. 10 m dybde, at kvartæret her overvejende består af moræneler med et mindre indslag af sand og grus i 4 m dybde. Fra 10 til 18 m er niveauet lavere, men varierende og først fra 18 m er det generelt lavt svarende til den faststående kalk. Denne er ifølge brøndborer truffet allerede i 13 m med leret grus imellem kalken og moræneleret.

Der foreligger en detaljeret GEUS-beskrivelse på en lang række prøver (19) fra top til bund af kalks intervallet, og alle er vurderet til at være Bryozokalk i overensstemmelse med det meget lave og ensartede gamma-strålningsniveau fra 18 m og til bund af boringen. Der ses en enkelt gamma-marker horisont med højere stråling i 61 m dybde.

Induktions- og resistivitets-log, **Bilag 3**, udviser, som de også skal, et fuldstændigt modsat variationsmønster, d.v.s. med højere resistivitet og lavere formationsledningsevne ved tætte, hårde kalklag, og omvendt ved mere porøse og mindre hårde kalklag. Disse to logtyper bekræfter, at forerøret når ned til ca. 17.5 m dybde, idet målingerne ophører ved ca. 18.5 m dybde. De to logs indikerer, at den næsten 80 m tykke kalk sekvens kan opdeles i tre underenheder, som afspejler generelle forskelle i lithologi og porøsitet: Den øverste ned til ca. 44 m dybde med generelt forholdsvis ensartet varierende resistivitet på 90-120 ohmm - den næste ned til ca. 75 m, hvis resistivitet øverst er forholdsvis lav, 85-90 ohmm og sti

gende med dybden til i gennemsnit 130 ohmm fra 70 til 75m - og endelig den sidste fra 75 m med generelt ensartet resistivitet på 100-110 ohmm og med enkelte signifikante peaks med meget høj resistivitet, 200 ohmm.

3.3.3 Indstrømningszoner

Den kontinuerte propel flow-log under pumpning er udført med en pumpeydelse på konstant 15.0 m³/t, og pumpen var anbragt i forerøret i ca. 12 m dybde. Sænkningen var ca. 5 m i løbet af den halve time, som det tog at forberede og gennemføre flow-loggen, d.v.s. den specifikke ydelse er ca. $15.0/5/2=1.5$ m³/t/m (1.6 m³/t/m ved boringens etablering – se ovenfor).

Loggens rotationstal rpm (se Flow Q=15 på **Bilag 3**) ses at ligge på mellem 30 og 40 i næsten hele den åbne kalksektion med undtagelse af dels de nederste metre i boringen, hvor de er i samme størrelsesorden som basistallet, 31 rpm, - og dels lige under forerøret, hvor de stiger markant til over 100 rpm.

Efter først at have fradraget basistællallet 31 rpm fra flow-loggens tælleletal, og dernæst udført korrektion af tælleletal for diameter udvidelsen i 46 m fra i gennemsnit 210 mm til i gennemsnit 360 mm og derefter for diameter ændringen 360 mm til 260 mm ved overgang til forerør, så omregnes tælleletal i den åbne kalksektion til procent af de gennemsnitlige tælleletal i forerør, som sættes til 100%.

Den resulterende flow-log, Flow Q=15 (%), på **Bilag 3**, viser, at ca. 85% af ydelsen indstrømmer lige under forerøret, ca. 3% i 93 m dybde, ca. 7% i 72 m dybde. Indstrømningsniveauet for de resterende ca. 5% er vanskelige at identificere uden temperatur- og ledningsevne-log under pumpning, men sker antagelig i ca. 50 m dybde.

3.3.4 Ledningsevne- og temperatur-log samt saltvandspåvirkning

Der blev kun udført ledningsevne- og temperatur-log uden pumpning, idet vandværkets hjælpemandskab ikke havde mere tid til rådighed og boringen skulle sættes i drift igen inden fyraften.

Ledningsevne- og temperatur-log udført inden pumpning, **Bilag 3**, viser, at ledningsevnen i vandet i boringen er konstant 42 mS/m fra bund og hele vejen op til forerøret, hvor den stiger en anelse til ca. 45 mS/m. Temperaturen er nogenlunde konstant fra forerøret og ned til 46 m, hvorefter den stiger mod større dybde med en gradient på ca. 1 C⁰ på 50 m svarende til 2,0 C⁰ per 100 m. Denne log er den første, der er udført efter at indvinding fra boringen blev stoppet tidligt om morgenen samme dag. Dette forhold sammenholdt med informationen fra flow-log uden pumpning om en intern nedad rettet strømning fra lige under forerøret og ned til ca. 46 m dybde, er indgået i tolkningen af ledningsevne- og temperatur-log uden pumpning, hvis resultat fremgår af nedenstående konklusion.

Konklusion: Hovedindstrømningen til boringen, d.v.s. ca. 85% af ydelsen, sker lige under forerøret. Vandet fra denne øverste del af kalken har en ledningsevne på ca. 42 mS/m ved

aktuel temperatur på ca. 9 C⁰. Da det producerede vand har en anelse højere ledningsevne, 45 mS/m, må ledningsevnen af de 15%, som indstrømmer fra zoner i 92 m, 72 m og 50 m dybde, have en gennemsnitlig ledningsevne på 62 mS/m. Dette er dog stadig en ret lav ledningsevne, og såvel induktions- som resistivitets-log viser også tilsvarende lav ledningsevne og høj resistivitet i hele den 80 m tykke kalksektion. Alt i alt kan det slutes, at boringen ikke er nået ned til det saltvandspåvirkede grundvand, ligesom der heller ikke er tale om kloridpåvirkning i det øvre grundvand jævnfør det meget lave kloridindhold i det producerede vand fra boringen, 17-24 mg/l.

