

Forureningstransport via utætte boringer

Litteraturopsamling samt undersøgelseserfaringer.
Delrapport 1

John Bastrup og Hans Vesterby
GEO

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	6
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
UDREDNINGSARBEJDE	7
DATABASESØGNINGEN	9
FELTUNDERSØGELSER	10
SAMLET KONKLUSION	14
SUMMARY AND CONCLUSIONS	15
INVESTIGATIVE STUDIES	15
DATABASE STUDIES	18
FIELD INVESTIGATIONS	18
CONCLUSIONS	23
1 INDLEDNING	24
1.1 BAGGRUND	24
1.2 FORMÅL	24
1.2.1 <i>Det samlede projekt</i>	24
1.2.2 <i>Nærværende delprojekt</i>	24
2 UDREDNING AF KONSTRUKTIONSBETINGEDE TRANSPORTVEJE OG DERES POTENTIELLE BETYDNING	25
2.1 REGLER FOR UDFØRELSE, INDRETNING OG SLØJFNING AF VANDINDVINDINGSANLÆG	25
2.2 BOREMETODER OG DERES INDFLYDELSE PÅ BORINGSBETINGET TRANSPORT	26
2.2.1 <i>Tørboring</i>	26
2.2.2 <i>Stanghåndteret tørboring</i>	28
2.2.3 <i>Slagboring med wire</i>	29
2.2.4 <i>Skylleboring</i>	30
2.3 TYPER AF BORINGUDBYGNING	36
2.3.1 <i>Filterkonstruktion</i>	38
2.3.2 <i>Filterboringer, type I</i>	38
2.3.3 <i>Filterboringer, type II</i>	39
2.3.4 <i>Filterboringer, type III</i>	39
2.3.5 <i>Åbne boringer, type IV og type V</i>	40
2.4 MATERIALEVALG	40
2.4.1 <i>Filtre</i>	41
2.4.2 <i>Forerør</i>	42
2.4.3 <i>Materiale til forerørstætning</i>	43
2.5 RÅVANDSSTATION OG FORERØRSAFSLUTNING	44
2.6 VANDFORSYNINGSSBRØNDE	45
2.7 BORINGSBETINGEDE TRANSPORTVEJE	46
2.7.1 <i>Boringens udførelsesmetode</i>	46
2.7.2 <i>Filtre</i>	48
2.7.3 <i>Forerør</i>	48
2.7.4 <i>Forerørstætning</i>	50
2.7.5 <i>Forerørs- og boringsafslutning</i>	53
2.7.6 <i>Efterladte vandindvindingsanlæg</i>	55

2.8	KATEGORISERING AF BORINGSBETINGEDE TRANSPORTVEJE	56
2.8.1	Lodrette lækager langs forerørret	56
2.8.2	Utætte forerør	57
2.8.3	Utætte forerørssamlinger	58
2.8.4	Utætte borings- og forerørsafslutninger	58
2.8.5	Ineffektiv sløjfning af boringer	59
2.9	KONKLUSION AF UDREDNING SARBEJDET	59
3	BAM-FORURENING RELATERET TIL BORINGSKONSTRUKTIONER PBA. DATABASESØGNINGER	61
3.1	DATABASESØGNINGER	61
3.1.1	BAM-fund contra boreddybde og alder	62
3.1.2	BAM-fund og forerørsmaterialer	64
3.1.3	BAM-fund og forerørsforerørstætning	64
3.1.4	Fund og boringstype	66
3.1.5	Fund og boremetoder	67
3.1.6	Andre søgninger	67
3.1.7	Samlet konklusion på databaseundersøgelser for fordeling af forureningsramte boringers relation til boringskonstruktioner	67
4	UNDERSØGELSER AF BORINGSKONSTRUKTIONER	69
4.1.1	Feltundersøgelser	69
4.1.2	Sammenstilling af undersøgelser af boringskonstruktioner	84
4.1.3	Samlet vurdering af udførte detailundersøgelser	87
4.2	VURDERING AF HYPPIGHED OG BETYDNING AF DE BORINGSBETINGEDE TRANSPORTVEJE	89
4.2.1	Lækage fra borings- og forerørsafslutning	89
4.2.2	Lækage langs forerør	90
4.2.3	Lækage igennem forerør, samlinger og skruehuller	92
4.2.4	Lækage igennem forerør, hul i rørene	92
4.2.5	Lækage langs sløjfede boringer	93
4.3	METODEEVALUERING	93
4.3.1	Indledende undersøgelser	94
4.3.2	Undersøgelser i boring	96
4.3.3	Undersøgelser udenfor boring	101
4.3.4	Forslag til sammensætning af undersøgelsesprogram	102
4.4	SAMLET KONKLUSION FOR UNDERSØGELSE AF BORINGSKONSTRUKTIONER	103
5	AFVÆRGETILTAG OG RENOVERING AF BORINGER	107
5.1	VALG AF AFVÆRGETILTAG	107
5.2	AFVÆRGE- OG RENOVERINGSMETODER OVERFOR BORINGSBETINGET FORURENING	108
5.2.1	Udbedring af boring- og/eller forerørsafslutning	108
5.2.2	Renovering og afværgeforanstaltninger under terræn	108
5.2.3	Beskrivelse af afværge- og renoveringsmetoder	109
5.3	PARADIGME FOR UNDERSØGELSESTRATEGI VED BAM-FORURENING	111
6	KONKLUSION	112
7	LITTERATUR	114

8.1 LOVE OG BEKENDTGØRELSER*8.1.1 Love**8.1.2 Bekendtgørelser**8.1.3 Cirkulærer**8.1.4 Vejledninger**8.1.5 Normer**8.1.6 Primære regler***8.2 KATEGORISERING AF POTENTIEL LÆKAGERISICI****8.3 BORINGSUNDERSØGELSER FOR DEFEKTE****BORINGSKONSTRUKTIONER****8.4 DETAILUNDERSØGELSER**

Forord

Denne rapport indgår som en delrapport i projektet Pesticider og vandværker. Rapporten giver ud fra eksisterende viden en generel beskrivelse og vurdering af mulige risici for konstruktionsbetingede pesticidforureninger af danske vandforsyningsboringer. Herudover er betydningen af transporten af BAM-forureningen via boringskonstruktionerne vurderet ud fra undersøgelser af BAM-forurene borer.

Baggrunden for arbejdet er en række fund af pesticider, specielt BAM, som har henledt opmærksomheden på boringernes nærområde som mulige årsager til forurening.

Rapporten beskriver i rapportens første del generelt alment benyttede boreteknikker, boringskonstruktioner og indbygningsmaterialer, og den vurderer de potentielle forureningsrisici, der kan føres tilbage til teknik samt konstruktions- og materialevalg. I rapportens anden del ligger egentlige undersøgelser til grund for en vurdering af problemet med boringskonstruktionerne i forbindelse med den massivt registrerede BAM-forurening af magasinerne.

Rapportens generelle del er udført som et element i projektets fase I, og er benyttet i projektets fase II som basis for at udvælge en række vandforsyningsboringer, som efterfølgende er nærmere undersøgt ved arbejder i felten. Disse undersøgelsesresultater er sammen med indhentning af andre erfaringer beskrevet og sammenstillet i rapportens anden del.

Endelig er resultatet af ovennævnte beskrivelser og undersøgelser er forsøgt verificeret ved at bearbejde de boretekniske data fra de BAM-forurene vandindvindingsboringer, som indgår i GEUS's database, Jupiter.

Herudover har rapporten et bredere sigte, idet den i fremtiden vil kunne være en hjælp i bestræbelserne på at minimere risiciene for forureningsspredning ved sløjfning, renovering og nyanlæg af vandindvindingsboringer.

Sammenfatning og konklusioner

Udredningsarbejde

Der er foretaget en gennemgang og vurdering af de boreteknikker, boringskonstruktioner og indbygningsmaterialer, som i det sidste århundrede er anvendt i forbindelse med udførelse af vandindvindingsboringer i Danmark. På grundlag heraf kan det konkluderes, at der optræder en række risici for, at der opstår sådanne lækager, at forurenende stoffer i omgivelserne enten får adgang til det pågældende grundvandsreservoir eller forurener vandet i boringen.

Boringer kan kategoriseres i 5 boringstyper, hvor type I-III er filterboringer, mens type IV og V er åbne boringer uden filter. Ydermere er type III kendetegnet ved, at borerøret er erstattet med et forerør. For mere detaljerede beskrivelser henvises til afsnit 2.3.

Lækagerisici er specielt relateret til følgende utætheder:

- Lodrette lækager langs forerøret
- Utætte forerør
- Utætte forerørssamlinger
- Utætte borings- og forerørsafslutninger
- Ineffektiv sløjfning af boringer .

Disse risici kan henføres til følgende:

Lodrette lækager langs forerøret

Risikoen for, at der opstår lodrette lækager langs forerøret optræder især, hvor der er anvendt borerør (arbejdsrør) med muffe og boresko, som har dannet kanaler langs forerøret. Det drejer sig specielt om tørboringer udført før 1960, hvor borerøret har været anvendt som forerør, men hvor der ikke er anvendt forerørstætning af nogen art (boringstype I og II). En lignende risiko optræder ved åbne boringer, hvor borerøret er anvendt som forerør i de øvre vandstandsende lag (boringstype IV og V). Problemet er størst ved gennemboring af faste kohæsive lag, idet en forøgelse af borehullets diameter i permeable aflejringer kun i begrænset omfang vil introducere nye transportveje.

Risikoen for lækage ved filtersatte boringer (boringstype III) er nøje sammenknyttet med tilstedeværelsen og kvaliteten af den udførte forerørstætning. I perioden indtil 1980'erne blev der ved denne type boringer normalt ikke benyttet forerørstætninger. I tilfælde af at der gjorde, har det i stor udstrækning været uegnede materialer. Fra ca. 1975-1980 blev der således benyttet forerørstætningsmaterialer som i mange tilfælde har medført direkte kanaldannelse gennem tætningerne.

En anden risiko for transport langs forerøret opstår ved boringstype III, hvis der sker nedsynkning af forerørstætningen. Risikoen for, at noget sådant sker, er ved tørboringer specielt knyttet til, at der kan opstå boringsbetingede

kaviteter, som så senere udfyldes med nedsynkning og ”skorstensdannelse” til følge. Ved skylleboringer optræder sådanne nedsynkninger som oftest på grund af manglende oprensning under boringsudførelsen, hvorved der kan ske en omlejring af gruskastningen under renpumpningen af boringen med nedsynkning af forerørstætningen til følge. Ved tørboring opstår nedsynkningen ved forkert nedføring af borerøret under boreprocessen.

Forerørstætningen kan endvidere være udført med en utilstrækkelig højde, således at modstanden mod strømning gennem tætningen er væsentlig mindre end modstanden mod strømning gennem de gennemborede vandstandsende lag. Denne fejl kan i nogen tilfælde henføres til, at den i normerne foreskrevne minimumshøjde af tætningen på ca. 1 m under nogle omstændigheder ikke er fuldt tilstrækkelig.

Endelig kan forerørstætninger være behæftet med fejl, fordi forerøret har for stor diameter i forhold til boringens diameter, således at der ikke er plads til at udføre forerørstætningen korrekt.

Som det fremgår af ovenstående, er der mange årsager til dannelse af brøndborerskorsten. Problemet anses således for at være meget hyppigt. Betydningen af lækagen styres af de hydrauliske forhold i skorstenen, og afhænger derfor i høj grad af tætningsmateriale, -metode, -placering, og -højde, men sandsynligvis også af ydre omstændigheder som dybde til grundvandsmagasinet (højde af forerør).

Utætte forerør

Gennemtæring af forerør af stål må generelt forventes at kunne ske efter 20-30 års levetid. Borerør af stål, som er anvendt som forerør, er hovedsagelig benyttet indtil ca. 1960, hvorfor det må forventes, at sådanne boringer er i højrisikozonen for lækage som følge af korrosion. Herudover kan det ikke udelukkes, at der kan opstå huller i forerør af andre materialer, specielt ved pumpeplacering m.v.

Problemet anses for at være hyppigt, og kan afhængig af lækagens og dermed indstrømningens størrelse være et betydende problem.

Utætte forerørssamlinger

Transport af forurening gennem utætte rørsamlinger er et problem, som potentielt er muligt i alle typer af boringer. Siden 1975 er PVC-samlingerne forsøgt tætnet med teflontape og i visse tilfælde med O-ringe. Undersøgelser har vist, at teflontape har haft den modsatte effekt, hvis der er benyttet for mange omviklinger. Limmuffer med skruer, som primært er anvendt i perioden 1965-1975 indebærer er oplagt risiko for efterfølgende utætheder i tilfælde af, at skruerne er skruet igennem forerøret og senere er rustet væk. PVC-samlingerne er forerørets svage punkt mht. trykpåvirkninger, hvilket betyder de ofte vil være utætte. Også samlinger i stålrør kan være utætte, men problemet anses dog ikke for at være så stort, som for PVC- og PEH samlingerne, hvor problemet ikke skønnes løst i selv nyetablerede boringer.

Problemet anses for at være særdeles hyppigt. Indstrømningens størrelse vil i de fleste tilfælde være begrænset, og mht. BAM-forurening derfor potentielt set være af mindre betydning i indvindingsboringer med en stor oppumpningsmængde.

Utætte borings- og forerørsafslutninger

Utætte overbygninger kombineret med utæt forerørsafslutning vil kunne medføre en direkte nedstrømning i forerøret. Der kan opstå utilsigtede

indstrømninger gennem utætte dæksler, nedløb af overfladevand ved placering af tørbrønd i terræn, kabelgennemføringer, utætte samlinger i brøndringe m.v.

En udpræget risiko for, at overfladevand kan trænge ind i boringsvolumenet, opstår desuden ved utætte forerørsafslutninger kombineret med bundplader i råvandsstationen, som ikke er udstøbt på lavpermeable aflejringer samtidig med, at der er opfyldt med højpermeable materialer omkring råvandsstationen.

Problemet anses at være reelt. Men der skal i de fleste tilfælde små indgreb til for at minimere problemet, som ofte let kan registreres. Problemet anses for at være størst ved enkeltindvindinger.

En anden type risiko opstår i forbindelse med tætte forerørsafslutninger udført uden udluftning. Tætte forerørsafslutninger findes mange steder, da det kan have gavnlig indflydelse på processer i forerøret med færre regenereringer til følge. Men det er særdeles vigtigt at forerøret ikke har utætheder af nogen art, da der ellers som følge af det vacuum der vil opstå ved start af oppumpning, vil kunne trækkes forurening til boringen selv i tilfælde af små lækager i forerøret.

Problemet findes sandsynligvis tit i hermetisk lukkede boringer, specielt på grund af den skønnede hyppighed af utætte samlinger. Indstrømningen kan i disse tilfælde potentielt set være betydende.

Ineffektiv sløjfning af boringer

Først efter 1980 kan sløjfning af boringer ved udstøbning anses for at være hensigtsmæssigt udført. Dette skyldes, at der først på dette tidspunkt blev introduceret effektive forerørstætninger. Problemet med "spøgelsesboringer" kan derfor tidligst være løst efter 1980.

Problemet anses for at være hyppigt. Mange sløjfede boringer er placeret på vandværksgrunden tæt på eksisterende indvindingsboringer, hvilket hydraulisk set er uheldigt på grund af gradienterne. Der kan desuden være tale om "rene" skorsstene, hvorfor problemet tillige vurderes for at være et betydende bidrag til en boringsnær magasinforurening.

Ud over ovenstående beskrivelser af lækagemuligheder, er der eksempler på kortslutning mellem forskellige magasiner som følge af en boringsudbygning med flere filterintervaller i samme boring kun adskilt af en forerørsstrækning med eller uden forerørstætning. En sådan filtersætning har tidligere været almindelig praksis, men bør helt undgås på grund af den oplagte risiko for kortslutning af magasiner.

Man skal være opmærksom på at de nævnte lækagetyper kan optræde enkeltvis eller i flere tilfælde kombineret. I sidste tilfælde vil den potentielle risiko for forurening øges betydeligt.

Databasesøgningen

Med baggrund i GEUS boringsdatabase er det undersøgt, om der tegner sig et billede af nogle generelle tendenser med hensyn til de BAM-forureningsramte boringer, som kunne give en indikation af mulige årsagssammenhænge til den konstaterede BAM-forurening. Der kan konkluderes følgende på baggrund af databasesøgningerne:

- I korte boringer (op til 30 m) ses en sammenhæng mellem boringsalder og BAM-fund (ca. 15 % på potentielt kritiske aldre), evt. pga. at ”skorstenseffekt” og utætheder slår kraftigere igennem i de kortere boringer
- I boringer dybere end 30 m ses kun en meget lille sammenhæng mellem boringens alder og BAM-fund, som kan skyldes boringskonstruktionerne (1,5 %)
- I boringer udført mellem 1975 og 1980 er der for en stor procentdel fundet BAM i boringer kortere end 30 m (25,5 % fund), evt. som resultat af at der i denne periode i stor udstrækning blev benyttet duranitikugler som forerørsforerørstætning. (Et produkt som senere viste sig at generere strømningskanaler forerørstætningerne)
- Der er ikke betydende forskel i BAM-fund i boringer udført efter 1980 (uanset boringsdybde) angivet med en eller anden form for forerørsforerørstætning, sammenholdt med boringer som ikke er angivet med forerørstætning. Til gengæld registreres ingen forurening i boringer angivet med specificerede bentonitprodukter som forerørstætning (af 115 boringer). Dette tyder på at bentonitforerørstætningerne har en berettigelse. Der ses dog ikke umiddelbart sammenhæng mellem forerørsforerørstætningens højde og fundhyppigheden
- Flere korte åbne boringer uden filter (boringstype IV og V) er forurenede end filtersatte boringer, men forskellen ophører i dybe boringer, sandsynligvis fordi ”skorstenseffekten” er mere markant i de åbne boringer, men samtidig slår kraftigere igennem på de kortere boringer
- Der ses en tendens til sammenhæng mellem BAM-fund og pladsen i borehullet til en fornuftig forerørsforerørstætning.

Alt i alt ses der en tendens til, at boringskonstruktionerne kan have en betydning for fund af BAM i kortere boringer.

Feltundersøgelser

I det følgende er konklusionerne af udvalgte undersøgelser fra projektet gennemgået, primært fokuserende på boringskonstruktionerne. Ud fra undersøgelsen kan følgende konkluderes:

For feltundersøgelser udført i forbindelse med projektet:

Der er generelt tale om komplekse forureningssituationer, også selv om hypotesen på de udvalgte lokaliteter synes relativ klar. I mange tilfælde er der tale om fejlbehæftede boringer, men ligeledes bidrag fra andre transportveje

Det kan konstateres, at mange relativt nyetablerede boringer er fejlbehæftede, specielt med utætte samlinger og (hvor de findes) forkert placerede forerørstætninger

Der er ikke konsekvent benyttet Prefix på vandværker, vurderet ud fra fund i jordprøver på vandværksgrunde. Det er dog ikke muligt at sige noget generelt om rutinerne vedrørende udbringning. Hovedkilden til forureningen kan

derfor i visse tilfælde være vandværket. Men det bør bero på specifikke undersøgelser

Indsivningstests i utætte forerørssamlinger viser en forsvindende indsivning i forhold til hvad der normalt oppumpes fra indvindingsboringer. Der er udført beregninger af formodet betydning af skorstenseffekt, af utætte borerørs- og forerørsafslutning, samt af sløjfede boringer. Lækagernes formodede betydning er sammenfattet på tabel 1.

	Sandsynlig Lækage til magasin m ³ /år	Fortyndingsfaktor ved oppumpning på 10.000 m ³ /år	Nødvendig koncentration ved indstrømning for at nå grænseværdi (0,1 µg BAM / l) i magasinet
Fra overbygning	1-10	1.000-10.000	100-1.000 µg BAM/l
Igennem forerør	1-50	200-10.000	20-1.000 µg BAM/l
Langs forerør	1-1000	10-10.000	1-1.000 µg BAM/l
Sløjfet boring	1-1500		

Tabel 1. Sandsynlig lækage til magasin fra utætte boringer.

Det fremgår af tabel 1 at utæthederne i de fejlbehæftede boringer ofte vil spille en mindre rolle i forhold til magasinforureningen med BAM. Der vil ofte være et bidrag fra boringsbetingede lækager, men alene vil koncentrationerne i almindeligt ydende vandforsyningsboringer normalt være under grænseværdien. Årsagen hertil er de lave BAM-koncentrationer i sekundært grundvand, sammenholdt med en ringe nedsivning. Med de i projektet fundne BAM-koncentrationer i sekundært grundvand, som meget sjældent overstiger 1 µg/l og aldrig i undersøgelserne er set i koncentrationer over 10 µg/l, vil det for alle typer utætheder betyde, at koncentrationen holdes under grænseværdien, forudsat at der pumpes med en normal ydelse fra boringen.

I de små vandværker, med ringe indvinding, og hvor der ikke foretages en kontinuert drift, kan utætte boringer (specielt ved skorstenseffekt) være et problem, hvis der findes høje BAM-koncentrationer i det øvre sekundære grundvand. Forsøg med skiftevis kontinuert alternerende drift viser dog ingen synlig forskel i BAM-udviklingen i forurenede boringer, men hvor der sandsynligvis er tale om magasinforurening.

Lækager som følge af dårligt sløjfede boringer kan godt forårsage en væsentlig transport af BAM, specielt på grund af den ofte uheldige placering tæt på eksisterende indvindingsboringer

En undersøgelsesboring lige opstrøms for den forurenede boring til det sekundære og primære magasin vil ofte kunne fjerne den sidste tvivl om transportvejen er boringsbetinget eller magasinbetinget

Forsøg på renovering af defekte boringer viser eksempler på manglende effekt på grund af forkert hypotese.

Indsamlede erfaringer fra undersøgelser af tilstanden af vandværksboringer:
Hovedparten af de undersøgte boringer er konstateret med en eller anden form for fejlbehæftning. Der er således registreret 144 boringer eller ca. 84 % med tegn på defekt boringskonstruktion

Der er flest utætte samlinger i boringstype III (filtersatte boringer)(57 %) og PVC-forerør (61 %), mens der er flest huller registreret i boringstype I-II

(boringer med blivende borerør) (46 %), og hvor stålrør er benyttet som forerør (42 %).

Konklusioner af udførte BAM-undersøgelser:

Af 27 afsluttede undersøgelser, er der med sikkerhed tale om magasinforurening de 13 steder, 8-9 lokaliteter er med både magasin og boringsbetinget transport, mens det kun i 2-3 undersøgelser vurderes, at der udelukkende er boringsbetinget transport. 3 af undersøgelseerne har ikke kunnet afklare transportvejen.

Betydning af boringsbetingede lækager i forhold til BAM-transport:

Med de normale BAM-koncentrationer i sekundært grundvand vil der for alle typer utætheder i de fleste tilfælde betyde, at man vil holde sig et pænt stykke under grænseværdien, i tilfælde af at der pumpes gennemsnitlige vandmængder fra boringen. I små vandværker, hvor behovet for store vandmængder ikke findes, kan skorstenseffekt mv. dog i flere tilfælde vise sig at være et problem, hvis der findes høje koncentrationer i sekundært grundvand. Eksempelvis vil der kunne træffes BAM-koncentrationer over grænseværdien (0,1 µg/l) i det oppumpede vand i en ikke forerørstætnet boring (pumpeydelse på ca. 1 m³/t) som følge af skorstenseffekt langs ydersiden af forerør, der svarer til en hydraulisk ledningsevne som mellemkornet sand, hvis der som minimum findes ca. 8-10 µg BAM/l i det overfladenære grundvand med kontakt til boringen. Svarer skorstenens hydrauliske ledningsevne derimod til grus, skal der findes ca. 0,5-1 µg BAM/l i det sekundære grundvand med kontakt til boringen, for at der sker overskridelser af grænseværdien. Det første tilfælde er meget sjældent tilfældet mht. koncentrationerne i øvre grundvand, mens eksempel nr. 2 er mere realistisk. Til gengæld er det nok sjældnere, at skorstenseffekten er så kraftig som antaget i det sidste tilfælde.

Evaluerings af undersøgelsesmetoder som diagnosticeringsværktøj:

Ved indsamling af eksisterende viden om boringen fås en uvurderlig information til at tilrettelægge den efterfølgende undersøgelsesstrategi.

TV-inspektion er normalt et udmærket værktøj i forbindelse med detektion af utætheder. Metoden giver i nogle tilfælde for få informationer på grund af dårlig sigtbarhed under grundvandsspejl. Herudover siger metoden ikke noget om den indsivende mængde. Trykprøvning af forerør er en anden metode til bestemmelse af utætte boringer. Metoden kan ud over praktiske problemer ved forsøg i gamle boringer give risiko for kollaps af forerøret.

For at få indtryk af tilstrømningen i boringen fra utætheder kan man benytte indsivningstests med anvendelse af packer. Man skal være opmærksom på, at der ved disse tests ofte har været problemer med at holde trykket på packeren, og dermed sikre at indstrømmende vand kommer fra utæthederne.

Ved gammalogs vil man ofte kunne verificere placeringen af forerørstætninger. I tilfælde af at man registrerer en tætning kan man dog ikke konstatere om den er tæt eller hvor meget der siver igennem. Konduktivitetslogs kan benyttes som supplement til gammaloggen, men vil ofte kunne undværes, hvis der laves gammalogs. loggen giver falske signaler i samlinger med jern skruer mv. Ved borehulslogging kan desuden anvendes andre sonder blandt andet Kaliberlog (borehulsdimension), flowlog (indstrømning), resistivitetslog (geologi i slidserørszonen), soniclog (vedhæftning til forerør). Fælles er at loggingmetoderne er indirekte, og derfor under normale omstændigheder ikke kan stå alene, men skal opfattes som supplement til vandprøvetagning.

Niveauprøvetagning er den bedste metode til at fastlægge de forskellige niveauer, hvor det forurenede vand strømmer ind i boringen. Men metoden skal udføres med omhu, for at sikre repræsentative prøver, og dermed de rigtige tolkninger. Derfor skal benyttes to eller flere pumper. Herudover kan man som ekstra sikkerhed benytte hjælpeværktøjer til sikring af de rigtige niveauer for vandskel i boringen, b. l. a. flowlogs, packer eller heat puls sonde. I tilfælde af at man ønsker at bestemme bidraget fra utætheder i forerør tages vandprøven af annulusvand i forerrøret. Det kan være hensigtsmæssigt foruden BAM, at analysere for stoffer, som er karakteristiske for overfladevand. Lækage på ydersiden af forerør kan bestemmes ved prøver udtaget i toppen af filterrøret. Der kan være usikkerhed om hvorfra forureningen kommer ved prøven udtaget i toppen af filterrøret. Enten kan den være transporteret ned langs forerrøret som brøndborerskorsten, alternativt kan det være en boringsnær magasinforurening, eller evt. begge dele. Dette kan afsløres ved at lave en længerevarende separations-pumpning, hvor der udtages niveauspecifikke prøver over et længere forløb. Ved samtidig at udtage repræsentative prøver fra midten eller bunden af filteret, kan man opnå viden om bidrag af indstrømning fra formationen fra mere boringsfjerne kilder.

Man kan med CFC-datering vurdere grundvandsmagasinet's sårbarhed overfor BAM ved naturlig nedsivning eller boringsbetinget lækage ved opblanding med yngre overfladenært grundvand. Ved kortslutning i boringen med ungt overfladevand fås et billede af alderen i filterdybden, som normalt ikke vil være repræsentativt i den givne dybde. Der er dog ved metoden processer og faktorer, som har en betydelig effekt på dateringerne, og dermed er en række usikkerheder ved metoden som man skal være opmærksom på, for ikke at overfortolke resultaterne.

Oplysninger fra boringsundersøgelsen kan verificeres ved at udføre undersøgelser udenfor boringen. Undersøgelsesboringer opstrøms for den forurenede boring til det sekundære og primære magasin vil være oplagt i tilfælde af om der er tvivl om en boringsbetinget eller magasinbetinget forurening. Analyser af boringsnære jordprøver for dichlobenil og BAM er ligeledes undersøgelser, som bør have høj prioritet.

Boringsrenovering og afværgeforanstaltninger:

Hvis borings-forbedringer skal have nogen effekt, er det nødvendigt, at være fremkommet med de sande undersøgelseskonklusioner før der skrives til renovering. I mange tilfælde vil man ellers fortsat have en forurenede boring. Det er mange eksempler på, at renoveringer ingen effekt har haft, da de vigtigste transportveje ikke er fjernet.

For at sikre at andre boringer ikke forurenes, er det ofte nødvendigt fortsat at foretage en hydraulisk styring/ afværgepumpning og overvågning efter renovering. Forsøg med forskellige pumpescenarier i områder med magasinforurening har ikke kunnet påvise forskel i BAM-koncentrationerne, afhængig af om der pumper kontinuert eller alternerende.

Hvis man vælger at plumbere boringen, skal man være opmærksom på, at alle lækager fjernes, også evt. skorstenseffekt. Dette vil ofte kræve en opboring/overboring i minimum samme dimension som den tidligere boring.

Samlet konklusion

Sammenfattende kan fremdrages følgende væsentlige konklusioner fra nærværende undersøgelser med hensyn til bidraget til BAM-forureningen fra utætte borer:

- Feltundersøgelserne viser, at der generelt registreres et problem med fejlbehæftede borer, men at utæthederne ofte spiller en underordnet rolle i forhold til magasinforureningen for BAM-indholdene i vandforsyningsboringer. Der er ofte et bidrag fra boringsbetingede lækager, men alene vil koncentrationerne i almindeligt ydende borer normalt være under grænseværdien, primært på grund af relativt svage BAM-koncentrationer i sekundært grundvand, sammenholdt med den ringe nedsivning og dermed den derved opståede fortynding. Det kan ikke udelukkes, at utæthederne kan spille større rolle for andre typer forureninger. Undersøgelsen af dette, ligger udenfor dette projekt
- I kortere indvindingsboringer på små BAM-forurenede vandværker vil utætte borer dog tilsyneladende kunne generere et problem i sig selv
- Udredningsprojektet (fase I) viser, at der potentielt er risiko for lækager som følge af boringskonstruktionerne på grund af boremetode, -udførelse, -udbygningsmetode og materialevalg
- Databasesøgningen viser, at der er tendens til at defekte borer har indflydelse som transportvej specielt i kortere borer
- Evalueringen af undersøgelsesmetoderne viser, at bearbejdning af eksisterende viden er meget vigtig for den videre undersøgelsesstrategi. Herudover kan de indirekte metoder kun i visse tilfælde være gavnlige, og altid i sammenhæng med direkte prøvetagningsmetoder
- Tilstedeværelse af en sand hypotese er vigtig for udførelse af de rigtige Afværgeforanstaltninger. Mange forsøg på renovering af borer har været spildt af samme årsag. Afværgepumpning og hydraulisk styring har i flere tilfælde vist sig at formindske koncentrationerne, dog har forsøg med kontinuert eller alternerende pumpning ikke kunnet påvise nogen forskel i BAM-koncentrationerne.

Summary and conclusions

Investigative studies

A study involving the investigation and evaluation of drilling techniques, well construction techniques and well construction materials used in the last century in connection with installation of water supply wells in Denmark was conducted. From this study it can be concluded that there are a number of risks that well leakages will occur and may result in contaminants being transported to the associated groundwater aquifers or to drinking water supply wells.

The wells may be divided into 5 categories, where types I – III are screened wells, while types IV and V are uncased, unscreened wells. Additionally, in type III wells the temporary casing is replaced with a permanent well casing. A more detailed description of the wells is found in section 2.3.

Leakages which present a risk to water supplies are primarily the following types:

- Vertical leakages along the casing
- Leaky casings
- Leaky casing connections
- Leaky casing heads and well covers
- Ineffective well closures

These leakages arise due to the following:

Vertical leaks along the casing

Vertical leakages along the permanent casing are often associated with the use of a boring tube fitted with a socket joint and a casing shoe, as these can create a channel along the casing. In particular, wells with the following characteristics have a high risk of vertical leakages along the casing: wells drilled without drilling fluid (for example using a cable tool or an auger), prior to 1960, where the drilling tube was used as the well casing, and where there was no grouting whatsoever (well types I and II). A similar risk of vertical leakages arises with uncased wells when the work casing is used as the permanent well casing in the upper impermeable layers (well types IV and V). The risk of contaminant influx associated with vertical leakages is greatest when drilling through a compact, cohesive layer. In contrast, the creation of new transport pathways arising from an increase in borehole diameter will only occur to a limited extent in permeable layers.

The risk of leakages in screened wells (type III wells) is closely linked to the presence and quality of the grouting material surrounding the casing. Grout was generally not used in this type of well construction prior to the 1980's. In cases where grout was used, it was often an unsuitable material. For example, from about 1975 – 1980 various grouting materials were used which, in many cases, resulted in the formation of preferential pathways through the grouting material.

Another risk of contaminant transport along the casing is associated with type III wells where the bentonite sealant has subsided. During auger drilling, cavities can form in the formations along the borehole. While these cavities are later backfilled, subsidence and the formation of vertical preferred pathways often occur. The subsidence associated with auger drilling is the result of improper bore pipe placement during drilling. In the case of rotary drilling, subsidence is primarily associated with insufficient removal of drilling mud and cuttings before well completion. Consequently, a re-bedding of the gravel pack can occur during backwashing causing the sealant to subside.

If the bentonite sealant does not have a suitable height, another problem can arise where the resistance against flow through the sealant is less than the resistance against flow through the surrounding layers. In some cases this error can be attributed to the fact that the standard minimum height of the sealant of 1 m is, under some circumstances, insufficient.

Finally, the sealant can be defective because the permanent casing diameter is too large relative to the borehole diameter making it impossible to seal the well properly.

It is evident from the above discussion that there are many situations which can lead to the creation of preferential pathways to supply wells. This problem is believed to be common. The significance of a leakage is determined by the hydraulic conditions in the vertical preferential pathways and consequently is strongly dependent upon the type of grout, including the placing method, placement and height. Likely, the significance of a leakage is also dependent upon conditions outside the well, for example depth to the aquifer (height of the borehole).

Leaky permanent casings

Corrosion of permanent steel casings would generally be expected 20 – 30 years after installation. Steel work casing was used as permanent well casing until about 1960, and thus, it can be expected that such wells have a high risk of leakage. In addition, it is possible that holes can occur in other casing materials especially in association with pump installation, etc.

The problem of leaky casings is believed to be common. The magnitude of the problem is dependent upon the size of the leakage and volume of inflow. Thus, in some cases, leaky casings may be a significant problem.

Leaky permanent casing connections

Transport of contaminants through leaky pipe connections is a problem which may potentially occur in all types of wells. Since 1975, connections between PVC pipes have been sealed with teflon tape and in some cases O-rings. However, investigations have shown that teflon tape can have the opposite effect if it is wound around a joint or pipe connection too many times. Socket joints attached with glue and screws, which were used mainly between 1965 – 1975, have an obvious risk of leakage in situations where the screws are screwed through the casing and later rust away. PVC pipe connections in casings are vulnerable to compressive force and thus, often leak. Connections in steel pipes can also leak, although this problem is not considered to be as widespread as that of leaky PVC and PEH connections. The latter problem has not been solved even in newly installed wells.

The problem of leaky casing connections is believed to be extremely common. The volume of inflow will, in most cases, be limited and with regard to BAM

contamination, the potential risk for contamination of water supplies will be less significant in production wells with a large extraction volume.

Leaky casing heads and well covers

Leaky well covers combined with a leaky casing head can lead to direct downflow from the surface into the well. Unintended inflow can also occur via leaky well covers, leaky connections in the concrete manhole ring, and accidental damage to the well construction during burial of underground cables. Inflow of surface water can also occur if the surface housing is placed near ground surface, etc.

The risk of surface water seeping into the well is high in situations where a leaky casing head is found and where the area around the well is backfilled with high permeable materials.

The risk of contamination associated with leaky casing heads and well covers is existing. However, in the majority of cases, only a minor effort is required to minimise this problem. Furthermore, surface water seepage into a well is often easily registered. The problem is believed to be largest in single production wells.

A second risk associated with casing heads arises in connection with sealed casing heads installed without ventilated flanges. Sealed casing heads are numerous because this practice can have a positive influence on the processes in the well so that less well maintenance is required. However, it is crucial that there are no leaks whatsoever, because the vacuum which is created when pumping starts will draw surrounding pore or groundwater through even the smallest holes into the well.

This problem probably exists in hermetically sealed wells, and may be common considering the frequency of leaky permanent casing connections. Inflow to supply wells from leakage in the case of hermetically sealed wells has the potential to be significant.

Ineffective well closures

Only wells which were closed after 1980 by means of filling them with a suitable material are believed to be effectively closed. Effective sealing materials were introduced first in 1980. Thus, the problem of unsealed abandoned wells has only been solved in wells closed after 1980 using suitable materials.

The risk of contamination via ineffectively closed wells is believed to be common. Many abandoned wells are located on water works sites, often close to in-use water supply wells, which is an unfortunate situation in terms of hydraulic gradients. Furthermore, in some cases an improperly closed well can act as a huge preferential pathway with the potential to contribute significant contamination to the near-well region of an aquifer.

In addition to the above descriptions of potential leakage situations, there are examples of short circuiting between various aquifers. This can occur when a single well is constructed with several screened intervals which are separated only by a casing with or without grout. This practice of multiple screened intervals within a single well was common in the past, but ought to be avoided due to the obvious risk for short circuiting between aquifers.

It should be noted that the types of leakages described can occur alone or in various combinations. The potential risk of contamination is increased in the latter case.

Database studies

GEUS's drilling records database was used to investigate whether there were general trends in terms of characteristics of BAM-contaminated wells, which could be used to deduce causal relationships between well characteristics and BAM contamination. The following can be concluded based on the database investigation:

- In shallow wells (30 m or less) there is a correlation between the age of the well and the BAM contamination (approximately 15% had a potentially critical age), possibly the effect of preferred pathways and leakages have a greater effect in shallow wells.
- In wells deeper than 30 m there is only a weak correlation between the age of the well and the BAM contamination (1.5%). This may be attributable to the well construction.
- In wells installed between 1975 and 1980, a large percent of the BAM contaminations was found in wells less than 30 m deep (25.5% of BAM finds). This may be attributable to the common practice of using duranite balls as a casing grout. It was later discovered that this product generates preferential flow pathways.
- There is no significant difference between BAM contamination in wells installed after 1980 which were equipped with some form of grout, compared to those which were not equipped with grout (regardless of the well depth). In contrast, no contamination was registered in wells where specific bentonite products were used as grout (in 115 wells). This suggests that bentonite grout is an effective sealant. There is however, no correlation between the sealant height and the frequency of contamination.
- A greater number of uncased, unscreened wells (well types IV and V) were contaminated compared to screened wells, however, this trend ceases in deep wells. The explanation for these observations is that the effect of preferential pathways is more noticeable in uncased wells and apparently more significant in shallow wells.
- There is a relationship between BAM contamination and the space available in the borehole for a suitable grout.

In general there is a relationship between the well construction and the potential for BAM contamination in shallow wells.

Field investigations

The following section presents conclusions from selected field studies and investigations which were reviewed as part of this project. The discussion focuses on well construction. Based on the field studies and field investigations the following conclusions can be made:

Generally, the contamination situation is complex, although the hypotheses regarding risk of contamination at the selected locations appear to be clear. In

many cases the well construction is flawed, but there are also contaminant contributions via other pathways.

Field investigations indicate that numerous, relatively new wells are flawed, particularly by leaky connections (where there are connections) and improperly placed sealant.

Prefix has not been used consistently at all water works, based on concentrations in soil samples taken at water works sites. It is not possible to make general comments regarding the delivery routine. The source of the contamination may in these cases be the water works itself. This theory ought to be investigated in specific field studies.

Tests performed in wells with leakage from casing connections reveal a decreasing inflow compared to what normally could be extracted during pumping of a water supply well. Estimates of the effects of preferential pathways, leaky casing heads as well as of improper well closures were determined and are summarised in table 1.

	Probable Leakage to the aquifer m ³ /yr	Dilution factor with a pumping rate of 10.000 m ³ /yr	Required concentration at inflow to produce a max. permissible value of (0,1 µg BAM / l) in the aquifer
From casing head	1-10	1.000-10.000	100-1.000 µg BAM/l
Through casing	1-50	200-10.000	20-1.000 µg BAM/l
Along the casing	1-1000	10-10.000	1-1.000 µg BAM/l
Improper well closure	1-1500		

Tabel 1. Probable leakage to the aquifer from leaky wells.

Table 1 illustrates that the leakages in a defective well will often be minimal relative to contamination of an aquifer with BAM. A contribution via a well-related leakage often occurs, but generally, under normal pumping rates, the BAM concentration in water supply wells is under the maximum permissible value. The explanation for the low concentrations is the low BAM concentration in the secondary groundwater as well as limited infiltration. During this project, BAM concentrations in the secondary groundwater seldom exceeded 1 µg/l and concentrations over 10 µg/l have never been seen in investigations. Thus, the above discussion demonstrates that BAM concentrations will be under the maximum permissible value regardless of the type of leakage, as long as normal pumping rates from a water supply well can be assumed.