3.4 DGU nr. 212.987 – Klemmestrup, Køge vandværk

3.4.1 Tekniske forhold og flow-log uden pumpning

Boringen er udført for Køge vandværk af firmaet Sven Nielsen i 1979 til 84 m dybde, d.v.s. til kote -73 m, idet terrænkoten ved boringen er +11 m. Boringen har bevaret sin oprindelige dybde, idet det ved logging-arbejdet i april 2003 observeredes, at log-sonden kunne komme helt ned til boringens bund. Under loggingarbejdet stod rovangspejlet over terræn, idet der var et ganske svagt overløb på ca. 1 m³/t. Boringen havde ved etableringen i 1979 en specifik kapacitet på 20/23,8=0,84 m³/t/m, hvilket er en forholdsvis lav kapacitet, hvorfor det besluttedes ikke at anvende den som indvindingsboring (information fra vandværksbestyrer Jacobi).

Der udførtes ingen kaliber-log, men ifølge boreoplysningerne fra GEUS boredatabasen er den udbygget med ø_r=203mm stål forerør til ca. 23 m dybde. Fra denne dybde er boringen åben, men den anvendte borediameter kendes ikke.

Propel flow-log med IFM-sonden udført uden pumpning (Flow Q=0, **Bilag 4**) og med en nedsænkings hastighed på 5 m/min for sonden viser et basis tælleantal på 30 rotationer per min (rpm) i hele den åbne kalk sektion, hvorimod det er lidt højere, 35 rpm, i forerøret. Sidstnævnte er i overensstemmelse med, at boringen stod med overløb på ca. 1 m³/t, medens logging arbejdet blev udført.

3.4.2 Lagfølge jævnfør gamma- og resistivitets-log

Gamma-loggen, **Bilag 4**, viser ved det generelt høje strålingsniveau til ca. 21 m dybde, at kvartæret her overvejende består af moræneler med et mindre indslag af sand eller silt i 14 m dybde i modsætning til boreprofilet, som beskriver kvartæret som værende silt fra 10 til 16m. Ligeledes beskriver boreprofilet, at der optræder et gruslag fra 19 til 23 m, hvor kalken træffes. Gamma-loggen bekræfter beliggenheden af kalkoverfladen i 23 m dybde ved det generelt lavere strålingsniveau fra denne dybde. Gruslaget ovenover kalken med et strålingsniveau højere end kalken, men lavere end moræneleret, synes dog kun at være ca. 2 m tykt.

Der foreligger GEUS-beskrivelse på 9 indsendte prøver repræsenterende hele kalk sektionen, og alle er vurderet til at være Bryozokalk i overensstemmelse med det meget lave og ensartede gamma-strålingsniveau fra 23 m og til bund af boringen.

Der er ikke udført induktions-log, men kun resistivitets-log, **Bilag 4**. Denne udviser det sædvanlige variationsmønster for Danien kalk med højere resistiviteter ved tætte, hårde kalklag og lavere resistivitet ved mere porøse og mindre hårde kalklag. Den bekræfter også, at forerøret når ned til ca. 23 m dybde, idet målingerne ophører ved ca. 24 m dybde. Resistiviteten i den 60 m tykke kalk sektion varierer mellem 80 og 150 ohmm, hvilket viser, at porevandet i kalken ikke er saltvandspåvirket. Loggens variationsmønster synes at indikere en grænse i 60 m dybde imellem en øvre enhed med en generel faldende resistivitet og med forholdsvis få peaks med høje resistiviteter, og en nedre enhed med en gennemsnitlig højere og mere konstant resistivitet og med hyppigere peaks med høje resistiviteter.

3.4.3 Indstrømningszoner

Der er ikke udført flow-log under pumpning, men som nævnt ovenfor viser flow-log uden pumpning på grund af overløb, at der sker indstrømning lige under forerøret.

3.4.4 Ledningsevne- og temperatur-log samt saltvandspåvirkning

Ledningsevne-loggen uden pumpning viser fra 33 m dybde en konstant ledningsevne på 40 mS/m hele vejen op til top af boring, hvilket tyder på, at der også sker indstrømning af det overløbende vand i 33 m dybde, og at vandet, der indstrømmer lige under forerøret har samme ledningsevne. Under 33 m og mod bunden er ledningsevnen mere varierende, mellem 40 og 50 mS/m. Ved forstørrelse af loggen på computeren kan der ligeledes ses lidt uro i ca 30 m dybde indikerende en mindre indstrømning. Hastigheden af og dermed mængden af det opad strømmende vand fra de to indstrømninger i 33 og 30 m dybde er åbenbart for lille til, at flow-meter sonden kan registrere strømmingen. Først ved indstrømningen lige under forerøret bliver hastighed og mængde tilstrækkelig til, at den opadstrømmende vandmængde kan registreres af flow-meter sonden.

Temperaturen er mindst, 9.3 C⁰ i ca 33 m dybde, og herunder stiger den først ganske svagt og fra ca. 60 m med større gradient mod dybden, 0.3 C⁰ per 20 m eller 1.5 C⁰ per 100 m. Ovenover 33 m stiger den ved et par af indstrømningerne en anelse til 9.5 C⁰.