At small water works, with lower rates of water extraction, and where operation may be discontinuous, leaky wells, particularly in association with preferential pathways, can lead to drinking water quality problems, if high BAM concentrations are present in the upper secondary groundwater. Experiments with continuous alternating operation indicate no apparent difference in the BAM concentrations in the contaminated wells. In these cases, the aquifer may be contaminated with BAM.

Leakages resulting from improper well closure may be the cause of significant BAM transport, especially considering the often unfortunate location of abandoned wells close to in-use water supply wells.

Water quality samples from a test well drilled into the secondary or primary aquifer and located directly upgradient from a contaminated well will often (if contamination is found) provide evidence as to whether the contaminant transport has been via leakages in a well or via the aquifer.

Unsuccessful attempts to renovate a defective boring may be attributable to an incorrect hypothesis regarding the source of contamination or its pathway(s).

Summarised results from water works well survey

The majority of the wells which were investigated were found to have some type of flaw. Evidence of defective well construction was registered in 144, or approximately 84% of the wells.

The majority of the leaky connections were found in type III wells (screened wells) (57%) and in PVC-cased wells (61%). The majority of holes were observed in type I and type II wells (wells where the temporary casing remains becomes permanent) (46%) and in wells where a steel pipe is used as the permanent casing (42%).

Conclusions derived from BAM investigations conducted as part of this project

Of the 27 completed investigations there is definite evidence of aquifer contamination at 13 locations. There are 8-9 locations with contaminant transport via both the well and the aquifer. Transport contamination which can be attributed exclusively to defective well construction was observed in only 2-3 investigations. It was not possible to determine the transport pathway in 3 investigations.

Significance of well leakages in relation to BAM transport

In the majority of cases, BAM concentrations in drinking water supply wells with any type of leak will be well under the maximum permissible value, assuming that the BAM concentrations in the secondary aquifer are normal and the pumping rate is normal. However, at small water works, where the pumping rates are lower or discontinuous, preferential pathways, etc. may cause problems, if high contaminant concentrations are present in the secondary groundwater. For example, it would be possible to find BAM concentrations exceeding the maximum permissible value (0.1 µg/l) in water extracted from a well under the following conditions: the well has an unsealed casing; the pumping rate is about 1 m³/h; due to the effect of preferential pathways along the outside of the casing, the hydraulic conductivity is equivalent to that of a medium-grained sand; and there is a minimum concentration of 8 - 10 µg BAM/l in the near-surface groundwater which is in physical contact with the well. If, however, the hydraulic conductivity of

the preferential pathways is equivalent to that of gravel, then a BAM concentration of only 0.5 – 1.0 µg BAM/l in the secondary groundwater in contact with the well is required before the maximum permissible value is exceeded in the well water. A situation like the first example would be rare because BAM is seldom present at these concentrations in the upper groundwater. While the BAM concentration levels are more realistic in the second example, the effect of preferential pathways of this magnitude is likely uncommon.

Evaluation of investigative methods as diagnostic tools

In the process of collecting data regarding well characteristics invaluable information was obtained which can be used to organise the subsequent well examination strategy.

TV inspection is normally a good tool to detect leaks. In cases of poor visibility, for example under the water table, only limited information can be retrieved. Furthermore, this method provides no indication of the volume of inflow. Pressure tests of the casing can test for leaks, but these tests are associated with practical problems and tests in old wells may lead to collapse of the casing.

Packers may be used to seal off an interval within a well and thereby obtain an estimate of the inflow via leakages. However, it is often difficult to maintain the pressure on the packers during testing. This is essential to ensure that any inflowing water during a test comes from leakages into the well, and is not well water flowing past poorly sealed packers.

While gamma logs are often used to verify the placement of the sealant, this type of borehole logging provides no information regarding the watertightness of the seal or the volume of inflow (if any). Conductivity logs can be used to supplement gamma logs, but the latter are not so widely used because they can give false signals in connections with iron screws, etc. Other types of borehole logging can be conducted, for example a caliber log (which logs the borehole dimensions), a flow log (which measures inflow), a resistivity log (which measures the geology in the screen section), a sonic log (attached to the casing). All these logging methods have the common characteristic that they are indirect and thus under normal circumstances they cannot be used alone, but must be considered as a supplement to water quality samples.

Multi-level water quality sampling is the most effective and precise method to determine from which level contaminated water is entering the well. Great care is required with this type of testing to obtain representative samples and thus, a correct interpretation of the hydraulic and contaminant situation. This requires the use of 2 or more pumps. Additional tools such as flow logs, packers and heat pulse probes can be used to ascertain the correct levels for sampling. Water samples of the annulus water in the casing can be used to

determine the inflow contribution from leakages in the casing. In addition to BAM analyses, it would be expedient to analyse water samples for other parameters which are characteristic of surface water. Leakages on the outside of the casing can be determined by taking a water sample at the top of the screen pipe. There can be uncertainty as to the source of contamination when samples are taken at the top of the screen pipe. Contaminants could be transported down along the casing via vertical preferred pathways to the well or the source can be near-well aquifer contamination, or a combination of the two. The source can be definitively determined by long term separation pumping where numerous water samples from specific levels within the well are taken over a longer period. If representative water samples from the middle or bottom of the screened interval are taken during the same pumping period, information can be obtained regarding the inflow from the formation from more distant contaminant sources.

CFC dating can be used to estimate the risk of BAM contamination of a groundwater aquifer via natural infiltration or via well leakages where groundwater is mixed in the well with younger, near-surface groundwater. In cases of short circuiting involving younger groundwater, the estimated age of groundwater at the depth of the screen will normally not be representative of the known groundwater age at that depth. There are, however, process and factors which can affect dating results, and thus there are a number of uncertainties associated with this diagnostic tool. These reservations must be considered and overanalysis of CFC dating results should be avoided.

Information obtained from investigations inside the well can be verified by conducting investigations outside the well. Test wells drilled into the secondary or primary aquifer and located upgradient from the contaminated well provide water samples which can determine whether the source of contamination is related to leakages in the well, or to contamination in the aquifer. Analysis of near-surface soil samples for dichlobenil and BAM are other types of analyses which ought to have a high priority.

Reclamation of wells and remediation techniques

If well improvements are to have an effect on the water quality it is necessary to definitively establish the true cause(s) of the water quality problem before any attempt is made to reclaim the well. In many cases a contaminated well will continue to be so if remediation attempts are based on flawed or incorrect investigation conclusions. Clearly, renovation of a well will have no effect unless the most important contaminant transport pathways are closed.

To ensure that other wells do not become contaminated, it is often necessary to continue to control the hydraulic behaviour at the site via pump and treat and to continue to monitor the site after wells are reconditioned. Experiments with various pumping scenarios in areas with contaminated aquifers were unable to demonstrate a change in BAM concentrations regardless of whether pumping was continuous or alternating.

If a decision is made to seal a well, it is necessary to seal all leakages, as well as any preferential pathways. This will often require that the well is re-drilled or over-drilled at least to the same dimensions as the original well.

Conclusions

In summary, the following main conclusions regarding BAM contamination via leaky wells can be made based on the investigations discussed in this report:

- Field studies indicate that, in general, there is a problem with defective wells. However, BAM contamination of water supply wells via leakages in wells is often minor in comparison to BAM concentrations in contaminated aquifers. Although leakages contribute to BAM contamination, the concentrations in a normally pumped well will generally not exceed the maximum permissible value, primarily due to the relatively low BAM concentrations in the secondary groundwater, the limited infiltration and thus, the dilution of the BAM concentrations with uncontaminated water. It is possible that leakages may have a more significant effect on water quality if other contaminants are considered. However, this type of investigation lies outside the realm of this project.
- In shallow production wells at small, BAM-contaminated water works leakages will probably only generate a problem in that specific well.
- The investigative work regarding drilling techniques, well construction techniques and well installation materials revealed that there is a potential risk for leakages due to the well construction and problems associated with drilling techniques, the drilling process, installation methods, and the choice of materials.
- The database study revealed a trend where defective wells affect the transport pathways of contaminants, particularly in shallow wells.
- Evaluation of well examination methods indicated that an analysis of the existing knowledge regarding well characteristics and contamination is an important step in determining a strategy for further investigations. Furthermore, indirect methods can provide useful information only in certain situations. Indirect investigation methods must always be used in connection with direct sampling methods.
- The existence of an accurate hypothesis regarding the source of contamination and its pathway(s) is crucial to a successful remediation programme. Many attempts at well reclamation have failed for this very reason. Hydraulic control at a site via remedial pumping have been shown in several cases to reduce contaminant concentrations, although experiments with continuous or alternating pumping were unable to demonstrate a change in BAM concentrations.

1 Indledning

1.1 Baggrund

Der er udført vidensopsamling og undersøgelser vedrørende utætte borer.

Nærværende arbejde skal ses som en del af et samlet projekt, hvor andre delelementer indgår. Miljø & Ressourcer, DTU, har udført feltundersøgelser samt detailstudier vedrørende sorption og nedbrydning af dichlobenil og BAM. Geologisk Institut, KU, har udført varighedsanalyser ved model-simuleringer. Danmarks JordbrugsForskning, Flakkebjerg, har forestået analysearbejdet i forbindelse med feltundersøgelser.

Problematikken omkring transporten via utætte borer er søgt kortlagt ved udførelse af undersøgelser på udvalgte vandværker. Herudover er der i andet regi udført undersøgelser. Disse undersøgelser er så vidt muligt inddraget i arbejdet med henblik på generelt at få et så dækkende billede som muligt overfor BAM-problematikken. Der er for den del indhentet undersøgelsesresultater af varierende karakter fra ca. 170 indvindingsboringer fra hele landet.

1.2 Formål

1.2.1 Det samlede projekt

Igangsættelse af projektet, Pesticider og Vandværker, har haft formålet at medvirke til at udfylde rammerne i pesticidaftalen. Projektets formål er at vurdere under hvilke geologiske forhold pesticidforurening forekommer og hvilke typer af borer, der kan være udsat for forurening med pesticider. Miljøstyrelsen har defineret projektet til specifikt at omhandle forurening af vandværksboringer med 2,6-dichlorbenzamid (BAM), idet BAM til dato er det pesticid, der har forurennet flest vandværksboringer i Danmark.

Der skal foretages en udredning af kilder og forureningens transportveje fra kilde til grundvand. Der foretages på baggrund heraf en vurdering af varigheden af BAM-forurening under forskellige geologiske forhold, således at der kan gives et bud på hvor længe problemet vil forekomme efter man er ophørt med brug af midlerne Prefix og Casoron. På baggrund af de indhentede erfaringer er der udarbejdet en vejledning til brug for større og mindre vandværker for håndtering af pesticidforurening og for hvilke afhjælpende foranstaltninger, der kan foretages.

1.2.2 Nærværende delprojekt

Dette delprojekts formål er at foretage en udredning af forureningsforholdene og problemet med hensyn til BAM specifikt relateret til vandværksboringer. Konstruktionsbetingede lækagetyper og deres betydning for forureningstransporten søges kortlagt. Herudover er metoderne til diagnosticering evalueret.

2 Udredning af konstruktionsbetingede transportveje og deres potentielle betydning

2.1 Regler for udførelse, indretning og sløjfning af vandindvindingsanlæg

Adgangen til drikkevand af god kvalitet er af vital interesse for ethvert samfund. Brønde og borer skal derfor udføres på en sådan måde, at en eventuel forurening i omgivelserne ikke fører til forurening af det producerede drikkevand. Dette indebærer, at borer og brønde skal udføres således, at forurenende stoffer i omgivelserne ikke:

- får adgang til de grundsvandsreservoirer, hvorfra drikkevandet produceres
- forurener grundvandet, medens det befinder sig i boringen eller brønden, eller medens det pumpes op.

Udførelsen af borer og brønde til vandindvinding har i tidens løb været reguleret af en række love, bekendtgørelser, cirkulærer, vejledninger og normer. På bilag 8.1 er givet en oversigt over de vigtigste af disse bestemmelser gennem de sidste 75 år.

Indtil Dansk Ingeniørforenings normer DS 441 og DS 442 fremkom i 1978 blev borer og brønde udført i henhold til almindelig anerkendt praksis. Brøndboreren udførte sit borearbejde og sine boreinstallationer på grundlag af det, han havde lært af andre brøndborere, og på basis af sine egne indhøstede erfaringer, som i bedste fald blev suppleret med vejledning fra kurser afholdt i Dansk Ingeniørforenings eller Dansk vandteknisk forenings regi.

I 1980 skete der noget vigtigt. Da kom Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 4 af 4. januar 1980 - i daglig tale benævnt "Brøndborerbekendtgørelsen" - der blev uddybet i Miljøministeriets cirkulære af 28. februar 1980 om udførelse af borer efter grundvand. Dermed fik brøndboreren og tilsynsmyndigheden et vigtigt "værktøj" i hænde til at sikre, at de danske lovkrav på området blev opfyldt.

Der er netop udsendt en ny "Bekendtgørelse om udførelse og sløjfning af borer og brønde på land", hvor der er rettet op på nogle af de utilstrækkeligheder, der findes i den gamle bekendtgørelse, med hensyn til at minimere forureningsrisici. Herudover er der - nok så væsentligt - netop sat ind med en uddannelse af brøndborere og disses medarbejdere med det formål, at sikre, at de gode intentioner i de forskellige bestemmelser ikke tilsidesættes utilsigtet i det daglige arbejde.

2.2 Boremetoder og deres indflydelse på boringsbetinget transport

Når der i Danmark skal udføres boringer, kan der blive tale om at gennembore såvel løssjord (ler, sand, moræne, etc.) som bløde bjergarter (kridt og kalk). I den følgende fremstilling vil betegnelsen "materialet" blive brugt som fællesbetegnelse for løssjord og bløde bjergarter.

Under boringens udførelse skal følgende forhold tilgodeses:

- Materialet skal bores løs fra de intakte aflejringer, efterhånden som boringen uddybes.
- Det løsborede materiale skal transporteres op til terræn
- Stabiliteten af borehullet skal bevares i takt med boringens uddybning.

Valg af boremetode er afhængig af:

- hvilken type materiale (løssjord eller bjergart), der skal bores i
- boringens formål
- den ønskede diameter og dybde for borehullet

Traditionelt inddeles boremetoderne i to hovedgrupper. De er betegnet ved det princip, hvorefter det løsborede materiale transporteres op til terræn fra borehullets bund. Det drejer sig om:

- tørboring, hvor materialet transporteres mekanisk op ved hjælp af det anvendte boreredskab
- skylleboring, hvor materialet transporteres op med en væske eller luftstrøm.

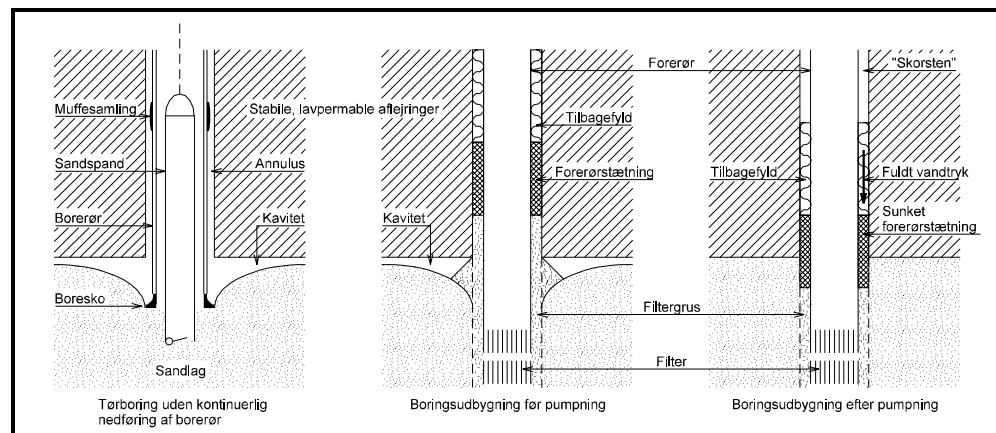
I Danmark var tørboringsteknikken tidligere den mest anvendte boremetode til udførelse af drikkevandsboringer. I perioden 1970-75 blev anvendelsen af skylleboringsteknik mere og mere almindelig, og den er nu den mest anvendte boremetode.

2.2.1 Tørboring

Betegnelsen tørboring kræver en præcisering. Der er som ovenfor omtalt tale om, at det løsborede materiale transporteres mekanisk op til terræn - der bruges ikke som ved skylleboring vand eller et andet cirkulationsmedie hertil.

Til trods for betegnelsen tørboring kan der imidlertid godt stå vand i borehullet under borearbejdet ved en tørboring. Faktisk er det nødvendigt, at der står vand i borehullet for at det mest anvendte tørboreredskab - sandspanden - kan fungere hensigtsmæssigt. Når der bores i vandførende lag af sten, grus og sand, kan det ligeledes være nødvendigt at tilsætte vand til boringen for at opretholde et vandspejl i borehullet i et højere niveau end vandspejlet i det materiale, der bores i. Årsagen hertil er, at det ellers ikke vil være muligt at undgå erosion, som kan føre sten, grus og sand fra det omgivende materiale ind i borehullet.

Når der ved tørboring bores igennem vandførende lag, er det nødvendigt at stabilisere boringens væg ved at føre det borerør, som under borearbejdet anvendes som arbejdsrør, ned i takt med boringens uddybning. Hvis dette ikke gøres, vil der under mindre erosionsfølsomme lag af ler kunne opstå



Figur 2.1. Niveaueændring af forerørstætninger som følge af opstået kavitæt ved tørboring type III, jf. afsnit 2.2.

hulrum (kaviteter), og i sandlag vil lejringsen i det materiale, som omgiver boringen, kunne løsne sig, jf. figur 2.1. Sådanne forhold vil senere kunne resultere i nedsynkning ("skorstensdannelse") af det filtergrus og forerørstætningsmateriale, som indbygges i boringen, og dette vil igen kunne føre til en reduktion af boringens ydelse. Herudover vil der kunne opstå lodrette transportveje i boringen, som vil kunne føre til udbredelse af en eventuel forurening igennem de ikke vandproducerende jordlag.

Anvendelsen af borerør kan være midlertidig til at sikre et åbent borehul, medens boringen udbygges med filtre, forerør og forerørstætninger. Anvendelsen af borerør kan imidlertid også være permanent, idet borerørene kan indgå som en integreret del af den færdige boring i form af et permanent forerør.

Før ca. 1950 blev borerørene rokket ned med håndkraft eller rammet ned med en faldvægt ophængt i boreudstyret. Derefter begyndte man at bruge hydrauliske donkrafte til nedpresning af borerørene, og fra ca. 1965 blev det ved bøndboring almindeligt at anvende kombinationsrørbevægere, hvorved borerøret blev nedbragt ved såvel rotation som nedpresning.

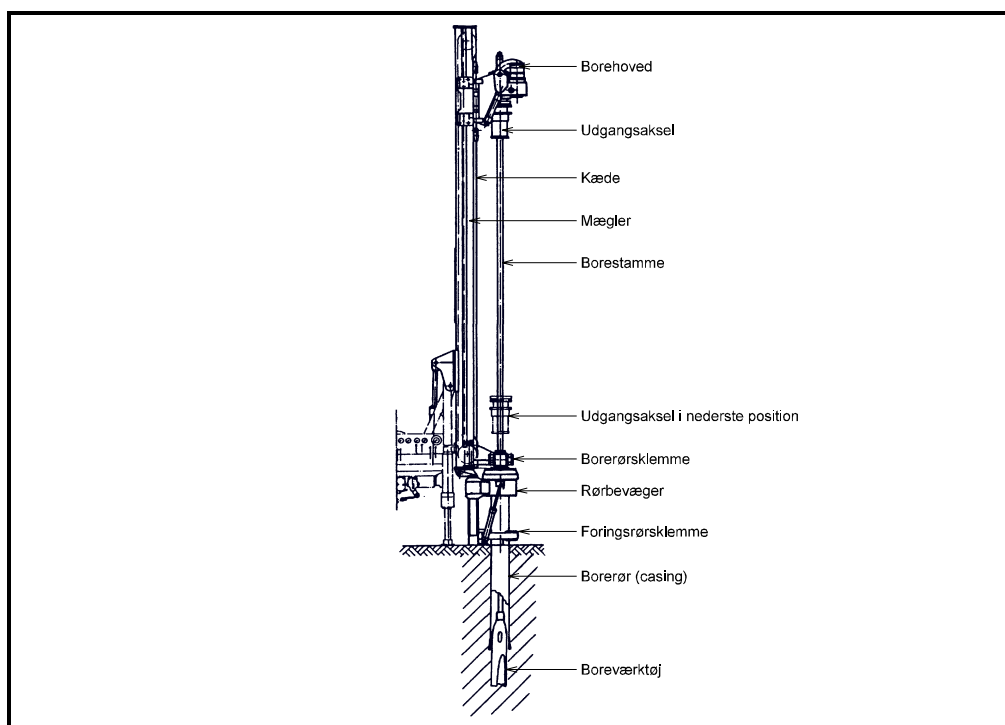
For vandforsyningsboringer udført før ca. 1960 kan man derfor ikke forvente, at borerørenes nedbringning er sket i takt med boringens uddybning. Dermed har man ikke kunnet undgå at opbore mere materiale end svarende til det færdige boringsvolumen. Som illustreret på figur 2.1 har man sandsynligvis endog senere og formentlig frem til det tidspunkt, hvor tørboring blev afløst af skylleboring, i mange tilfælde opboret for meget materiale fra sandlag med kavitetsdannelse til følge. Dette hænger sammen med, at man har udnyttet bunderosion i borehullet til at lette nedbringelsen af borerørene, og dette er sket, uden at man har været opmærksom på de senere konsekvenser i form af "skorstensdannelse" mv.