Konklusion: Selv om der ikke er udført flow-log under pumpning, så giver flow-log og ledningsevne- og temperatur-log uden pumpning information om indstrømningszonerne, idet der under logging arbejdet sker overløb af vand fra boringen. Hovedindstrømningen til boringen, d.v.s. mindst ca. 90% af ydelsen, sker lige under forerøret, og derudover optræder der et par mindre indstrømninger i 30 og 33 m dybde. Vandet fra disse indstrømninger i de øverste 10 m af kalken har samme ledningsevne, ca. 40 mS/m ved aktuel temperatur på ca. 9 C⁰, som det overløbende vand. Dette er en ret lav ledningsevne, og også resistivitets-log viser tilsvarende høj resistivitet, 80-150 ohmm, i hele den 60 m tykke kalk sektion. Alt i alt kan det sluttes, at boringen ikke er nået ned til det saltvandspåvirkede grundvand. To sæt vandanalyse data fra boringen viser, at klorid kan variere fra 21 til 54 mg/l. Da al ind

strømning sker fra de øverste 10 m af kalken, tyder de 54 mg/l klorid på, at der lejlighedsvis kan være tale om en lettere kloridpåvirkning i det øvre grundvand.

4. Log stratigrafi i Danien kalken

4.1 Korrelation af Gamma-logs

På **Bilag 5** er Gamma-loggene fra de 4 boringer sammenstillet på et profil fra Klemmestrup i nord over Herfølge til Fruedal i syd. Danien kalkens overflade er indtegnet ud fra boreoplysninger. Der ses ikke nogen genkendelige mønstre eller marker horisonter på gamma-log sektionerne i kalken, som kan korreleres fra boring til boring.

4.2 Korrelation af Resistivitets-logs

Resistivitets-log foreligger fra alle fire boringer. Denne type log giver først brugbare data i den åbne borings sektion fra ca. 1 m under stål forerøret. På **Bilag 6** er de fire resistivitets-log sammenstillet i samme rækkefølge som gamma-logs på Bilag 5. Der ses ingen genkendelige log-mønstre, som giver basis for at korrelere imellem boringerne.

De to boringer ved Herfølge vides at være mere kloridpåvirket end de andre to boringer, og kalkens resistivitet samt borevandets resistivitet i Herfølge boringerne ses også tydeligt at være mindre end i Fruedal boringen og i Klemmestrup boringen.

4.3 Korrelation af Induktions-logs

Induktions log foreligger ikke fra Klemmestrup boringen. Loggene fra de to Herfølge boringer og fra Fruedal boringen er sammenstillet på **Bilag 7** i et snit fra nord imod syd.

Denne type log giver i lighed med resistivitets-log kun brugbare data i den åbne borings sektion fra ca. 1 m under stål forerøret. Der ses heller ikke her nogen genkendelige log mønstre, som kan korreleres imellem de tre boringer.

4.4 Konklusion

Det er således ikke muligt på basis af log-korrelation at foretage en opdeling af kalken i forskellige lithologiske enheder, som har regional udbredelse og derfor kan genfindes fra boring til boring. Dette er ikke overraskende i betragtning af, at der formodentlig er tale om, at kalken i alle boringer er Bryozokalk. Bryozokalk er dannet som bankestrukturer, og disse har kun en lokal udbredelse. De enkelte lag har derfor ikke en regional udbredelse. Derimod tyder resistivits- og induktions-logs på, at kalken i 3 af boringerne kan opdeles i to til tre forskellige log-sekvenser som synes at afspejle generelle forskelle i lithologi og porøsitet. Disse log-sekvenser eller log-enheder svarer muligvis til forskellige lokale bryozobanker (bio-hermer) i de enkelte boringer.

5. Bilags liste

Bilag 1A: GEUS borehuls logs fra boring DGU 212.740

Bilag 1B: GEUS flow-logs fra boring DGU 212.740

Bilag 2: GEUS borehuls logs fra DGU 212.781

Bilag 3: GEUS borehuls logs fra boring DGU 212.1031

Bilag 4: GEUS borehuls logs fra boring DGU 212.987

Bilag 5: Korelation af Gamma-logs

Bilag 6: Korrelation af Resistivitets-logs

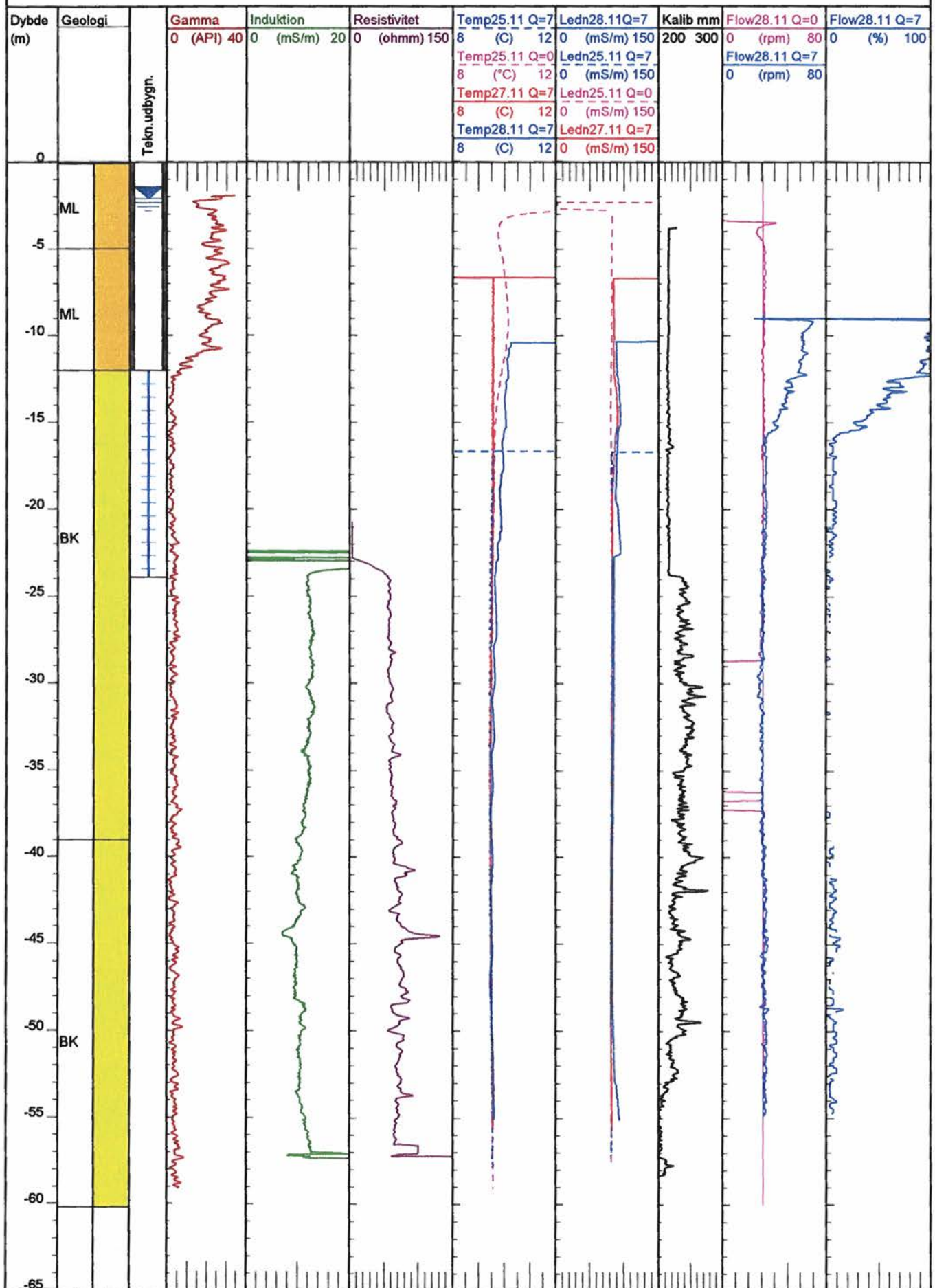
Bilag 7: Korrelation af Induktions-logs

DGU nr. 212.740

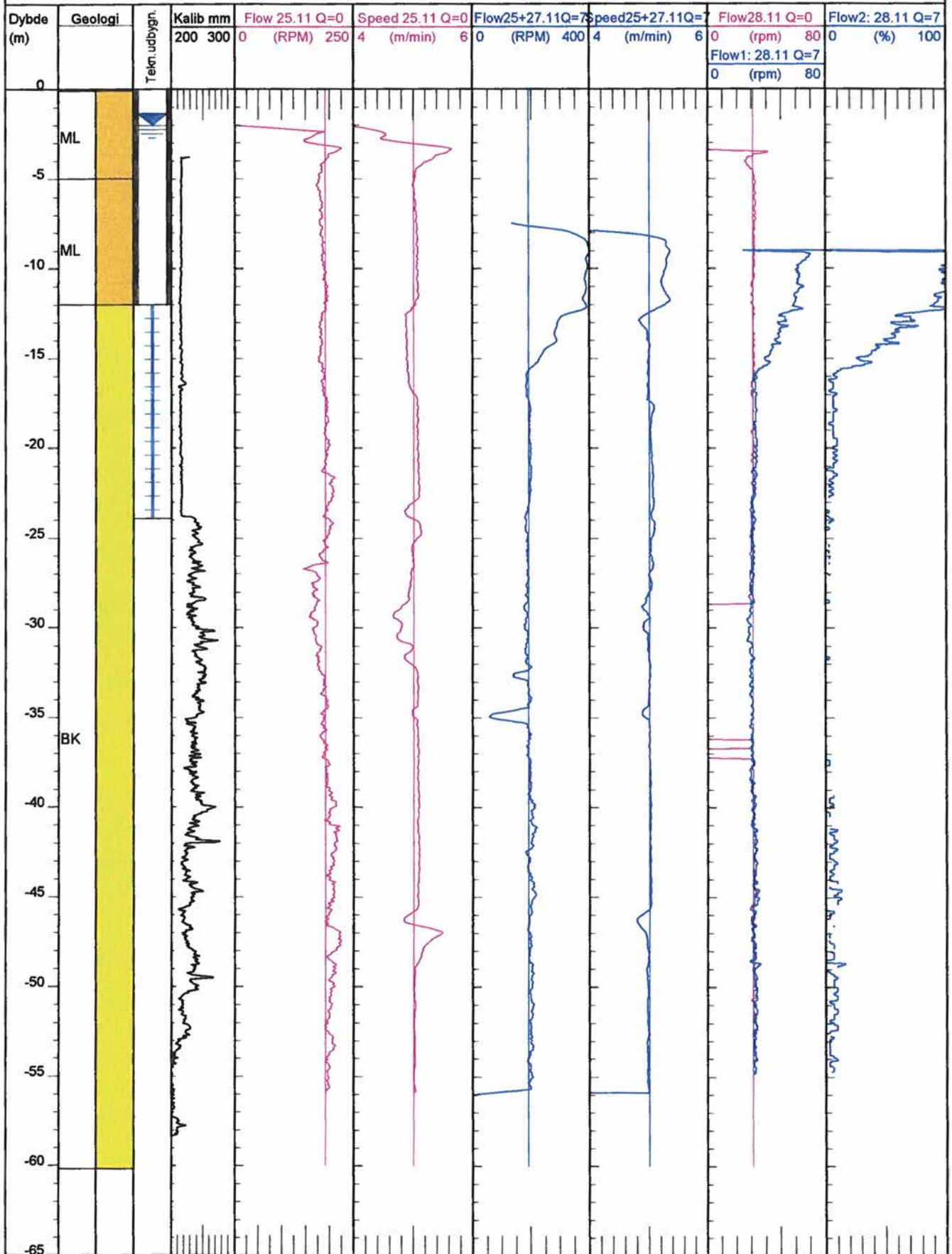
Bilag 1A

Herfølge Stadion - 25-28.11.2003

Reference: terræn



DGU nr. 212.740 Bilag 1B
 Herfølge Stadion: 25-28.11.2003 GEUS Flow-logs
 Reference: terræn