Ved tørboringer kan boreredskabet enten være stanghåndteret eller wirehåndteret. Ved stanghåndterede boreredskaber bruges betegnelsen

tørrotationsboring, medens der bruges betegnelse slagboring ved wirehåndteret boreredskab.

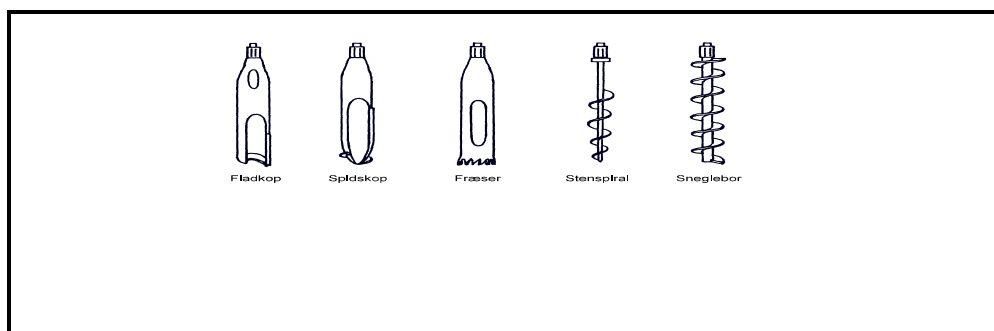
2.2.2 Stanghåndteret tørboring

Figur 2.2 viser princippet ved udførelse af en stanghåndteret tørboring (rotationstørboring) med nedføring af borerør.



Figur 2.2. Borerig til foret, tør rotationsboring.

Figur 2.3 viser de oftest anvendte stanghåndterede tørboringsredskaber: fladkop, spidskop, fræser og snegl.



Figur 2.3. Boreværktøjer til tør rotationsboring

Boreredskaberne fladkop, spidskop og snegl har, hvad udformningen angår, ikke ændret sig væsentligt gennem de sidste mange hundrede år. Fræseren kan kun anvendes i forbindelse med hydraulisk rotation, og den bruges til at komme igennem meget faste aflejringer eller sten.

Ved vandforsyningsboringer bruges stanghåndteret tørboring (tørrotationsboring) normalt kun til at etablere boringen i de øvre aflejringer over grundvandsspejlet, herunder går man så over til at anvende slagboring med wire eller skylleboring. I visse tilfælde kan det dog også være

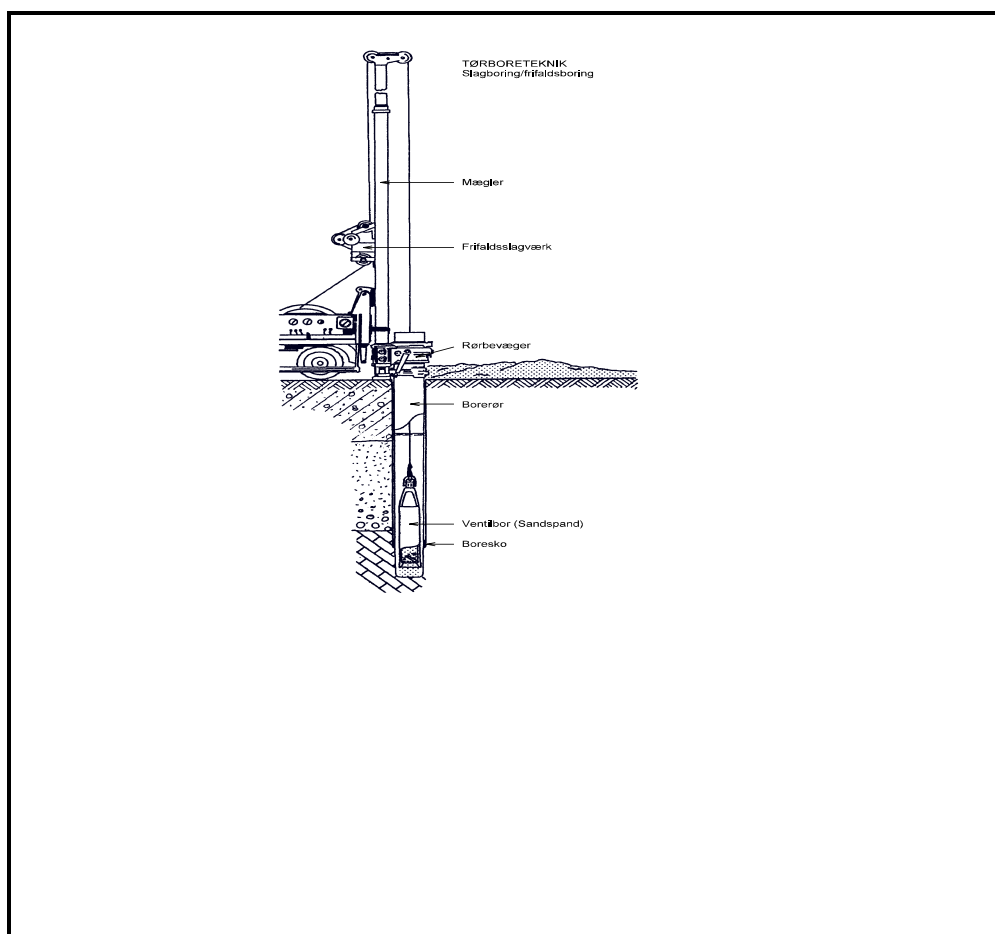
hensigtsmæssigt at anvende stanghåndteret tørboringssteknik til at gennembore fede lerlag dybere i profilet.

Ved at rotere og nedpresse borestængerne løsbores og samles materialet i eller på det boreværktøj, som er monteret under den nederste borestang. Borestængerne blev tidligere roteret med håndkraft, men det sker nu ved hjælp af et hydraulisk drevet aggregat. Når materialet er boret løst, trækkes borestængerne op, og materialet fjernes fra boreredskabet.

Når borerørene anvendes som permanent foring i et borehul udført i overstørrelse, er den største risiko for at etablere forureningsveje ved stanghåndteret tørboring en følge af, at borerørene under borearbejdet ikke altid er blevet drejet eller presset langt nok ned til at følge boreredskabernes uddybning af boringen med hulrumsdannelse omkring borerørene til følge.

2.2.3 Slagboring med wire

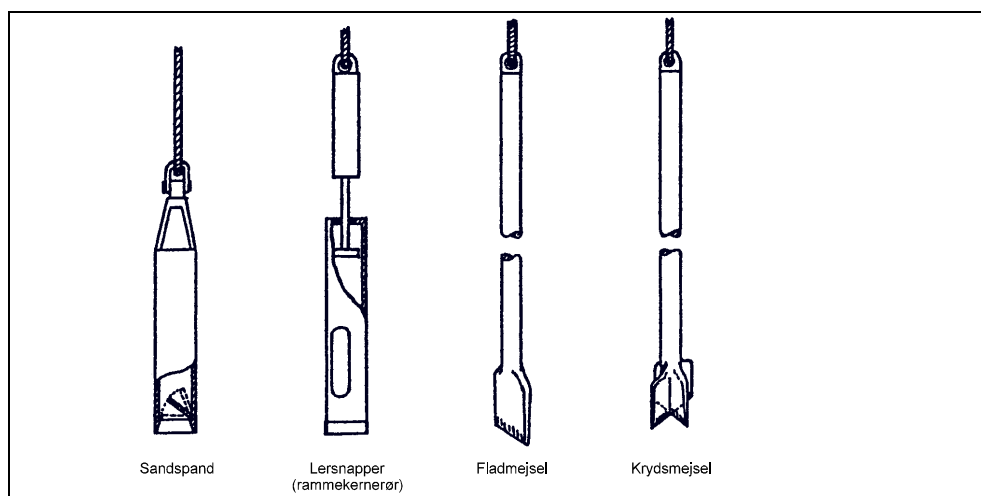
Principperne i en moderne slagboring med wirehåndteret sandspand er vist på figur 2.4. Figuren viser samtidig, hvordan borerøret føres ned, således at borehulsvæggen stabiliseres og væsketabet til den permeable del af lagfølgen reduceres.



Figur 2.4. Borerig til slagboring

Figur 2.5 viser de almindeligt anvendte slagboreværktøjer: sandspand, lersnapper og faldmejsel. Såvel sandspanden som lersnapperen anvendes dels

som boreværktøj til at uddybe boringen, dels til at transportere materiale op til terræn. Herudover kan sandspanden anvendes til at transportere det materiale op til terræn, som ved boring i hårde aflejringer først er nedknust med en faldmejsel - enten fladmejsel eller krydsmejsel.



Figur 2.5. Boreværktøjer til slagboring

Såfremt nedpresningen af borerøret ikke nøje følger boreredskabernes uddybning af boringens bund, opstår der en risiko for, at der dannes hulrum under mindre erosionsfølsomme lerlag, hvilket igen kan føre til dannelse af vertikale transportveje med forurening til følge - jf. figur 2.1.

Før 1970-75 blev hovedparten af vandforsyningsboringer udført ved slagboring, hvor den vertikale bevægelse af boreredskabet skete ved hjælp af spilkop, fritfaldsspil, eller hydraulisk roterende krumtap med hjul eller hydraulisk stempel. Denne teknik anvendes fortsat, når der skal udføres boringer i materiale med meget høj permeabilitet, hvor skylleboringsteknik vil komme til kort, fordi der tabes for meget skyllemidie (vand eller boremudder) til de omgivende jordlag.

2.2.4 Skylleboring

2.2.4.1 Generelt

Skylleboring er karakteriseret ved, at borehullet etableres ved hjælp af et skyllemidie, som kan være vand, boremudder eller luft. Skyllemidiet udnyttes såvel ved løsboringen af materiale i boringens bund som ved transport af det løsborede materiale til terræn. Den rette benævnelse for metoden er rotationsskylleboremetoden, idet materialet i boringens bund bores løs ved rotation af en rullemejsel.

Skylleboremetoden er hurtig og effektiv, fordi der ikke jævnligt skal trækkes borestænger op for at fjerne det løsborede materiale fra boreværktøjet. Metodens hurtighed skyldes endvidere, at skyllemidlet stabiliserer boringsvæggen, således at det kun under særlige omstændigheder er nødvendigt at nedføre borerør. Dette gælder specielt, hvis skyllemidlet er boremudder, men stabiliseringen gør sig også gældende, hvis skyllemidlet er vand. Ved boreprocessens begyndelse er det hensigtsmæssigt at stabilisere de øverste løssjordaflejringer med et kort borerør - et standrør. Endvidere anvendes der her et indbygget T-stykke til at regulere strømningsretningen for skyllemidlet.

Skylleboremetoden er på grund af dens hurtighed og effektivitet den mest anvendte boreteknik i verden i dag. Dens udvikling er ikke mindst sket i forbindelse med dens brug ved olie- og gasindvinding. Siden 1970-75 har den vundet indpas som den mest anvendte metode til udførelse af vandforsyningsboringer i Danmark.

2.2.4.2 *Skyllemediet*

Som skyllemedie ved skylleboring kan anvendes vand, boremudder eller luft. De følgende betragtninger retter sig primært mod anvendelse af boremudder som skyllemiddel.

Skyllemidlets evne til at fjerne løsboret materiale - også kaldet cuttings - fra boringens bund er afhængig af to faktorer:

- skyllemidlets strømningshastighed
- skyllemidlets egenskaber, primært viskositet og massefylde

Skyllemidlet anvendes med henblik på følgende tre forhold:

- at afbalancere poretrykket i jordlagene omkring boringen for at hindre strømning fra disse jordlag ind i borehullet med erosion af boringsvæggen til følge
- at afsætte en tynd impermeabel hinde - en såkaldt filterkage - på boringsvæggen for dels at hindre tab af skyllemedie, dels at hindre tilstopning og forurening af permeable jordlag omkring borehullet
- at stabilisere borehullet og hindre, at der sker sammenstyrtning af dette.

Når boremudder anvendes som skyllemedie, reguleres dets egenskaber ved at variere tilsætningen af følgende additiver:

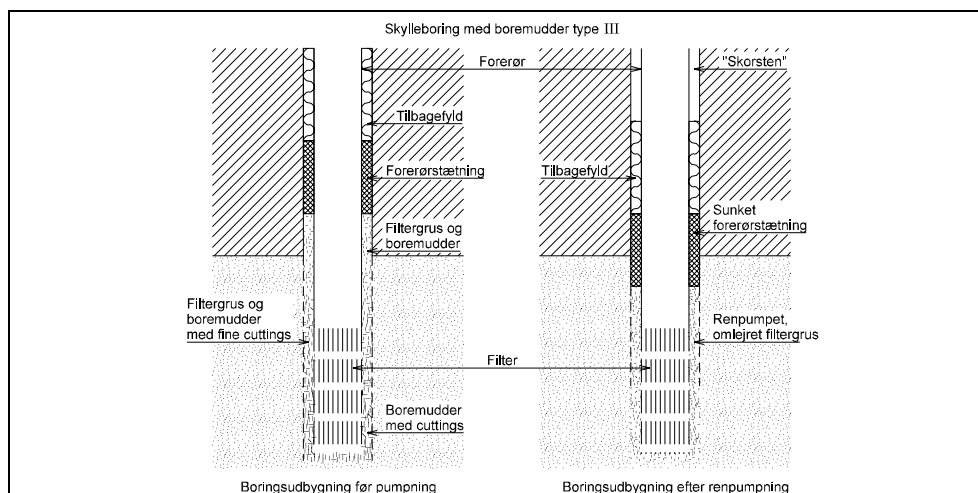
- bentonit og polymer for at regulere boremudders vægt, viskositet og evne til at danne en effektiv filterkage
- stoffer med stor vægt, f.eks. bariumsulfat, med henblik på at øge boremudders rumvægt og dermed opnå den nødvendige afbalancering af poretrykket i de omgivende jordlag.

Ved en given strømningshastighed afgør boremudders viskositet og rumvægt dets evne til at bære og løfte løsboret materiale til terræn. Transportevnen forøges med øget viskositet, rumvægt og strømningshastighed.

Grænserne for hvor meget løsboret materiale, der kan transporteres til terræn pr. tidsenhed, afgøres foruden af boremudders fysiske egenskaber af pumpekapaciteten samt af de hydrauliske modstande i de rør, ventiler, etc., som boremuddret skal strømme igennem. Hvis pumpekapaciteten ikke er tilstrækkelig, søges dette normalt kompenseret ved at forøge boremudders viskositet.

Der er dog en øvre grænse for, hvor meget boremudders viskositet kan forøges, hvis man, som det normalt er tilfældet, ønsker at recirkulere og genanvende det. Ved højere viskositet bliver det vanskeligere at fjerne løsboret materiale fra boremuddret ved at lade det løbe igennem i et separationsbassin. Det kan derfor blive nødvendigt at rense boremudder med høj viskositet for løsboret materiale ved hjælp af sådanne mekaniske midler

som cykloner eller centrifuger. Hvis der ikke sker en sådan rensning, vil konsekvensen være, at boremudder med et højt indhold af løsboret materiale recirkuleres i boringen.



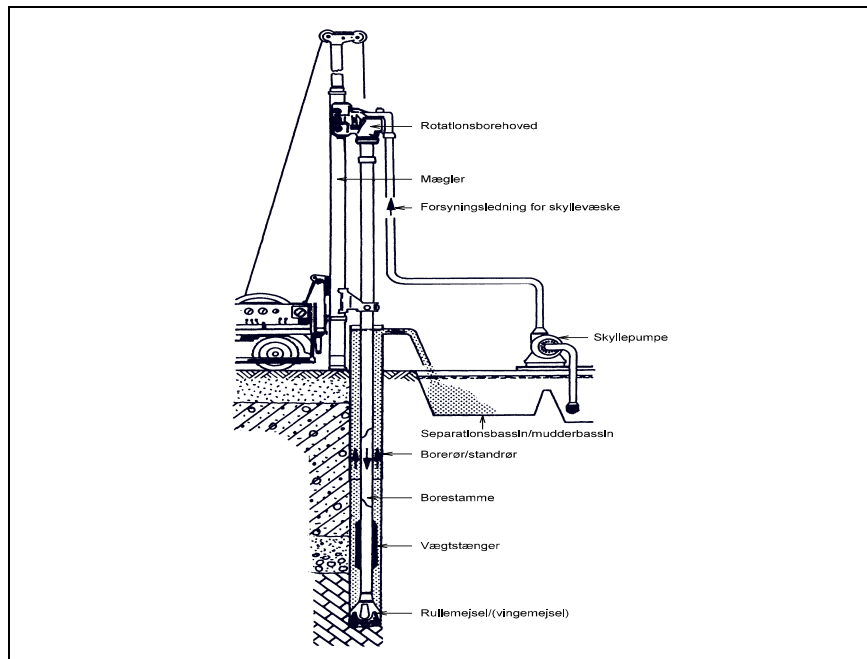
Figur 2.6. Niveauændring af forerørstætning som følge af manglende oprensning

Når borearbejdet er færdigt, er det vigtigt, at det boremudder, som bliver stående i borehullet, ikke indeholder løsboret materiale, da dette i givet fald vil sedimentere i borehullets dybe del, inden boringens filter når at blive installeret.

Dette er illustreret til venstre på figur 2.6; til højre er det illustreret, hvordan der ved den følgende renpumpning af filterkonstruktionen fjernes løsboret materiale, således at gruskastningen omlejres til at fylde et mindre volumen. Dette indebærer risiko for forskydning af niveauet for forerørstætningen med risiko for, at der sker "skorstensdannelse" og opstår forureningsveje, som ikke nødvendigvis registreres under arbejdet med at sætte boringen i drift. Det er derfor vigtigt at cirkulere boremudder i boringen ved dennes afslutning i så lang tid, at man er sikker på, at det til sidst er frit for løsboret materiale.

2.2.4.3 Direkte skylning

Figur 2.7 viser en principskitse af den direkte skylleboringsteknik. Ved rotationsskylleboring med direkte skylning løsbøres materialet i boringens bund med en borekrone - kaldet en mejsel - som roteres samtidig med, at den påvirkes med en lodret kraft. Der findes forskellige typer af mejsler, som anvendes alt efter arten af det materiale, som skal gennembøres. Rotationen og den lodrette kraft overføres til mejslen gennem borestænger, der øverst er forbundet til en rotationsenhed ophængt i boreriggens mægler. For at øge den lodrette kraft kan der på borestængerne hænges vægte - såkaldte vægtstænger.

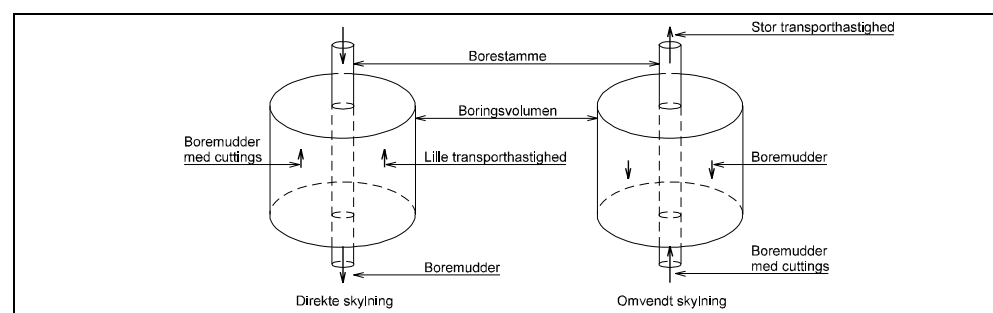


Figur 2.7. Borerig til direkte skylning

Løsboret materiale fjernes løbende fra boringens bund ved skylning med boremudder. Dette pumpes ned gennem borestammen, som udgøres af bore- og vægtstængerne og ud gennem mejslen. Boremuddet vil så blive blandet op med løsboret materiale og vil derefter blive trykket op til terræn gennem ringvolumenet mellem borestammen og borehulsvæggen. Ved terræn renses boremuddet for løsboret materialet ved, at det bliver ledt gennem et separationsbassin, før det bliver recirkuleret.