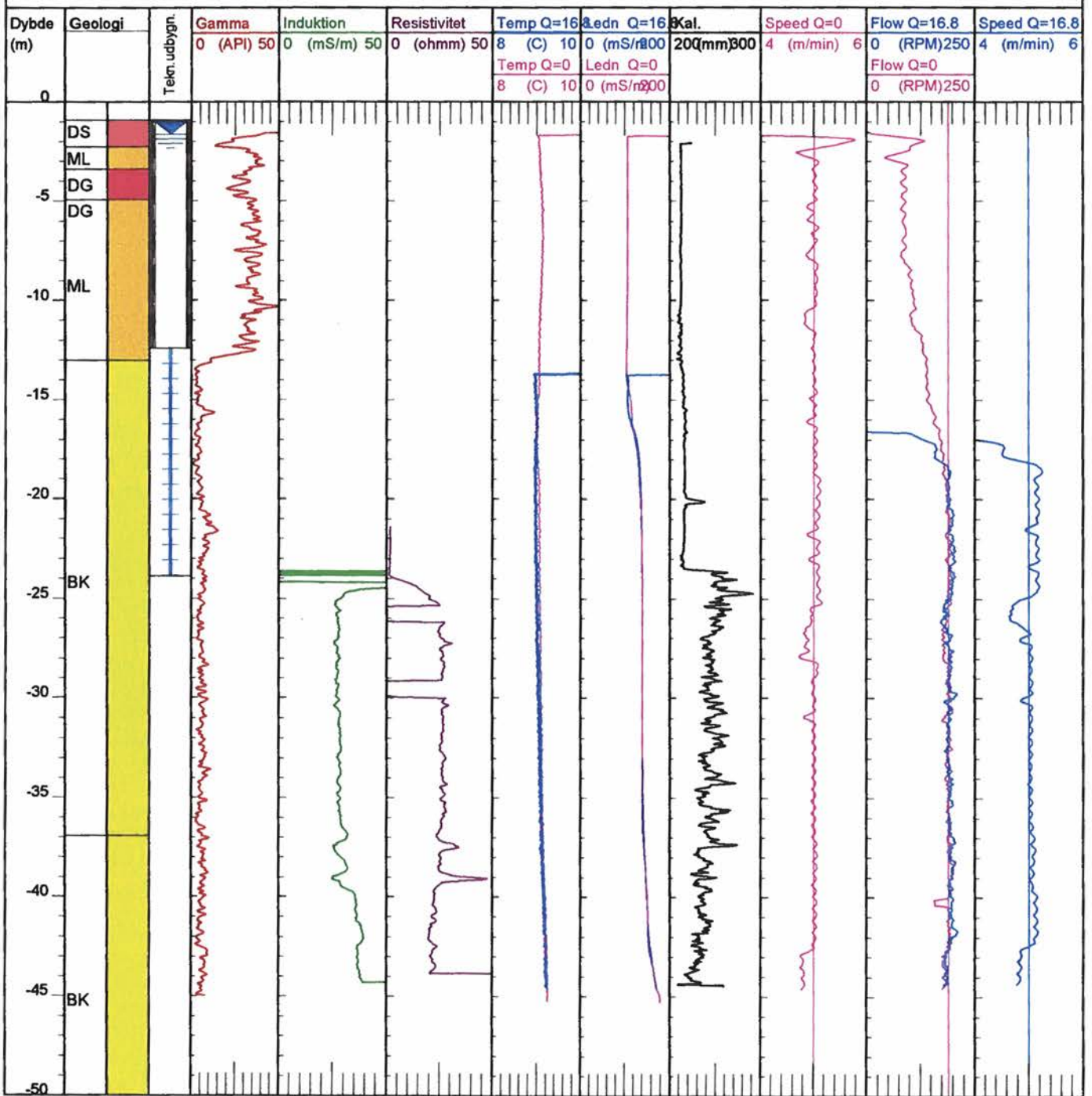


DGU nr. 212.781

Bilag 2

Herfølge: GEUS logging 25-11-03

Reference: Terræn

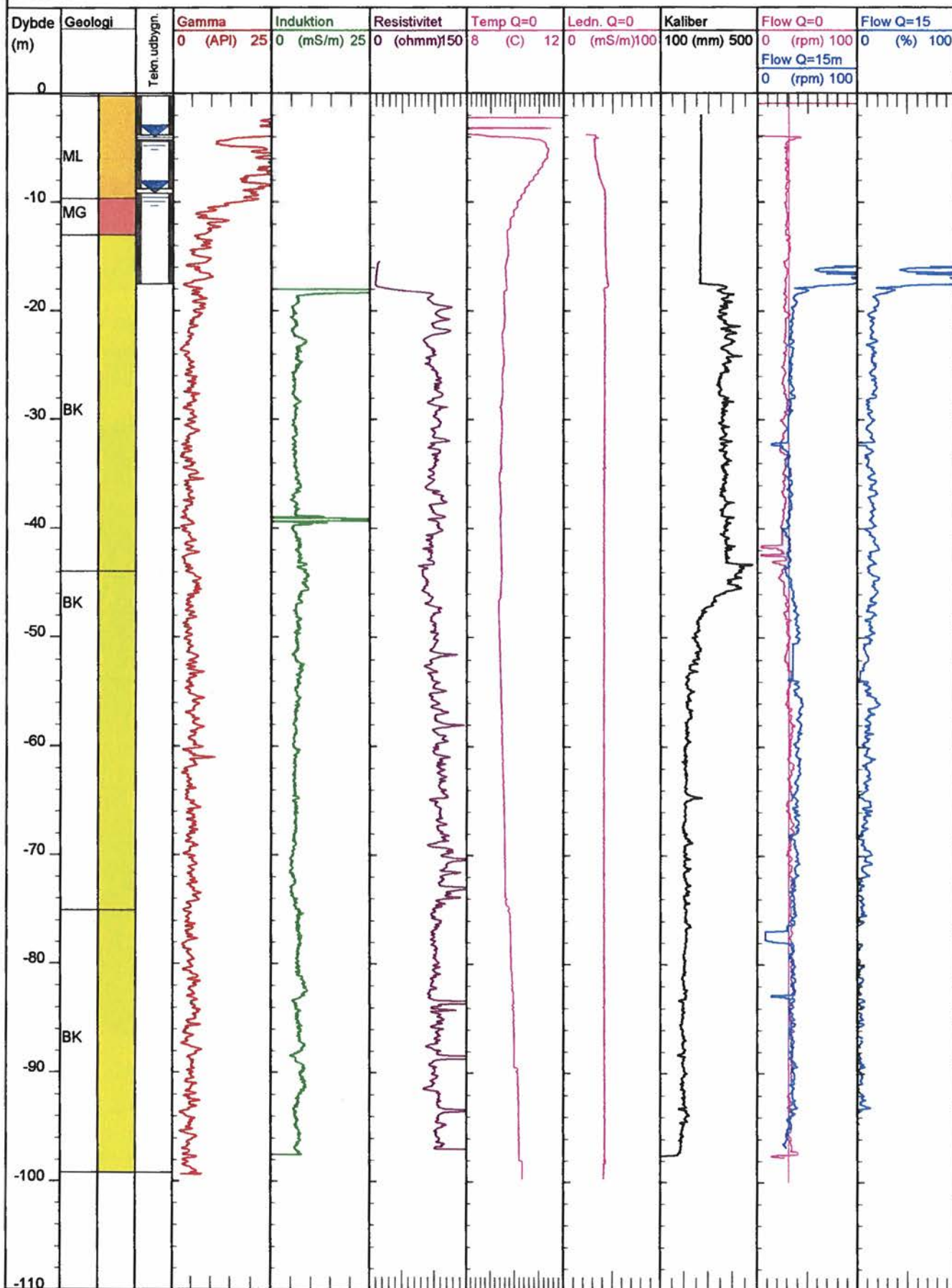


DGU nr. 212.1031

Bilag 3

Fruedal Køge Vandværk GEUS logging: 20-11-02

Reference: Terræn

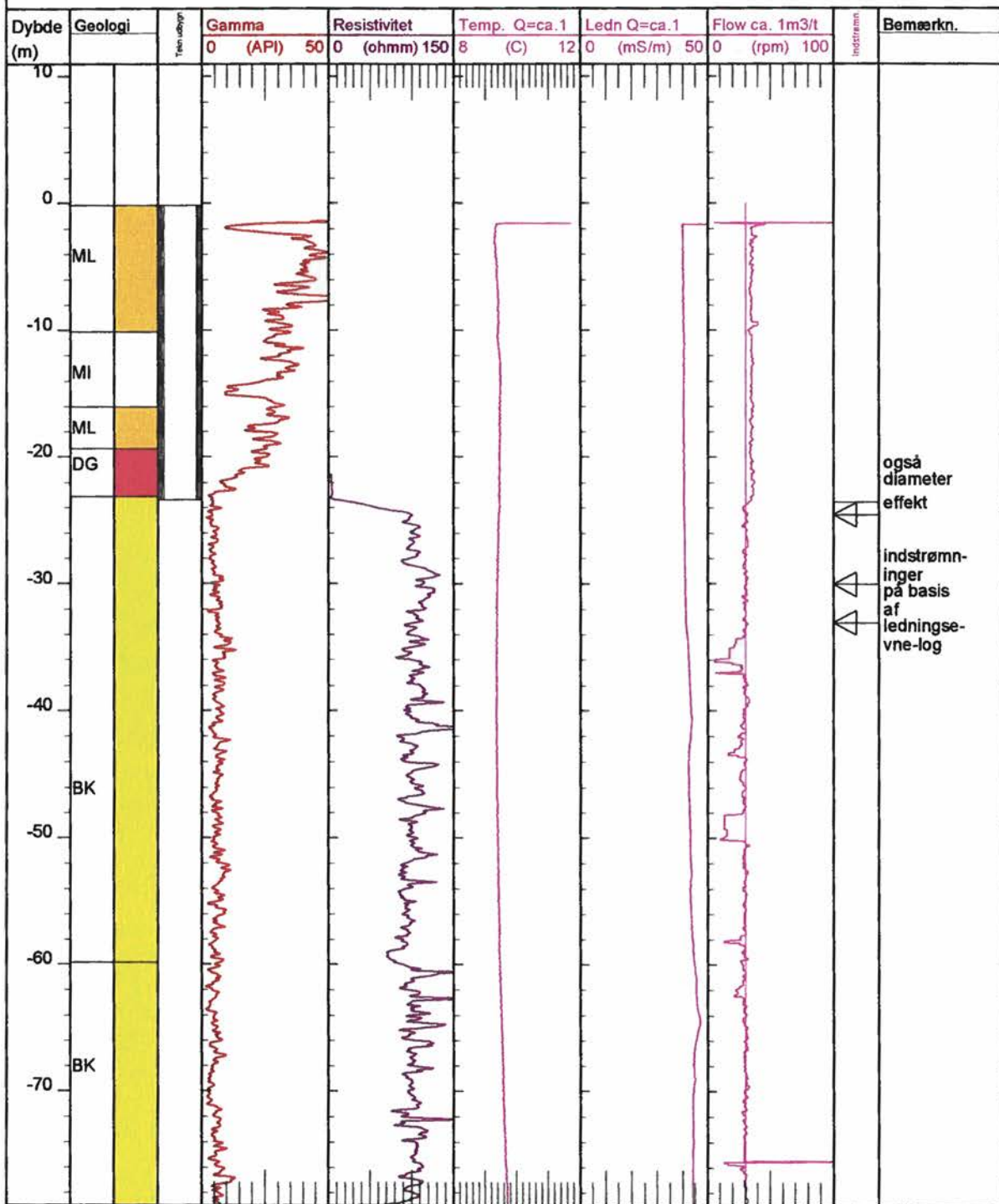


DGU nr. 212.987

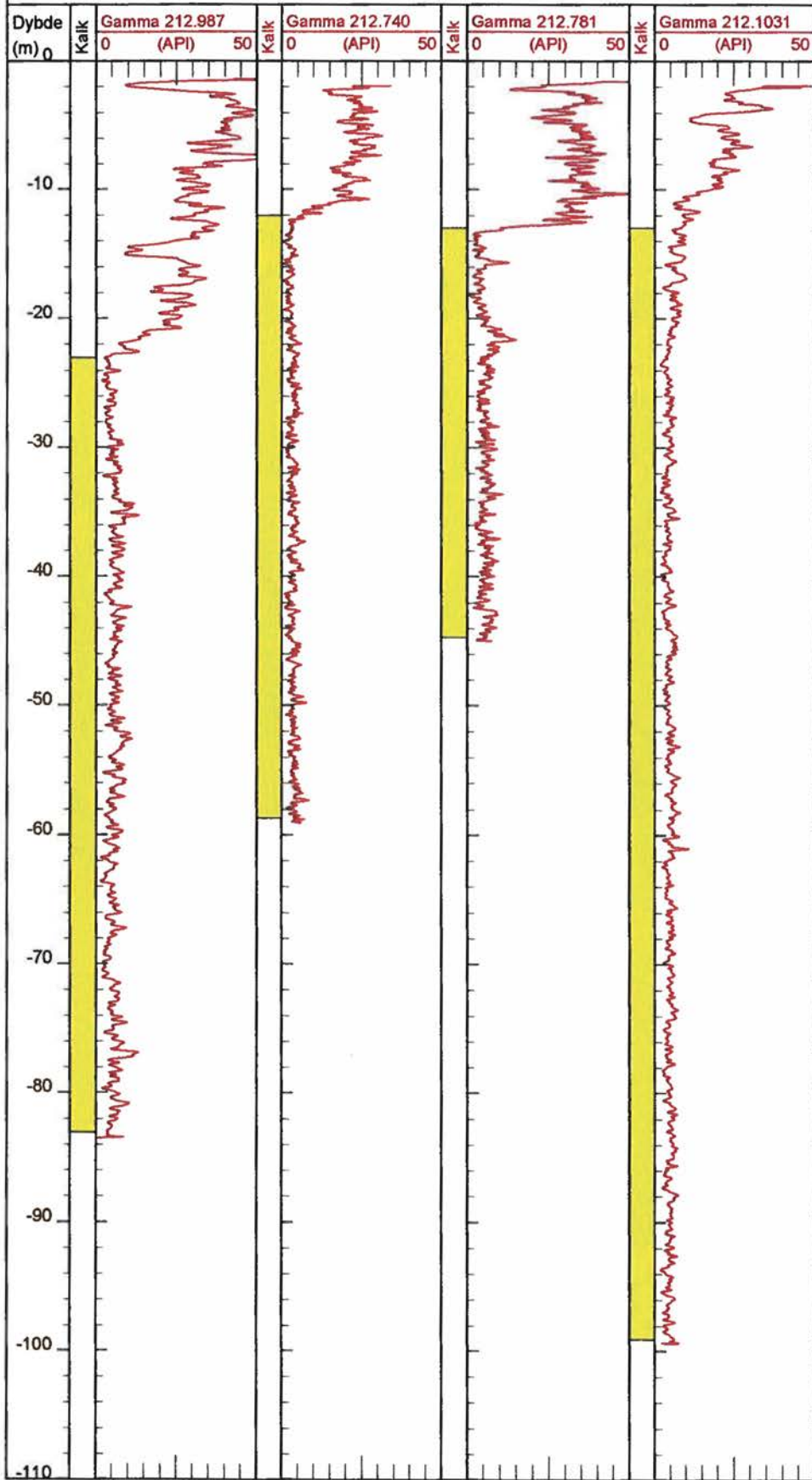
Bilag 4

Klemmestrup, Køge Vandværk-GEUS logging: 28.04.03