2.2.4.4 Omvendt skylning

Ved udførelse af vandforsyningsboringer med borehulsdiametre op til ca. 300 mm anvendtes i Danmark indtil omkring 1980 hovedsageligt rotationsskylleboringer baseret på direkte skylning. På dette tidspunkt opstod der imidlertid ønske om at udføre boringer med større borehulsdiameter. Det var imidlertid vanskeligt at opnå den hastighed af boremuddet i ringvolumenet mellem boringsvæggen og borestammen, som var nødvendig for at transportere løsboret materiale op til terræn. Problemet blev løst ved at gå over til at udføre rotationsskylleboringer ved omvendt skylning, hvilket indebærer at boremuddets strømningsretning er vendt i forhold til retningen ved direkte skylleboreteteknik. Forskellen mellem direkte skylning og omvendt skylning er illustreret på figur 2.8.

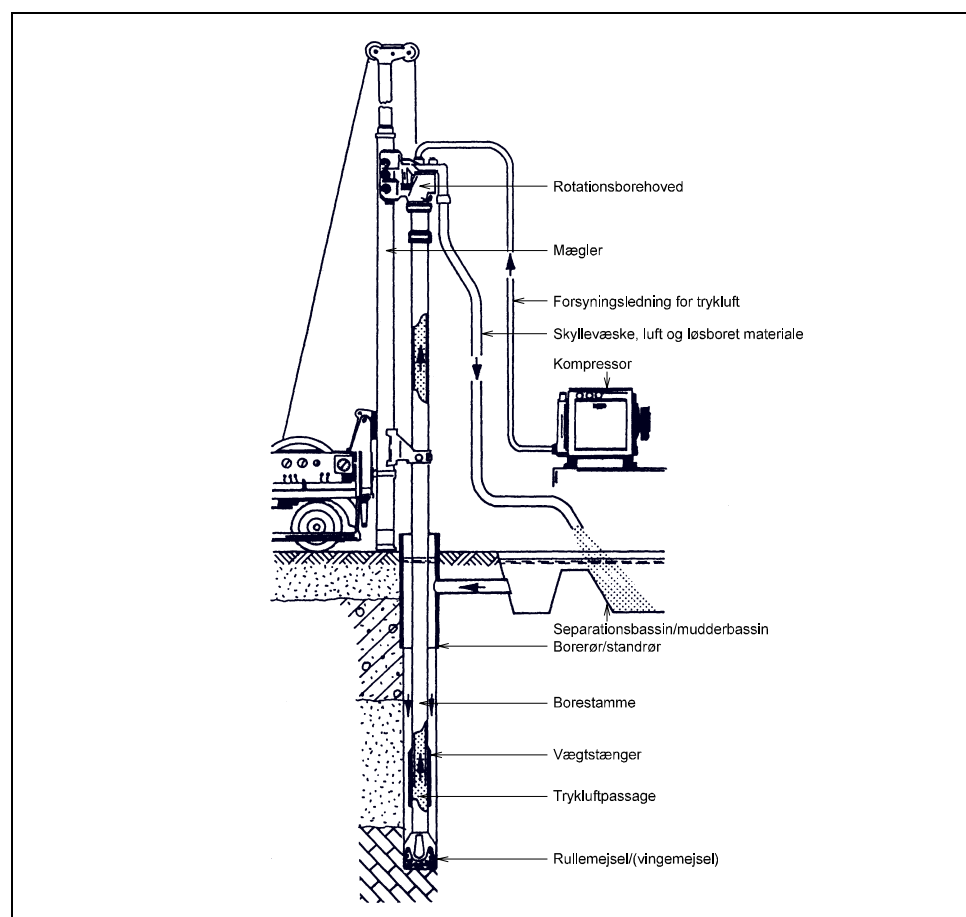


Figur 2.8. Transporthastigheder for løsboret materiale

Boremudderet løber ved omvendt skylning fra mudderbassinet ned i ringvolumenet mellem borehullets væg og borestammen og gennem mejslen ind i borestammen, hvorfra det sammen med det løsborede materiale bringes op til terræn ved en pumpevirkning, der er påført borestammen. Da strømningstværsnittet inde i borestammen er lille, kan der selv med en relativt lille pumpekapacitet opnås en stor opadgående strømningshastighed. Boremudderets evne til at transportere løsboret materiale bliver hermed uafhængig af selve borehullets diameter. Kravene til boremudderets viskositet kan derfor reduceres i forhold til det, der er nødvendigt ved direkte skylning, og den reducerede strømningshastighed i ringvolumenet mindsker erosionen af borehullets væg.

Det reducerede krav til boremudderets viskositet medfører, at det bliver lettere at sedimentere det løsborede materiale ved terræn. Samtidig bliver det lettere at reducere indholdet af løsboret materiale i det boremudder, som findes i borehullet ved boringens afslutning. Herved mindskes risikoen for, at manglende oprensning skal medføre dårlig kvalitet af eventuelle grusfiltre.

Ved omvendt skylning kan pumpeeffekten påføres borestammens top ved at forbinde denne med en cirkulationspumpe med den nødvendige sugekapacitet. En anden mulighed er at forbinde en centrifugalpumpes trykside med en injektor, som er placeret ved skyllestrømmens afgang fra rotationsborehovedet. Den rotationsskylleboret teknik med omvendt skylning, der oftest anvendes i Danmark, er lufthæveboret teknikken, som er illustreret på figur 2.9.

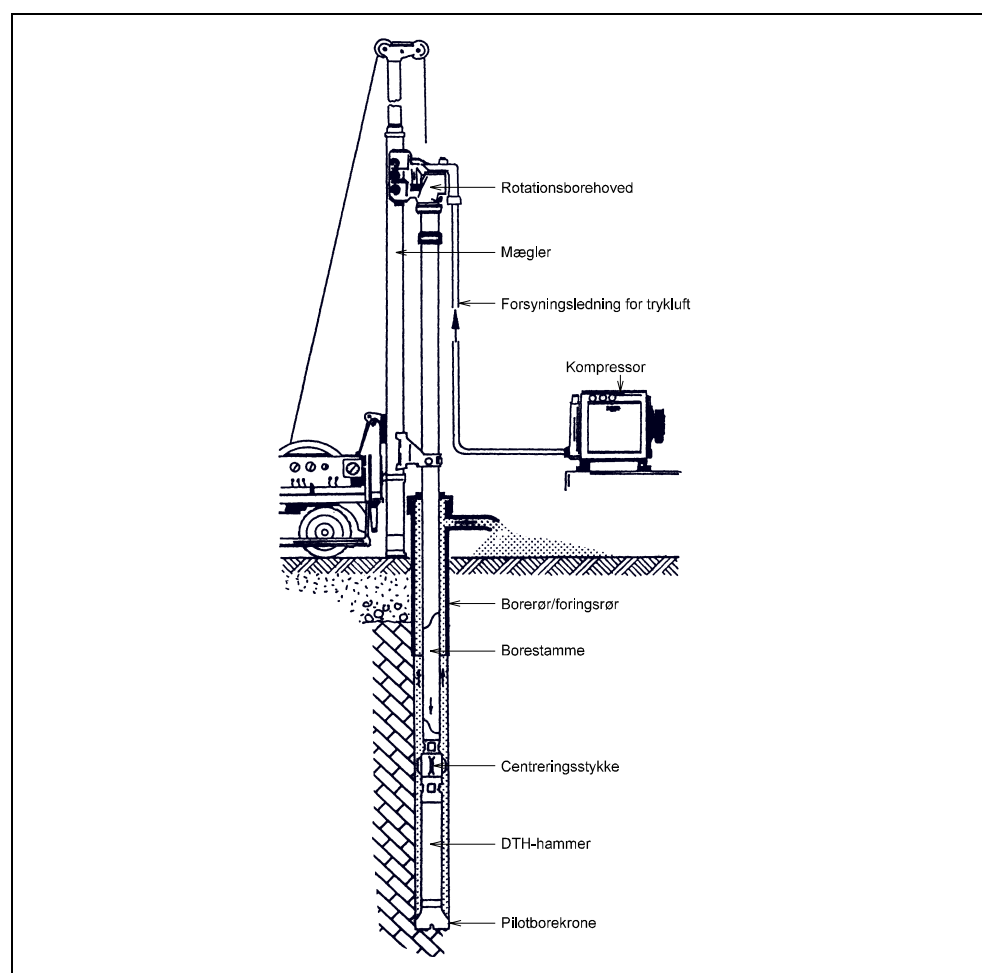


Figur 2.9. Borerig til lufthæveskylning

Princippet er her at opnå, at cirkulationen af boremudder med løsboret materiale op gennem borestammen sker med tilstrækkelig stor hastighed ved at introducere trykluft i borestammens nedre del. Forskellen i tryk ved boringens bund mellem borestammens luftindblandede boremudder og boremuddersøjlen i ringvolumenet er i væsentlig grad med til at øge strømningshastigheden op gennem borestammen. Dette bidrag øges tilmed med borehullets dybde, hvilket er det modsatte af forholdet ved direkte skylning.

2.2.4.5 Trykluftboring

Figur 2.10 viser en principskitse for udførelse af en trykluftboring ved anvendelse af DTH-hammer.



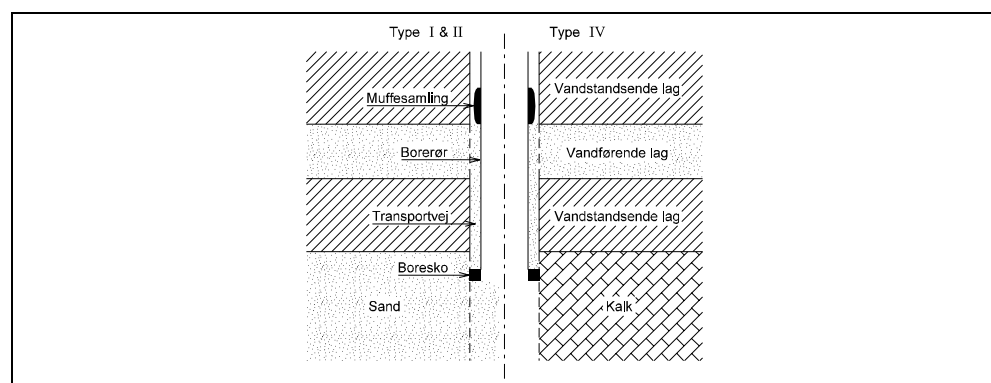
Figur 2.10. Borerig til trykluftboring med DTH-teknik

Trykluftboring er en speciel form for rotationsskylleboring, hvor en tryklufthammer med påmonteret mejsler bruges til at knuse det materiale, der bores i, og hvor tryklften bruges som medie til at transportere løsboret materiale fra boringens bund op til terræn. Tryklufthammeren kan være monteret på toppen af borestammen, men er som oftest placeret i forbindelse med boremejslen ved bunden af boringen. Udstyret kaldes da DTH-udstyr, hvilket står for Down The Hole. DTH-hammeren er i princippet en cylinder med et stempel, der slår på boremejslen ved hjælp af lufttryk, som reguleres ved ventiler og sluser. Den luft, der bruges til DTH-hammerens funktion, fortsætter gennem kanaler og dyser ud gennem boremejslen og renblæser borehullets bund, hvorefter den transporterer løsboret materiale op til terræn.

Ved udførelse af borer i bløde bjergarter som kalk og fjeld samt i meget faste aflejringer af moræner er trykluftboring den mest effektive boremetode. Tilstedeværelsen af vand i de lag, som skal gennembøres, kan dog begrænse den dybde, hvortil denne boreteknik kan anvendes, idet det hydrostatiske tryk ved boringens bund ikke må være større end det disponible lufttryk.

Udførelse af en trykluftboring kræver normalt, at løssjorddækket over de faste aflejringer stabiliseres ved, at der her sættes et borerør ned. Dette kan eventuelt ske ved hjælp af DTH-hammeren. Derefter udføres trykluftboringen ved successivt at forlænge borestammen med borestænger, idet der for hver ny boretang foretages en renblæsning af borehullet. Såfremt løssjorddækket er tykt, eller hvis jordprofilen består af grove materialer som grus og sten, kan standrøret erstattes med et forerør. Nedføringen af forerøret skal da ske samtidig med nedføringen af en excenterborekrone (Odex) eller en medroterende boresko (Symetrix).

Til udførelse af vandforsyningsboringer har trykluftboring indtil videre kun fundet begrænset anvendelse i Danmark. En undtagelse herfra er dog Bornholm. I områder, hvor den hærtnede kalkundergrund træffes i begrænset dybde og udgør vigtige reservoirer for vandindvinding, vinder DTH-boreteknikken mere og mere indpas. Dette er tilfældet på Østsjælland og i dele af Nordjylland.



Figur 2.11. Borerør efterladt som forerør

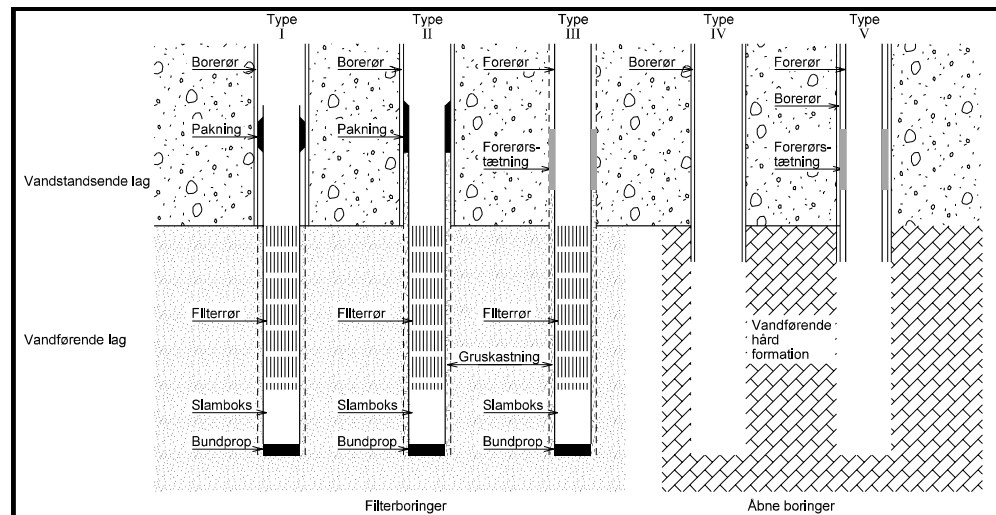
Hvad angår transportveje for eventuelle forureninger ved trykluftboringer, skal man være specielt opmærksom på en eventuel manglende forerørstætning af borerør, der efterlades som forerør. Dette skyldes, at det borede hul normalt vil have en større diameter end den ydre diameter på borerøret som følge af anvendelsen af særlige boresko eller opreamning med excentrisk Odex mejsel. Som illustreret på figur 2.11 gælder dette specielt gennem faste kohæsive lag, idet en forøgelse af borehullets diameter i permeable aflejringer kun i begrænset omfang vil introducere nye transportveje for udbredelse af en eventuel forurening.

2.3 Typer af boringudbygning

Det færdige borehul kan udbygges til en vandforsyningsboring på forskellige måder. Udbygningens udformning afhænger af boringens udførelsesmetode og dimension samt de fysiske egenskaber i de gennemborede jordlag og vandreservoirer.

Som angivet i Dansk Ingeniørforenings normer DS 441 og DS 442 skelnes der som illustreret på figur 2.12 mellem to hovedtyper af vandforsyningsboringer:

- filterboringer i løse vandførende lag såsom sand og grus og
- åbne boringer i faste vandførende lag såsom kalk, kridt, sandsten mv.



Figur 2.12. De almindeligste boringstyper (primært efter DS 441 og DS 442)

Filterboringerne underopdeles i tre typer, således at der i alt skelnes mellem fem typer af boringer, som kan karakteriseres som vist på tabel 2.1

	I	II	III	IV	V
Borerør anvendes som forerør i vandstandsende lag	+	+		+	
Separat filterrør anvendes	+	+			
Der anvendes forerør med filterstrækning i vandførende lag			+		
Gruskastning anvendes		+	+		

Tabel 2.1 Karakterisering af boringstyper

De i skemaet anvendte betegnelser dækker over følgende:

Borerør(arbejdsrør, casing, foring, foringsrør)

Arbejdsrør, der anvendes i forbindelse med borearbejde, og som kan bibeholdes som forerør eller trækkes op og erstattes af forerør.

Forerør (blænderør, blindrør)

Rør, der forbinder toppen af filterrøret med boringens overbygning og tjener til at afstive de omkringliggende jordlag og lede vandet til pumpeanlægget.

Filterrør (slidserør)

Rør med huller eller slidser, der tjener til at tage vand ind fra et vandførende lag og samtidig tilbageholde materiale.

Gruskastning (filterkastning, filterpakning (ved præfab. gruskastning))
Opfyldning af sorteret kvartssand eller -grus mellem filterrør og de vandførende lag for at tilbageholde materiale fra de vandførende lag.

2.3.1 Filterkonstruktion

Boringens filter skal tjene til at tilbageholde jordpartikler fra det vandførende lag, således at disse ikke strømmer ind i boringen og stopper denne. Filteret skal samtidig tillade så meget vand som muligt at strømme ind i boringen, hvorfra det så kan pumpes op.

Et filter består inderst af et filterrør, som er forsynet med perforeringer i form af slidser eller huller. Uden på filterrøret placeres der normalt i vore dage en gruskastning, som består af en opfyldning med sorteret kvartssand eller grus. Valget af kornstørrelse for det materiale, som bruges til gruskastningen er bestemt af kornstørrelsesfordelingen i det vandførende lag samt af slidsebredden eller maskevidde i filterrørrets perforeringer. Dimensioneringen af gruskastningen sker ved hjælp af såkaldte filterkriterier, som bl.a. kan findes angivet i DS 441 og DS 442.

Somme tider er der så stor forskel på kornstørrelsen i de vandførende lag og filterrørrets slidsebredde eller maskevidde, at det er nødvendigt at opbygge et graderet filter. Det gøres ved hjælp af et såkaldt præpakket filter, som består af en kappe af sammenlimet sorteret kvartssand eller grus eller af andet materiale fastgjort direkte uden på filterrøret. En gruskastning bestående af finere materiale end det præpakkede filter placeres derefter uden på det præpakkede filter. Tidligere blev det præpakkede filter udført som en såkaldt gruspakning uden på filterrøret. Gruspakningen blev udført omkring filterrøret i en strømpe af metalvæv eller lignende, før filterrøret blev sænket ned i borehullet.

2.3.2 Filterboringer, type I

Denne boringstype er karakteriseret ved, at der ikke anvendes gruskastning omkring filterrøret. boringstypen var almindeligt anvendt i tiden før fremkomsten af egentligt mekaniseret boreudstyr. Der var den gang tale om boringer i mindre diametre udført som tørboringer med brug af spilkop og sandspand.

Filteret bestod af et perforeret metalrør af kobber eller messing med en omlagt messing- eller kobberspiral og omviklet med fortinnet kobbervæv med en maskevidde, som blev afpasset efter det vandførende lags kornstørrelse. Filterrøret blev sænket ned inde i borerøret, når boringen havde nået endelig dybde.

De anvendte borerør blev efterladt i jorden, efter at de var trukket så meget op, at filterstrækningen på filterrøret blev efterladt frit i de vandførende lag. Filterrørrets øverste del - det såkaldte forlængerrør - var omviklet med en pakning, som normalt var af hamp for at forhindre, at materiale fra de vandførende lag trængte op i boringen mellem borerøret og forlængerrøret. Forlængerrøret var øverst forsynet med en bajonettfatning eller en mufte med linksgevind, hvorfra der midlertidigt blev ført et rør op til terræn for at fastholde filterrøret i dets position i dybden, medens borerøret blev trukket op i de vandstandsede lag.

Ved filterboringer med direkte indbyggede filtre var det relativt nemt at udskifte filtersektionen, når den var blevet tilstoppet, eller der var sket brud på filtervævet. Det foregik som følger:

- Linksgevind eller bajonetfatning blev "fisket" med et rør, der blev sænket ned fra terræn.
- Filterrøret blev trukket op.
- Boringen blev genetableret til oprindelig dybde med tilhørende nedføring af det borerør, som havde tjent som forerør.
- Et nyt filterrør blev sat ned, og borerøret blev igen trukket op.

For at gøre det nogenlunde let at nedsænke borerørene med håndkraft eller nedpresse dem med donkraft under denne udskiftning, var borerørenes bundrør normalt forsynet med boresko af større diameter end borerørene, eller de var opslidset og udvidet tilsvarende. Denne foranstaltning var endvidere hensigtsmæssig, fordi den også var med til at gøre det oprindelige borearbejde lettere. Metoden med at øge diameteren forneden på det nederste borerør introducerede imidlertid en mulig transportvej for en eventuel forurening fra terræn til det vandførende reservoir langs ydersiden af borerøret, når det blev efterladt som forerør i de vandstandsende øvre lag.

2.3.3 Filterboringer, type II

Efterhånden blev boreudstyret mekaniseret, og det gav mulighed for at udføre boringer i større dimensioner, hvilket igen gjorde det muligt at bygge filtre af mindre kostbare materialer. Dette førte til introduktion af filterboringer af type II med en gruskastning omkring filterrøret. Arbejdsproceduren for type II var stort set den samme, som ved type I, lige som princippet med at anvende borerørene som forerør var ens for begge typer. Forlængerrøret til filterrøret med tilhørende pakning blev dog først monteret, efter at gruskastningen var udført.

Alt i alt indebærer filterboringer af type II således de samme ricisi for, at der skabes transportveje for en eventuel forurening som for type I.

2.3.4 Filterboringer, type III

Filterboringer af type III repræsenterer den form for filterindbygning, som siden ca. 1960 er blevet anvendt i borehuller udført ved tør- eller skylleboret teknik. Den vigtigste forskel mellem filterboringer af type III og af type I og II er, at de dyre stålborerør kan trækkes helt op og genanvendes ved type III. Samtidig kan der anvendes relativt billige materialer til et kombineret filter og forerør, og der kan udføres forerørtætning direkte mellem forerørets og boringsvæggen.

Hvis filterboringer af type III udføres med tørboret teknik trækkes borerørene op, efter at det kombinerede filter - og forerør er sat ned og centreret i borerøret. Optrækningen sker successivt, medens gruskastningen fyldes i, og der etableres forerørstætning. Hvis der ikke tilføres vand fra terræn til gruskastningen, medens denne fyldes i, er det vanskeligt at sikre, at kaviteter under kohæsive lag udfyldes helt. Dette bør så vidt muligt undgås, da efterladte kaviteter vil kunne forårsage nedsynkning af borerørstætning mv. således som illustreret på figur 2.1.

Hvis filterboringer af type III udføres som skylleboring, vil risikoen for at efterlade kaviteter i boringen være væsentligt mindre end ved anvendelse af tørboringsteknik. Dette skyldes, at borehulsvæggen i de vandførende sandlag ved skylleboring er stabiliseret med boremudder og overtryk i forhold til poretrykket i de omgivende lag.

2.3.5 Åbne boringer, type IV og type V

Åbne boringer udføres i faste, vandførende lag, hvor der ikke er behov for at etablere et filter til at tilbageholde materiale fra de vandførende lag. Ved denne type boringer er borerørene ført ned og rammet eller trykket fast i de øvre faste, vandførende lag under anvendelse af tør- og skylleboringsteknik. Derefter er borehullet ført videre ned i de faste, vandførende lag uden borerør, indtil den størst mulige eller ønskede ydeevne fra disse lag er nået. I de faste, vandførende lag anvendes ligeledes tør- og skylleboringsteknikker; fra ca. 1950 har der specielt her været anvendt anvendt trykluftskylleboring med DTH.

Ved åbne boringer fungerer borerørene som forerør i de øvre lag og lidt ned i de faste, vandførende lag. Alt afhængig af hvilken nedbringningsmetode, der er brugt, kan der være skabt risiko for, at der er dannet transportveje langs forerørenes yderside. Ved nedramning eller nedpresning af borerørene i den øvre del af de faste vandførende lag er der sket en vis tætning, men denne virker kun mod materialetransport fra de ovenliggende løse aflejringer og ikke som tætning mod tilstrømmende vand.

Fra ca. 1990 er åbne boringer af type IV ofte blevet erstattet med filterboringer af type III. Dette er sket for at reducere omkostningerne ved stålforerør og for bedre at kunne etablere en forerørstætning mod en eventuel forurening, der kommer ovenfra. Når der således er anvendt filterboringer af type III under forhold, som tidligere ansås for velegnede til åbne boringer, er filteret omkring filterrøret blevet udført af meget grove materialer, hvis væsentligste funktion er at fastholde borerørstætningen i det forudsatte niveau. Type V boringen er til forskel fra type IV med indvendig foring bestående af forerør og forerørstætning mellem det bestående borerør og forerøret. Dette sikrer bedre mod lækage som følge af utætheder i forerør og borerør, men stadig ikke mod lækage på ydersiden af borerøret. Metoden anvendes i enkelte store vandforsyninger.

2.4 Materialevalg

Når brøndboreren og bygherren vælger komponenter til en vandforsyningsboring sørger de normalt for at nyttiggøre såvel komponenter udviklet specielt til vandforsyningsboringer som komponenter, der oprindeligt har været fremstillet til beslægtede formål.

En summarisk, historisk oversigt over anvendte boremetoder og materialevalg for de komponenter, som indgår i vandforsyningsboringer, fremgår af tabel 2.2.

Boremetode		Indvindingsanlæg				
		Boringstype	Tidsrum ca.	Forerør	Filter	Forerørs- tætning
Tør- boring	Tørrotation	I-V	-	Afhængig af dybde og udførelsestidspunkter		
	Slagboring	I	- 1950	Stål	Metaltressevæv	Nej (kun pakning)
		II	1950- 1960	Stål	Metaltressevæv Rustfrit stål Egetræ	
		III	1975-	Stål Eternit PVC PEH	Rustfrit stål Rilsanbehandlet stål Egetræ PVC PEH	Stampet ler Bentonitcement Duranitkugler (1975-1980)
Skylle- boring	Direkte skylning	III	1975-	PVC PEH	PVC PEH	Bentonitcement Duranitkugler (1975-1980)
	Lufthæve		1980-			Bentonit vælling Ekspanderende bentonit
	Trykluft		1990-			
		IV-V	1950-	Stål	Nej	Nej

Tabel 2.2. Historisk oversigt over anvendte boremetoder og indbygningsmaterialer

De angivne boringstyper refererer til figur 2.12.

2.4.1 Filtre

Som tidligere anført har filtrene i en vandforsyningsboring til formål at tilbageholde det vandførende lags bestanddele og samtidig tillade så meget vand som muligt at strømme ind i boringen.

Funktionskravene til et filter er derfor:

- at levere vand uden opslemmet materiale
- at have så lille filtermodstand som muligt
- at have stor mekanisk styrke og stabilitet
- at være nemt at udskifte ved funktionssvigt
- at have så stor holdbarhed som muligt, herunder at være korrosionsbestandig

Kornstørrelsesfordelingen i de vandførende lag er bestemmende for filterets opbygning. Først omkring ca. 1950 var boreteknikken så udviklet, at boringerne udføres med så stor diameter, at det blev muligt at indbygge gruskastninger og gruspakninger. Indtil da havde det derfor været størrelsen af åbningerne i selve filterrøret, som var bestemmende for den kornstørrelse i de vandførende lag, for hvilken det var muligt at sætte et filter, der kunne levere vand uden opslemmet materiale. I praksis var det muligt ved skæring, lokning eller ved anvendelse af tressevæv at udføre filtre, der var egnede for kornstørrelser i de vandførende lag ned til og med finsandområdet.

Indtil 1950 var den almindeligt anvendte filterkonstruktion således et filterrør omviklet med fortinnet kobberrør, således som omtalt i afsnit 2.3. Det perforerede messingrør, som brugtes som filterrør, var et trukket emne til motorcylinderbøsninger, og det fortinnede kobberbælg var et soldevæv. Disse filtre blev tilvirket på brøndborerens eget værksted.

Efter ca. 1950 blev det muligt at anvende industrielt fremstillede filtre af følgende materialer:

- egetræsfiltre bestående af rørsegmenter med skårne filterslidser i diverse dimensioner, som kunne samles til længere filterrør
- rustfrit stål enten i form af en cylinder samlet af slidseperforeret plade eller i form af et trådomviklet ribberør, eksempelvis af fabrikat Johnson, Conti-slot og Surescreen.
- rilsanbehandlet stål i form af en cylinder med en omløbende, kontinuert slids eller en klapperperforeret cylindrisk plade, eksempelvis af fabrikat Gardefilter

Fra ca. 1960 begyndte man at anvende slidseperforerede PVC-rør. Rørene er egentlig beregnet til brug som trykrør til vand - og gasledninger - men har fundet udbredt anvendelse til filterrør, fordi det er relativt nemt at skære slidser i dem. Resultatet har været, at hovedparten af vandforsyningsboringer i Danmark i dag udføres med PVC-filterrør omgivet af en gruskastning. Endelig kan det nævnes, at PVC-filtre med præfabrikerede gruskastninger af pålimet kvarts også har været anvendt, specielt i 1980'erne. Disse filtre gik man bort fra bl.a. på grund af udvaskning af toluen fra limen.

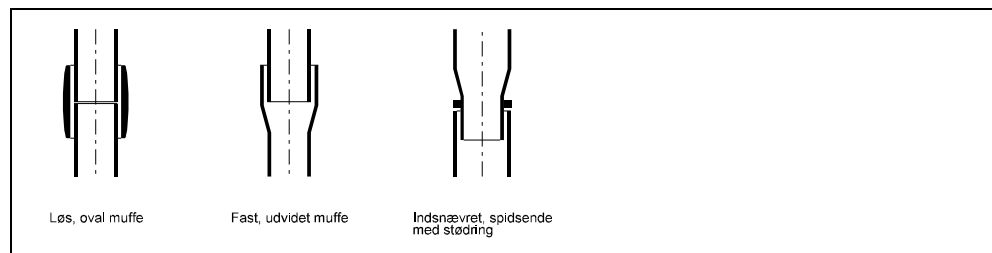
2.4.2 Forerør

Indtil ca. 1960 var det almindeligt at anvende de samme stålrør, som blev anvendt som borerør til forerør. Undtagelsen herfra er en periode mellem 1955 og 1960, hvor der i nogle tilfælde blev anvendt forerør bestående af eternit i type III boringer med egetræsfiltre.

Fra 1960 blev det som ovenfor anført almindeligt at anvende såvel filterrør som forerør af PVC i vandforsyningsboringer af type III.

2.4.2.1 Forerør af stål

De borerør, som anvendtes som forerør indtil ca. 1950, leveredes i "faldende længder" med godstykkelse 6-8 mm og samlet med gevind. Forskellige gevindtyper er vist på figur 2.13. Efter at man begyndte at tage hydrauliske rørbevægere i brug til nedsætning af borerør, har man anvendt borerør med såvel ud- som indvendige glatte gevindsamlinger. Sådanne borerør anvendes i dag kun ved udførelse af boringstype III, hvor borerøret trækkes op under installationen af filteret. Ved boringstype IV er det normalt at anvende sammensvejste stålrør.



Figur 2.13. Typer af samlinger af borerør

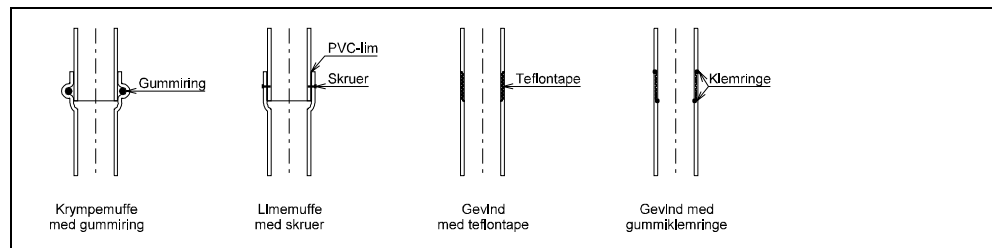
Når borerørene samles med gevind, anvendes der gevindfedt og ingen anden form for tætningsmateriale.

2.4.2.2 Forerør af eternit

I en kort periode blev der anvendt forerør af eternit. Det drejede sig om rør, som oprindeligt var fremstillet som rør til vandledninger. De havde en fast udvidet muffe og en glat spidsende og blev samlet ved indrulning af en blød rågummiring. Denne blev efterstøbt med asfalt, hvilket var en tidskrævende proces, fordi der skulle opnås tilstrækkelig trækstyrke, før filteret - og forerøret - kunne sættes ned i boringen.

2.4.2.3 Forerør af PVC

Forerør af PVC bliver fremstillet i overensstemmelse med DS 972. De svarer styrkemæssigt til tilsvarende trykrør og kan leveres for indvendige tryk på henholdsvis 6, 8 og 10 bar, hvorimod det maximalt tilladte udvendige tryk er væsentligt lavere.



Figur 2.14. PVC-rørssamlinger

Samlingerne for PVC trykrør til brug som forerør i vandforsyningsboringer af type III har som illustreret på figur 2.14 historisk set undergået følgende udvikling:

- Fra ca. 1960 anvendtes fast krympemuffe og glat spidsende med indrullet gummiring.
- Fra ca. 1965 anvendtes muffe, der blev limet til spidsenden; limningen blev normalt sikret med korte skruer for hurtigt at opnå tilstrækkelig trækstyrke.
- Fra ca. 1975 blev det erkendt, at der ikke burde anvendes lim til samling af forerør. Derfor introduceredes glatte ud- og indvendige gevindsamlinger, som tætnes med teflontape eller ilagte O-ringe.
- Teflontape viser sig at være mindre egnet. Derfor anvendes i dag o-ringe. Men i et forsøg på forbedrede tætninger, pågår fx forsøg med sammensvejsning af rør.

2.4.3 Materiale til forerørstætning

De pakninger, som tidligere blev udført for boretype I og II mellem filterrørrets forlængelse og det borerør, som blev brugt som forerør, tjente til

at undgå, at materiale fra de vandførende lag trængte ind i boringen. Indtil ca. 1960 var det almindelig praksis at udføre disse forerørstætninger af ler fra det opborede materiale. Leret blev normalt forsøgt komprimeret, men pladsforholdene i ringvolumenet mellem forerør og boringsvæg var normalt ikke gunstige for at kunne udføre en tilstrækkelig god pakning.

Fra ca. 1960 opstod der i adskillige vandforsyningsboringer problemer med forurening af det oppumpede vand med nitrat. Man forsøgte derfor at udføre tættere forerørstætninger ved at indstampe pakningerne i tynde lag af håndæltet, ren teglværksler.

I begyndelsen af 1970'erne begyndte man at anvende bentonit opslemmet i vand og til tider iblandet cement. Bentonitten blev som en vælling pumpet ned i ringvolumenet gennem et rør. Det var imidlertid vanskeligt at være sikker på, hvor denne bentonit-cementvælling blev placeret, og det var desuden tidskrævende at afvente, at den hærdede til en sådan hårdhed, at man kunne fortsætte indbygningen i ringvolumenet.

Der skete et stort fremskridt i ca. 1975, da man begyndte at anvende tørret, komprimeret ler i kugleform - såkaldt Duranit. Det blev derved muligt at pejle sig frem, så man sikrede en præcis placering af forerørstætningen i den forudsatte dybde.

Det viste sig imidlertid, at Duranit-kuglerne ved vandoptagelse og deraf følgende kvældning ikke opnåede den oprindelige lerstruktur og den dermed forbundne lave permeabilitet. Først efter fremkomsten i ca. 1980 af tørret bentonit som granulat eller i pilleform, fik brøndborenen et velegnet materiale i hænde. Dette skyldes, at bentonitten har en langsom vandoptagelse for derefter at ekspandere kraftigt og udfylde alle hulrum,. Det blev dermed muligt på økonomisk vis at udføre forerørstætninger med en særdeles lav permeabilitet og gøre dette på en måde, så man var sikker på tætningens placering.

Først da bentonit blev taget i brug til forerørstætninger blev det muligt at opfylde de krav til vandforsyningsboringer af type III, som er beskrevet i Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 4 fra 1980 - den såkaldte "Brøndborebetegnelse". Anvendelsen af bentonit som granulat eller i pilleform kræver dog stor omhyggelighed fra brøndborens side; specielt skal der udvises påpasselighed med hensyn til vandoptagelse over grundvandsspejlet, manglende vedhæftning til forerøret samt tilstedeværelsen af styr.

2.5 Råvandsstation og forerørsafslutning

Råvandsstationen består af de installationer, som afslutter forerøret foroven samt den omgivende installationsbrønd. Råvandsstationen har til formål at beskytte vandindvindingsboringen med tilhørende installationer mod frost, mekanisk overlast og indtrængende forurening fra overfladevand eller højtliggende sekundære vandreservoirer.

For at undgå, at vand, som måtte være trængt ind i råvandsstationen, trænger ned i boringen, monteres der en tæt hætte over toppen af forerøret. Hætten forsynes med tætte gennemføringer for rør og kabler til pumper i boringen. Ligeledes skal der sørges for en tæt gennemføring af forerøret ved installationsbrøndens bund.

Oprindeligt blev installationsbrønde udført af betonringe, som enten blev nedsat ved indvendig udgravning eller placeret i en forud etableret, åben udgravning. Hvis der anvendtes brøndringe nedsat ved indvendig udgravning, blev bunden udført ved en betonstøbning på stedet. Når installationsbrønden blev etableret i en åben udgravning, anvendtes enten den samme fremgangsmåde, eller brøndringene blev placeret oven på en præfabrikeret bundplade, som var forsynet med hul til gennemføring af forerør.

Betonringene var ofte forsynet med huller til stige trin. Disse huller og selve brøndringenes samlinger blev søgt tætnet med cementmørtel og senere med brøndskum. Hvis der anvendtes brøndringe nedsat ved indvendig udgravning, blev tætningen kun foretaget fra den indvendige side, og den havde da nærmest karakter af berapning. Det var normalt, at en åben udgravning omkring brøndringene blev tilbagefyldt med det opgravede materiale.

Omkring slutningen af 1970'erne blev det almindeligt at anvende præfabrikerede installationsbrønde af plast eller fiberglas. Disse installationsbrønde nedsattes i åbne udgravninger, som tilbagefyldes med opgravet materiale, hvis dette er rent og ellers erstattes med tilført rent sand eller grus. De præfabrikerede installationsbrønde er forsynet med vandtæt pakgarniture for gennemføring af forerør, råvandsledninger og kabler.

I nyere tid har man endvidere anvendt råvandsstationer udført i niveau med terræn.

I DS 441 og DS 442 er der angivet krav til forerørsafslutning og råvandsstation.

2.6 Vandforsyningsbrønde

Indtil fremkomsten af moderne og relativt billige metoder til udførelse af vandforsyningsboringer fungerede vandforsyningsbrønde som den primære kilde til indvinding af drikkevand til enkeltejendomme. Kun i begrænset omfang har vandforsyningsbrønde tjent som indvindingsanlæg for almen vandforsyning i forbindelse med vandværker.

Vandforsyningsbrøndene blev udført som:

- kampestensbrønde
- murstensbrønde
- brønde af betonringe
- kombinationer af disse

Ved alle disse typer var det princippet, at vand fra de lag, som ved brøndens etablering blev gennemgravet, kunne strømme ind i brøndreservoir. Meget ofte måtte man erkende, at brønde blev forurenede af overfladevand. Endvidere havde brønde ofte en begrænset kapacitet som følge af, at de ikke kunne graves til særlig stor dybde. Man gik derfor over til at udføre vandforsyningsboringer fra brøndens bund, og man konverterede så den tidligere vandindvindingsbrønd til en råvandsstation. Herfra stammede betegnelsen "brøndboring" oprindeligt.

Når der blev udført en boring i en eksisterende brønd, blev denne samtidig ofte fyldt op med sand eller grus. Herved blev det muligt at installere pumpen på opfyldningens overflade. Opfyldningen havde desuden til formål at undgå synligt stillestående vand.

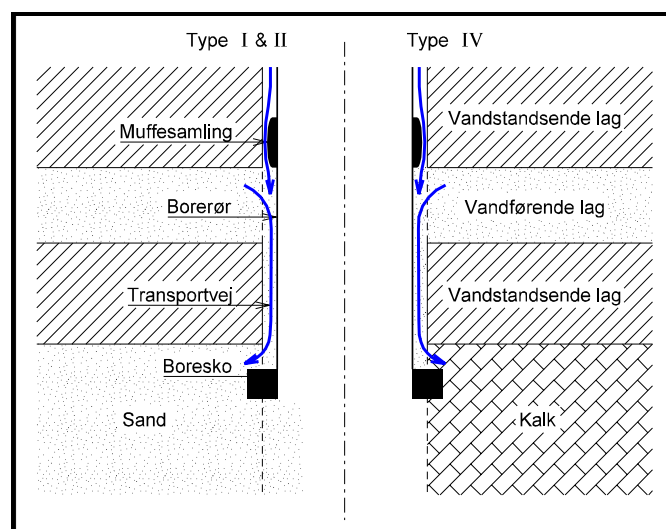
2.7 Boringbetingede transportveje

Under udførelsen af en vandforsyningsboring er der mange muligheder for at begå fejl, som kan føre til, at der opstår lækager. Sådanne lækager udgør mulige transportveje for en eventuel forurening, som fra omgivelserne enten kan trænge ind i boringen og blande sig med det oppumpede drikkevand eller trænge ned i grundvandsreservoiret.