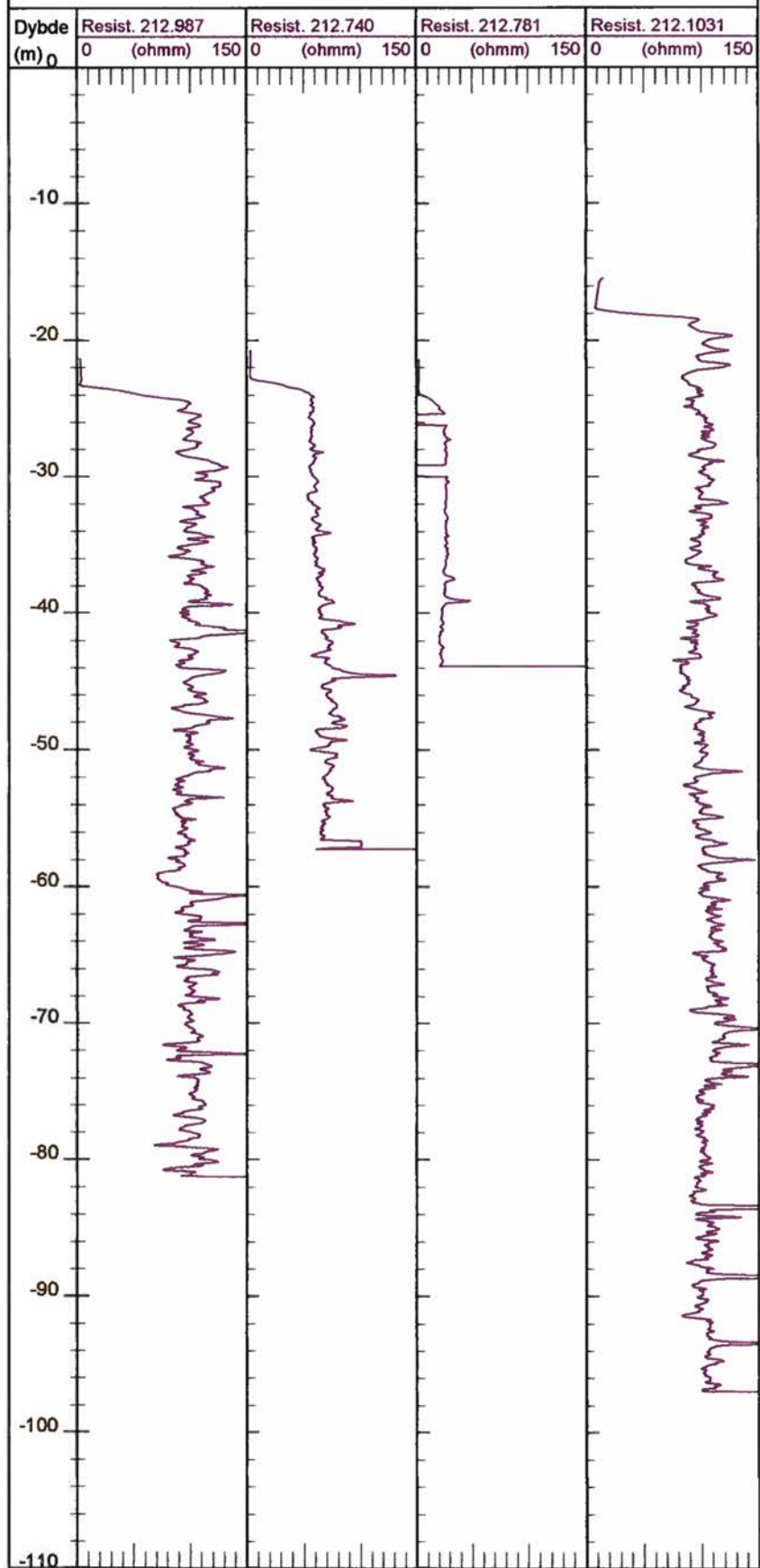
Reference: Terræn



Gamma-log korrelation Bilag 5
 Køge syd Indsatsområde - GEUS logging:Nov-2003
 Reference: Terræn



Resistivets-log korrelation Bilag 6
 Køge Syd Indsatsområde GEUS logging: Nov 2003
 Reference: Terræn



Induktions-log korrelation Bilag 7
 Køge syd Indsatsområde GEUS logging: Nov. 2003
 Reference: Terræn