Lækagerne kan være relateret til selve boringens udførelsesmetode, til det materialevalg, der er foretaget, og til den måde, hvorpå disse materialers er indbygget i boringen.

2.7.1 Boringens udførelsesmetode

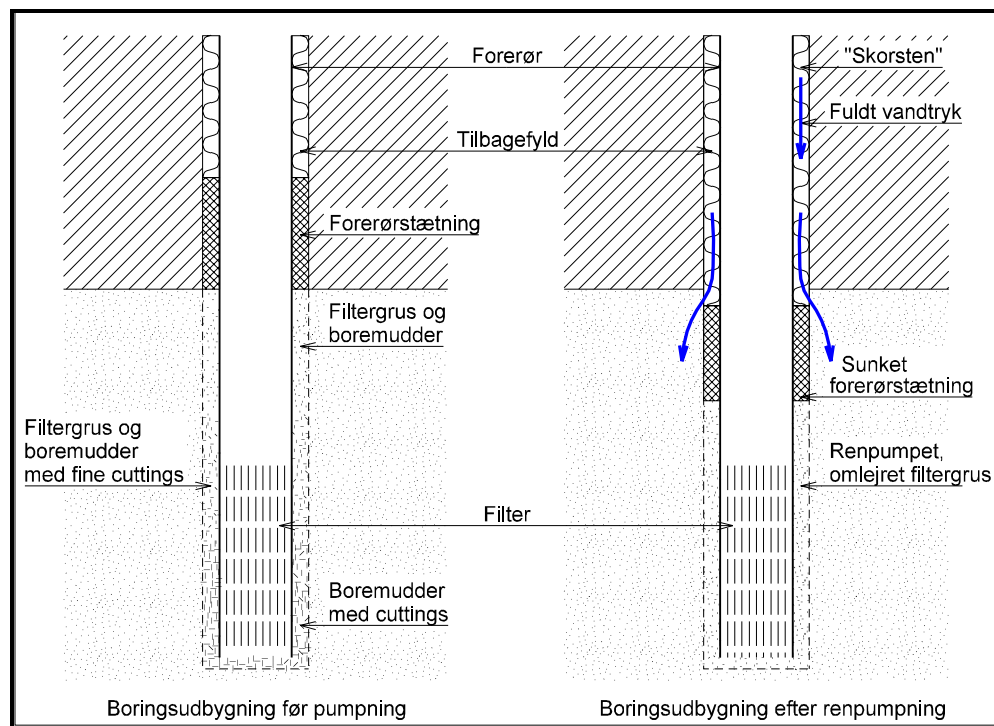
Når tørboringsteknikken anvendes til udførelse af vandforsyningsboringer af type I, II, IV og V, hvor de anvendte borerør efterlades i jorden, kan der etableres transportveje fra terræn til de vandførende lag langs ydersiden af boringen som følge af borekroneudformningen og forerørens muffesamlinger, jf. figur 2.15. I tilfælde af at der kun er gennemboret lerede bjergarter, som kan stå selv, vil der med stor sandsynlighed ikke være vedhæftning til borerøret. Når sandlag gennemskæres (friktionsjord), vil de sandede aflejringer i stor udstrækning udfylde dette mellemrum, og dermed danne en større permeabilitet end den omkringliggende formation. Boringstype I og II udgør i dag ca. 15 % af alle indvindingsboringer, og udgør af den grund antalmæssigt et potentielt problem. For boringstype IV og V (åbne boringer, hvor borerøret er anvendt som forerør) gælder den tilsvarende problematik.



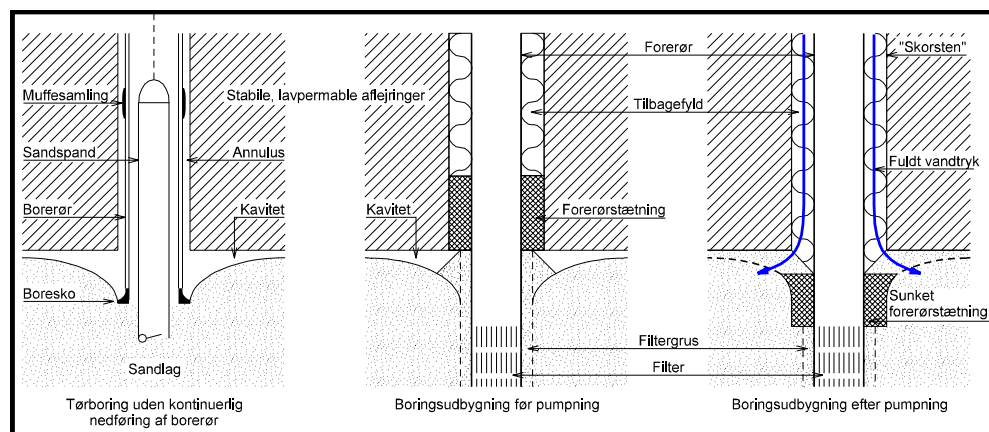
Figur 2.15. Borerør efterladt som forerør

Er vandforsyningsboringen udført som tørborring med tilbagetrukne borerør eller som skylleboring vil der kunne optræde en "skorstensdannelse", som resulterer i nedsynkning af forerørstætningen. Dette kan skyldes:

- at boringsvolumenet ikke er effektivt oprenset før filterindbygning fandt sted. Specielt er der risiko for skorstensdannelse, hvis boremuddret indeholder løsboret materiale, når indbygningen skal ske, jf. figur 2.16
- at gruskastningen er udført med en løs lejring, eller at der optræder udfyldte kaviteter under lerlag, jf. figur 2.17



Figur 2.16. Niveauændring af forerørstætning og "skorstensdannelse" som følge af manglende oprensning



Figur 2.17. Niveauændring af forerørstætninger og "skorstensdannelse" som følge af opstået kavitet ved tørboring type III.

Disse kaviteter dannes normalt ved skødesløst udført borearbejde, hvor der sker en forkert nedføring af borerør i forhold til boreprocessen eller en utilstrækkelig oprensning før filtersætning. Herved opstår der risiko for lækage langs boringen på grund af forkert siddende forerørstætninger.

Betydningen af problemet med nedsynkning, vil ofte være mindre end, hvor der helt mangler forerørstætning, idet forerørstætningen trods alt vil have en vis virkning, specielt den del som stadig er placeret ud for lerlagene.

2.7.2 Filtre

Direkte indbyggede og gruskastede filtre udgør ikke i sig selv en risiko for etablering af transportveje for forurening. Dette forudsætter dog:

- at filteret er korrekt dimensioneret, så det er i stand til at tilbageholde materiale fra de vandførende lag
- at filteret ikke går i stykker som følge af overbelastning eller korrosion; et sådant brud giver sig imidlertid til kende ved, at det oppumpede vand vil indeholde materiale fra de vandførende lag

Hvis der fjernes materiale fra de vandførende lag, kan dette føre til "skorstensdannelse" med tilhørende udvikling af transportveje for en eventuel forurening. Hvis filterrøret indeholder andet metal end stål, medens samtidig forlængerrøret eller borerørene er udført af stål, kan dette forøge korrosionshastigheden af stålet drastisk med det resultat, at der føres materiale fra det vandførende lag ind i boringen.

2.7.3 Forerør

2.7.3.1 Holdbarhed af materiale

Forerør af PVC har nu været brugt i hen ved 40 år, uden at der normalt er opstået problemer med holdbarheden i selve rørvæggen. Forskningsresultater tyder på, at PVC-rør kan forventes at have en levetid på mere end 100 år.

Stålrør har en meget kortere levetid, fordi stålet nedbrydes af korrosion. Den hastighed, hvormed korrosionen sker, afhænger af det kemiske miljø. Normalt forventes det, at korrosion vil resultere i lækager i stålrør efter ca. 30 års brug.

2.7.3.2 Borerør som forerør

Borerørene havde ofte tidligere en lokal forøgelse af diameteren som følge af anvendelse af muffer eller boresko. Dette førte til kanaldannelse langs borerørenes yderside. Afhængig af de gennemborede lags evne til at regenerere er sådanne kanaler i nogle tilfælde blevet lukket med tiden, men som oftest vil kanaltværsnittet dog være blevet udfyldt med sandet materiale, som har en større permeabilitet end den omkringliggende formation. Dette indebærer i kombination med delvis utætte muffesamlinger, at overfladevand eller vand fra sekundære reservoirer kan trænge ind i boringen eller ned i grundvandsreservoir. Skorstenseffekten er illustreret på figur 2.16.

2.7.3.3 Forerør som filterrørsforlængelse

Som tidligere omtalt kan forerør anvendt som filterrørsforlængelse udføres af stål, eternit eller PVC (og PEH).

Ved stålførerør kan der opstå utætheder som følge af dårlig sammensvejsning eller utætte gevindmuffesamlinger. Dermed kan der opstå transportveje fra de overliggende lag eller fra den permeable del af opfyldningen i ringvolumenet mellem forerør og de gennemborede lag og ind i boringen.

Trykniveauforskellen mellem porevandet i de omgivende lag og boringens afsænkede vandspejl vil derfor kunne bevirke, at en eventuel forurening af

omgivelserne trænger ind i boringen, men den vil sjældent trænge videre ned til grundvandsreservoiret, hvis boringen er i jævnlig drift. Lækagevejene er vist på figur 2.18.

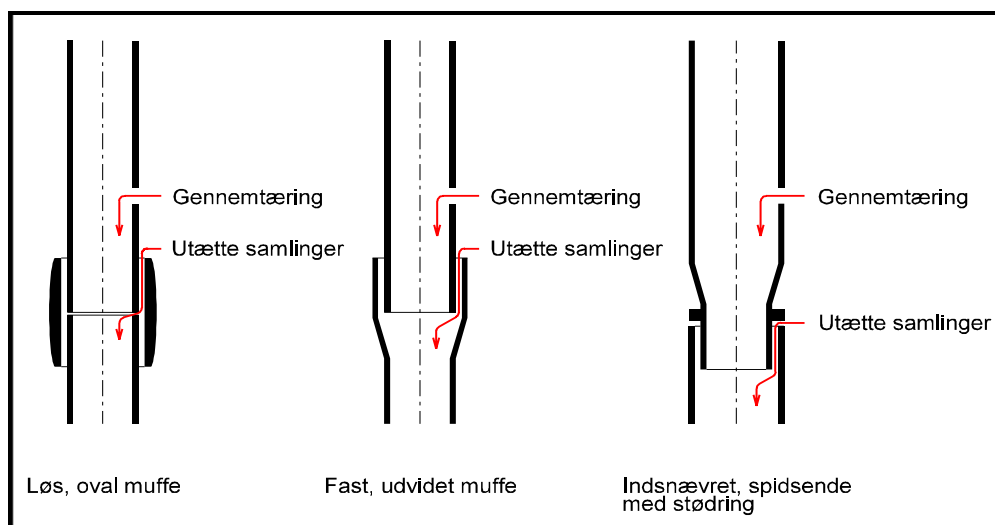
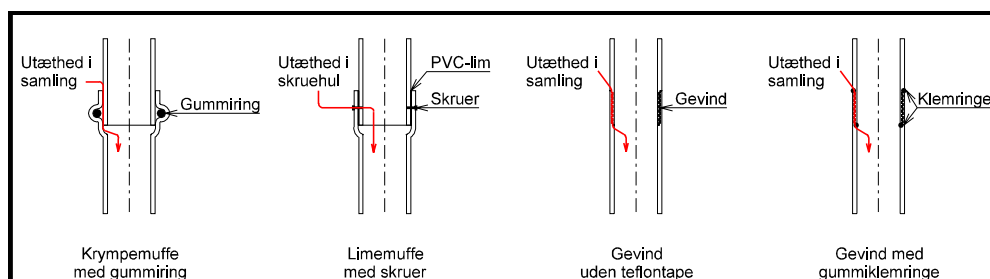


Fig.2.18 Lækage igennem samlinger og forerør ved jern-borerør efterladt som forerør, Type I, II og IV.

De samme forhold gør sig gældende for utætte samlinger af rør af eternit eller PVC, jf. figur 2.19. Utætte samlinger ses som:

- utæthed i selve samlingerne, i gevind eller muffer. Der er tale om et potentielt problem i alle boringstyper. Siden 1975 er PVC-samlingerne forsøgt tætnet med teflontape og i visse tilfælde med O-ringe, dog i mange tilfælde uden succes. Nye boringer fødes derfor ofte med dette problem.
- utæthed som følge af gennemskruning. Dette problem er ligeledes almindeligt i undersøgte type III boringer specielt fra perioden 1965-1975, hvor der er anvendt limmuffer med skruer. Utæthederne opstår i tilfælde af, at skruerne er skruet igennem forerøret og senere er rustet væk.



Figur 2.19. Utætte samlinger i PVC, type III.

Samlinger af eternitrør med blød rågummiring efterstøbt med asfalt og PVC-rørsamlinger med O-ring og krympemuffe må anses for at være tætte samlinger, så længe gummimaterialet bevarer sin elasticitet, .

Er samlingen af PVC-rør med lim udført korrekt, kan disse rør ligeledes anses for tætte. Dette gælder dog ikke, hvis der er anvendt sikringsskruer, idet disse

kan have perforeret røret ved montagen, og når de så senere ruster bort, opstår der lækager.

Ved gevindsamling af PVC-rør kræver sammenskrumningen af rørene en vis frigang i gevindene. Derfor kan samlingerne ikke påregnes at være tætte, med mindre der gøres specielle tiltag for at tætn samlingerne. Anvendelse af teflontape er en mulighed, men tapen vil normalt blive skåret op under sammenskrumningen af rørene, og den vil derfor ikke være i stand til at hindre lækage, ligesom for mange omviklinger har vist sig at have den modsatte effekt. Helt tætte gevindsamlinger af PVC-rør kan kun opnås ved en af følgende foranstaltninger:

- der indlægges en klemgummiring i gevindmuffebund eller –top
- gevindsamlingen forsegles udvendigt ved en omvikling med resistent selvklæbende tape
- der udføres forerørstætning med ekspanderende bentonit ud for alle gevindsamlinger

På grund af problemet med at holde samlingerne tætte, eksperimenteres der pt. med en sammensvejsning af forerørsstykkerne.

2.7.4 Forerørstætning

2.7.4.1 Generelle krav til forhindring af skorstenseffekt

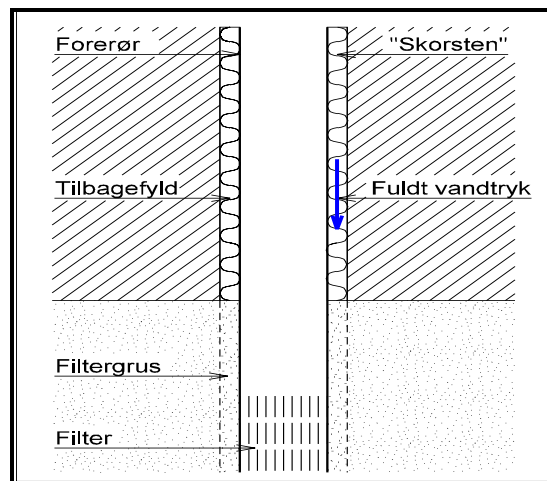
Forerørstætningen skal forhindre, at der sker transport af vand mellem de forskellige lag, som indgår i jordprofilet i ringvolumenet mellem forerøret og boringens væg. Dette funktionskrav kan kun opfyldes, hvis:

- materialet, der anvendes til tætningen, er langtidsstabilt med hensyn til permeabilitet
- forerørstætningen er placeret på det korrekte sted
- forerørstætningen har korrekt højde
- forerørstætningen forbliver på det sted, hvor den er placeret

Problemerne med at opfylde disse fire funktionskrav gennemgås i det følgende.

2.7.4.2 Manglende forerørstætning

Type I, II, IV og V boringer er født uden udvendig forerørstætning. Manglende forerørsforerørstætning er desuden konstateret i type III boringer udført senere end 1960. Der er ikke benyttet egentlig forerørsafpropning konsekvent før 1980. Det potentielle problem er skitseret på figur 2.20.



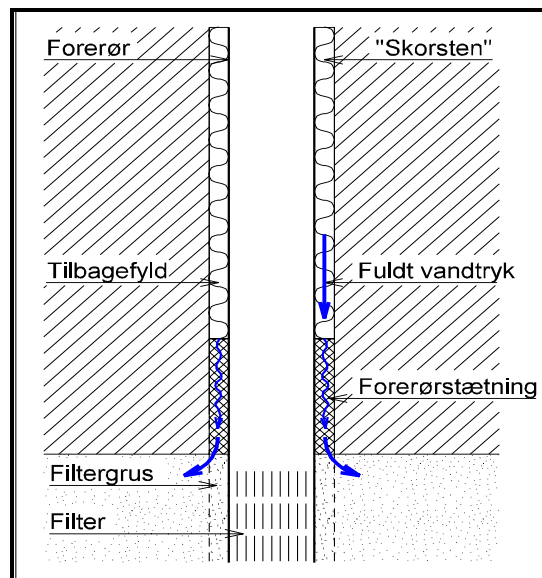
Figur 2.20 Manglende forerørsforerørstætning type III

2.7.4.3 Tætningsmaterialets egnethed

Anvendelse af indstampet ler fra det opborede materiale eller af rent, hånddeltet teglværksler kan ikke forventes at resultere i en tilstrækkelig tæt forerørstætning. Det skyldes de stærkt begrænsede pladsforhold under udførelsen i ringvolumenet mellem forerør og boringsvæg.

Anderledes stiller det sig med forerørstætninger udført med bentonitvælling, som efter at have gelet, bevarer en plastisk konsistens. Under bentonitvællingens sedimentation og geling reduceres forerørstætningens højde imidlertid, hvorfor den fortsatte indbygning af materialer i ringvolumenet må afvente, at bentonitten er gelet. Bentonitvællingen tilsættes ofte cement for at binde hurtigt af. Det betyder imidlertid, at den kan krympe, hvis der ikke er tilsat et middel - Betokem, Invert eller lignende - der skal få den til at ekspandere under afbindingsprocessen. Ved bentonittens krympning eller ved rystelser under den senere pumpeinstallation er der risiko for, at der kan etableres kanaler mellem den hærdnede forerørstætning og boringsvæggen, ligesom der kan opstå sprækker i selve forerørstætningen.

I perioden 1975-1980 blev der benyttet uegnede materialer til forerørstætningen (duranitkugler), som i mange tilfælde har medført direkte kanaldannelse gennem tætningerne. Først i 1980'erne er benyttet bentonit som forerørstætningsmateriale, hvorfor alle boringer før denne periode potentielt kan have problemer med "skorstenseffekt". Det potentielle problem er skitseret på figur 2.21.



Figur 2.21 Skorstensdannelse som følge af uegnet materiale eller ikke tilstrækkelig højde af forerørstætning

Forerørstætninger udført af ekspanderende bentonit, der efter ekspansionen bevarer en plastisk konsistens, må forventes at være tætte; dog skal det sikres, at der ikke dannes kanaler langs rørinstallationer i borehullet, som er anbragt for tæt ved hinanden eller for tæt ved forerørets væg.

2.7.4.4 Tætningens korrekte placering

For at kunne placere en forerørstætning korrekt med hensyn til dybden, er det nødvendigt at have et præcist kendskab til den gennemborede lagfølge med tilhørende laggrænser.

Er boringen udført som en tørrotationsboring med nedførte borerør, er det normalt muligt at opnå præcise oplysninger om lagfølgen.

Ved skylleboreteknikker er det vanskeligere at få præcise oplysninger om lagfølgen. Dette skyldes, at der vil være en forskel mellem tidspunktet for løsboringen af materialet i borehullets bund, og tidspunktet, hvor det løsborede materiale ankommer til terræn. Unøjagtigheder i bestemmelser af laggrænser mv. vil derfor forøges med forøget boreddybde.

Som det fremgår af figur 2.8, er transporttiden ved anvendelse af direkte skylning normalt langt større end ved anvendelse af omvendt skylning - herunder lufthæveteknikken. En langsom transporttid vil give usikkerhed i bestemmelsen af dybde til laggrænser. Ligeledes vil en langsom transporthastighed kunne medføre separation af det løsborede materiales fraktioner, således at det bliver svært at karakterisere de gennemborede lag, og det bliver specielt vanskeligt at erkende tilstedeværelsen af tynde jordlag. Disse usikkerheder er derfor mest udtalt ved anvendelse af direkte skylleteknik.

Usikkerhed om dybden til laggrænser mv. fører som oftest til beslutning om at placere forerørstætningen dybere end begrundet i den faktiske lagdeling. Hvis der samtidig udføres en forerørstætning med begrænset højde, og hvis tætningen homogenitet endvidere er blevet reduceret, fordi der er sedimenteret løsboret materiale i borehullet, vil det være vanskeligt at opfylde funktionskravet til forerørstætningen. Det må derfor generelt anbefales, at der i vandforsyningsboringer udføres en gammalog før filtersætning og i det

færdige borehul til verifikation af lagfølgen, således at forerørstætningerne kan placeres korrekt.

2.7.4.5 Tætningens korrekte højde og forskel mellem bore- og forerør

DS 441 og DS 442 stiller krav om, at forerørstætningen mindst skal være 1 m målt langs forerøret. Kravet gælder såvel forerørstætninger ud for de vandstandsende jordlag som forerørstætninger ved terræn eller umiddelbart under bund af installationsbrønd.

Normernes krav er i vide kredse blevet tolket på den måde, at kravet er opfyldt, hvis forerørstætningens højde netop er 1 m. Forerørstætningens højde imidlertid skal være så stor, at modstanden mod strømning gennem forerørstætningen mindst svarer til modstanden mod strømning gennem de gennemborede vandstandsende lag.

Også selv om hele jordprofilet består af sand, skal der anvendes forerørstætning. Dette skyldes, at sandlag som følge af, at de ofte er aflejret i vand, kan være stærkt lagdelte som resultat af sedimentation. Dette betyder, at sandet vil have en permeabilitetskoefficient, der er langt mindre i lodret retning end i vandret retning. Situationen er vist på figur 2.21.

Konsekvensen af denne type lækage er regnes for at være mindre end fx ved manglende forerørstætning.

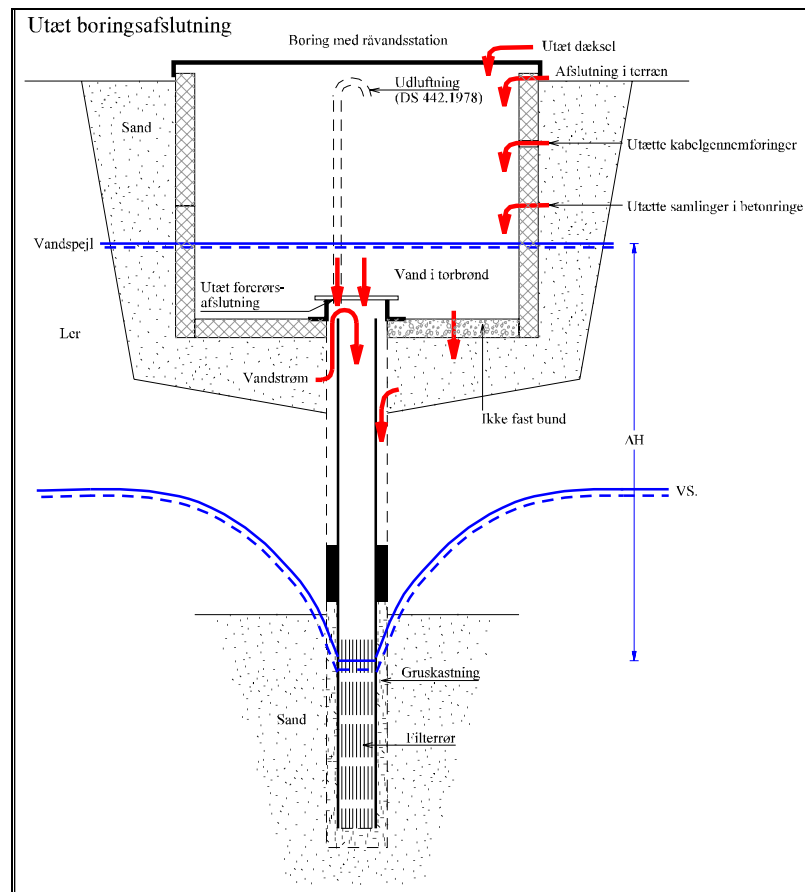
Forerørstætninger, som er behæftet med fejl, fordi forerøret har for stor diameter i forhold til boringens diameter, således at der ikke er plads til at udføre forerørstætningen korrekt, er en anden potentiel lækagetype. Man kan få en formodning om dette problemer ved at holde boredata op mod de gængse håndregler for korrekt udført borearbejde.

2.7.4.6 Forerørstætningens forbliven på plads

Som illustreret på figur 2.16 og 2.17 kan en forerørstætning synke ned i forhold til dens oprindelige placering, efter at vandforsyningsboringen er taget i brug. Dette skyldes som oftest omlejring af gruskastningen, og følgen heraf kan være, at der opstår ricisi for lækager og utilsigtede transportveje med forurening af boringen til følge.

2.7.5 Forerørs- og boringsafslutning

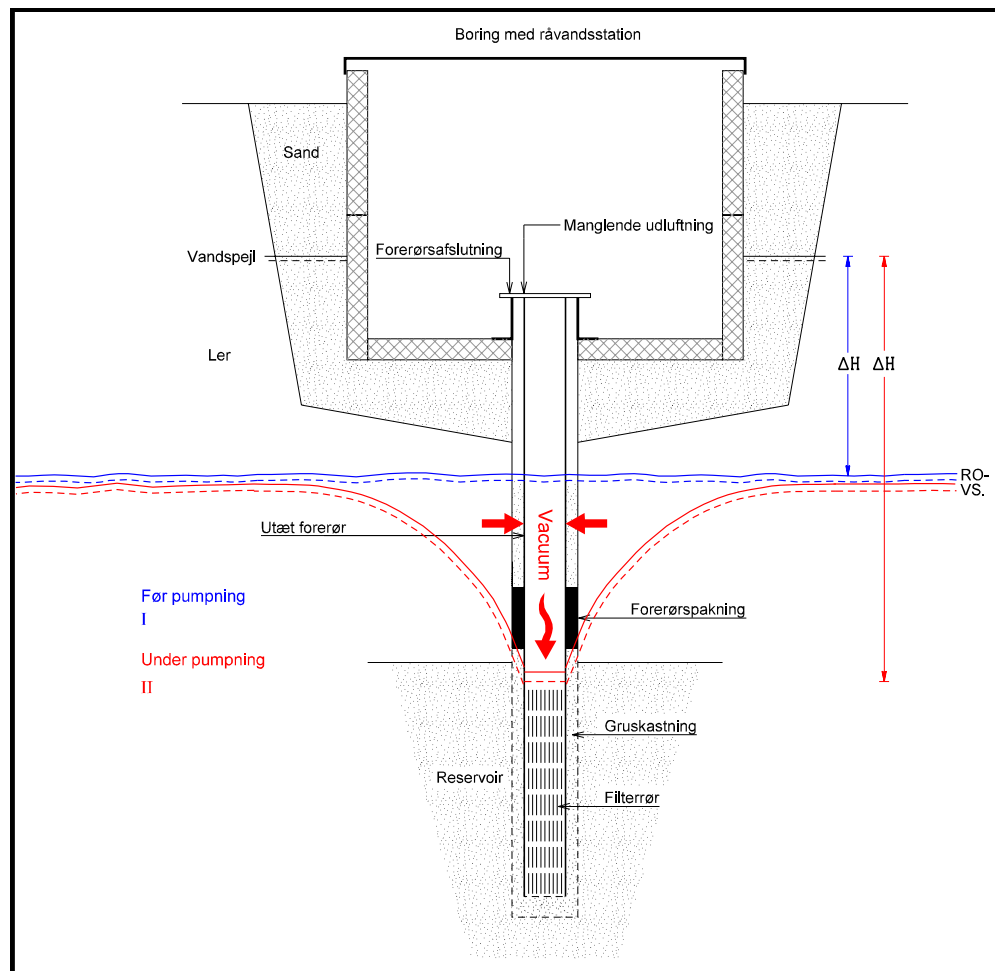
En boringsafslutning (råvandsstation, overbygning, tørbrønd) er ofte ved sit materialevalg og udførelsesform utæt i sig selv. I så fald kan kun en effektiv forerørsafslutning forhindre, at eventuelt forurenede overfladevand eller forurening i de øvre reservoirer trænger ned i boringen. Problemer med utætte dæksler i terrænoverfladen, vand i tørbrønd med risiko for nedløb i pejlestudser mv., utætte brøndringe, kabel- og rørgennemføringer osv. er eksempler på fejl. Mange af disse ting blive elimineret ved omlægning til overjordiske råvandsstationer. På figur 2.22 er der illustreret en række konstruktionsbetingede forureningsveje ved en boring med tilhørende råvandsstation.



Figur 2.22. Eksempler på konstruktionsbetinget transport fra boringsafslutning

Selv om råvandsstationen er tæt mod indtrængende overfladevand eller vand fra et højtliggende, sekundært reservoir, kan der opstå transportveje til boringen langs råvandsstationens ydersider og bund. Er bundpladen derfor ikke udstøbt på lavpermeabelt materiale, og er udgravning ikke tilbagefyldt med komprimeret, lavpermeabelt materiale, er der risiko for, at en forurening kan brede sig langs disse transportveje.

For at undgå iltning og dermed behovet for hyppig generering af boringen er mange vandforsyningsboringer afsluttet med lufttætte flanger. Strømning langs råvandsstationens yderside og bund vil i disse tilfælde kunne forstærkes, hvis forerørsafslutningen er totalt lufttæt. Dette skyldes, at oppumpning af vand fra boringen i så fald vil resultere i dannelse af et vakuum i boringen. Dette vakuum vil øge risikoen for, at der trækkes vand ind i boringen, hvis der er lækager i forerørssamlinger mv. Dette er illustreret på figur 2.23.



Figur 2.23 Utæt forerør med manglende udluftning af forerørsafslutning

Er der opstået et sådant vakuum, vil dette blive udlignet ved et pumpestop og den følgende vandspejlsstigning. Har vakuemet imidlertid forårsaget en strømning mod boringen, vil vandspejlsstigningen opbygge et overtryk, således at luft vil kunne presses i modsat retning med tilhørende risici for at åbne transportvejene yderligere.

Ved at forsyne borerørsafslutningen med et udluftningsrør med højtliggende åbning, kan det undgås, at der dannes vakuum i boringen, og risikoen for forureningsudbredelse er dermed begrænset til gravitationstransport. Anvendelsen af udluftningsrør blev foreskrevet i første udgave af DS 442 fra 1978. Anvendelsen er ikke foreskrevet i 2. udgave af normen fra 1988, idet man den gang anså det for uheldigt, at der kunne komme forøget okkerudskillelse i boringen, når der var mulighed for et vist iltskifte.

2.7.6 Efterladte vandindvindingsanlæg

Lov nr. 169 fra 1969 angiver i § 34 muligheden for at stille krav vedrørende tilkastning af brønde og lukning af borer, som ikke længere anvendes til vandforsyningsformål. Først ved "Brøndborerbekendtgørelsen" fra 1980 fremkommer der imidlertid generelle regler for fremgangsmåden ved sløjfning af borer og brønde.

Det må derfor forventes, at borer og brønde, som er taget ud af drift før 1980, er efterladt med de transportveje for forurening, som de er udført med

suppleret med en forureningsvej direkte fra boringens eller brøndens top og ned gennem boringen eller brønden.

"Brøndborerbekendtgørelsen" fra 1980 foreskriver, at brønde og borer, der sløjfes, skal fyldes op med impermeabelt materiale for at forhindre uønsket vandudveksling mellem forskellige reservoirer i jordprofilet. En sådan foranstaltning er imidlertid kun rettet mod forureningsveje ned gennem boringen eller brønden og til dels mod forureningsveje ud gennem boringens utætte foringsrør eller brøndens utætte brøndrør. Mulige forureningsveje langs et forerørs eller en brønds yderside vil ikke blive reduceret ved den foreskrevne indvendige opfyldning.

Den indvendige opfyldning er således kun effektiv, såfremt der mellem forerør og de omgivende vandstandsende lag har været etableret en korrekt udført forerørstætning. Såvel opfyldte som ikke-opfyldte vandforsyningsboringer, der er blevet etableret før ca. 1960 må derfor anses for at udgøre en fortsat risiko for forureningsudbredelse. Boringer, der er udført som type III boringer efter ca. 1960, vil i opfyldt tilstand frembyde de muligheder for forureningsveje langs forerørs yderside, som de oprindeligt måtte være udført med som følge af, at der er anvendt uegnede materialer til forerørstætning.

Det er således først ved korrekt udført sløjfning af borer udført efter ca. 1980 med effektive forerørstætninger, at risikoen for forureningsudbredelse fra sløjfede borer er elimineret, således at "spøgelsesboringer" ikke opstår.

2.8 Kategorisering af boringsbetingede transportveje

Der er i de foregående afsnit foretaget en gennemgang og vurdering af de boreteknikker, boringsudbygninger og indbygningsmaterialer, som i det sidste århundrede er anvendt i forbindelse med udførelse af vandindvindingsboringer i Danmark.

Der er i det følgende foretaget en kategorisering af potentielle konstruktionsbetingede transportveje. For de enkelte kategorier er den potentielle hyppighed og betydning herefter vurderet. Der er angivet en skønnet vægtning af problemets omfang, relateret til bilag 8.2.

Den boringsbetingede transport er specielt relateret til følgende utætheder:

- Lodrette lækager langs forerøret
- Utætte forerør
- Utætte forerørssamlinger
- Utætte borings- og forerørsafslutninger
- Ineffektiv sløjfning af borer.

2.8.1 Lodrette lækager langs forerøret

Risikoen for, at der opstår lodrette lækager langs forerøret optræder især, hvor der er anvendt borerør (arbejdsrør) med muffe og boresko, som har dannet kanaler langs forerøret. Det drejer sig specielt om tørboringer udført før 1960, hvor borerøret har været anvendt som forerør, men hvor der ikke er anvendt forerørstætning af nogen art (type I og II boringer). En lignende risiko optræder ved åbne borer, hvor borerøret er anvendt som forerør i de øvre vandstandsende lag (type IV og V boringer). Problemet er størst ved

gennemboring af faste kohæsive lag, idet en forøgelse af borehullets diameter i permeable aflejringer kun i begrænset omfang vil introducere nye transportveje.

Risikoen for lækage ved boringstype III er nøje sammenknyttet med tilstedeværelsen og kvaliteten af den udførte forerørstætning. I perioden indtil 1980'erne blev der ved denne type boringer normalt ikke benyttet forerørstætninger. I tilfælde af at der gjorde, har det i stor udstrækning været uegnede materialer. Fra ca. 1975-1980 blev der således benyttet forerørstætningsmaterialer som i mange tilfælde har medført direkte kanaldannelse gennem tætningerne.

En anden risiko for transport langs forerøret opstår ved type III boring, hvis der sker nedsynkning af forerørstætningen. Risikoen for, at noget sådant sker, er ved tørboringer specielt knyttet til, at der kan opstå boringsbetingede kaviteter, som så senere udfyldes med nedsynkning og "skorstensdannelse" til følge. Ved skylleboringer optræder sådanne nedsynkninger som oftest på grund af manglende oprensning under boringsudførelsen, hvorved der kan ske en omlejring af gruskastningen under renpumpningen af boringen med nedsynkning af forerørstætningen til følge. Ved tørboring opstår nedsynkningen ved forkert nedføring af borerøret under boreprocessen.

Forerørstætningen kan endvidere være udført med en utilstrækkelig højde, således at modstanden mod strømning gennem tætningen er væsentlig mindre end modstanden mod strømning gennem de gennemborede vandstandsende lag. Denne fejl kan ofte henføres til, at den i normerne foreskrevne minimumshøjde af tætningen på ca. 1 m ikke under alle omstændigheder er tilstrækkelig.

Endelig kan forerørstætninger være behæftet med fejl, fordi forerøret har for stor diameter i forhold til boringens diameter, således at der ikke er plads til at udføre forerørstætningen korrekt.

Ud over ovenstående beskrivelser af lækagemuligheder langs forerøret, er der eksempler på kortslutning mellem forskellige magasiner som følge af en boringsudbygning med flere filterintervaller i samme boring kun adskilt af en forerørsstrækning med eller uden forerørstætning. En sådan filtersætning har tidligere været almindelig praksis, men bør helt undgås på grund af den oplagte risiko for kortslutning af magasiner.

Som det fremgår af ovenstående, er der mange årsager til dannelse af brøndborerskorsten. Problemet anses således for at være meget hyppigt. Betydningen af lækagen styres af de hydrauliske forhold i skorstenen, og afhænger derfor i høj grad af tætningsmateriale, -metode, -placering, og -højde, men sandsynligvis også af ydre omstændigheder som dybde til grundvandsmagasinet (højde af forerør), kildestyrke, forureningsgrad og (- type) i sekundære magasiner/overfladenært grundvand, oppumpningsmængder i boringen m.v.

Vægtning af problem: Problemkategori I-IV, jf. bilag 8.2.

2.8.2 Utætte forerør

Gennemtæring af forerør af stål må generelt forventes at kunne ske efter 20-30 års levetid. Borerør af stål, som er anvendt som forerør, er hovedsagelig benyttet indtil ca. 1960, hvorfor det må forventes, at sådanne boringer er i højrisikozonen for lækage som følge af korrosion. Herudover kan det ikke

udelukkes, at der kan opstå huller i forerør af andre materialer, specielt ved pumpeplacering m.v.

Problemet anses for at være hyppigt, og kan afhængig af lækagens og dermed indstrømningens størrelse være et betydende problem.

Vægtning af problem: Problemkategori II-IV, jf. bilag 8.2.

2.8.3 Utætte forerørssamlinger

Transport af forurening gennem utætte rørsamlinger er et problem, som potentielt er muligt i alle typer af borer. Siden 1975 er PVC-samlingerne forsøgt tætnet med teflontape og i visse tilfælde med O-ringe. Undersøgelser har vist, at teflontape har haft den modsatte effekt, hvis der er benyttet for mange omviklinger. Limmuffer med skruer, som primært er anvendt i perioden 1965-1975 indebærer et oplagt risiko for efterfølgende utætheder i tilfælde af, at skruerne er skruet igennem forerøret og senere er rustet væk. PVC-samlingerne er forerørets svage punkt mht. trykpåvirkninger, hvilket betyder de ofte vil være utætte. Også samlinger i stålør kan være utætte, men problemet anses dog ikke for at være så stort, som for PVC- og PEH samlingerne, hvor problemet ikke skønnes løst i selv nyetablerede borer.

Problemet anses for at være særdeles hyppigt. Indstrømningens størrelse vilsandsynligvis i de fleste tilfælde være begrænset, og mht. BAM-forurening derfor potentielt set være af mindre betydning i indvindingsboringer med en stor oppumpningsmængde.

Vægtning af problem: Problemkategori II-III, jf. bilag 8.2.

2.8.4 Utætte borings- og forerørsafslutninger

Utætte overbygninger kombineret med utæt forerørsafslutning vil kunne medføre en direkte nedstrømning i forerøret. Der kan opstå utilsigtede indstrømninger gennem utætte dæksler, nedløb af overfladevand ved placering af tørbrønd i terræn, kabelgennemføringer, utætte samlinger i brøndringe m.v.

En udpræget risiko for, at overfladevand kan trænge ind i boringsvolumenet, opstår desuden ved utætte forerørsafslutninger kombineret med bundplader i råvandsstationen, som ikke er udstøbt på lavpermeable aflejringer samtidig med, at der er opfyldt med højpermeable materialer omkring råvandsstationen.

Problemet anses at være reelt. Men der skal i de fleste tilfælde små indgreb til for at minimere problemet, som ofte let kan registreres. Problemet er sandsynligvis størst ved små vandforsyninger og enkeltindvindinger.

Vægtning af problem: Problemkategori II-IV.

En anden type risiko opstår i forbindelse med tætte forerørsafslutninger udført uden udluftning. Tætte forerørsafslutninger findes mange steder, da det kan have gavnlig indflydelse på processer i forerøret med færre regenereringer til følge. Men det er særdeles vigtigt at forerøret ikke har utætheder af nogen art, da der ellers som følge af det vacuum der vil opstå ved start af oppumpning, vil kunne trækkes forurening til boringen selv i tilfælde af små lækager i forerøret.

Problemet findes sandsynligvis tit i hermetisk lukkede borerør, specielt på grund af den skønnede hyppighed af utætte samlinger. Indstrømningen kan i disse tilfælde potentielt set være betydende.

Vægtning af problem: Problemkategori I-IV.

2.8.5 Ineffektiv sløjfning af borerør

Først efter 1980 kan sløjfning af borerør ved udstøbning anses for at være hensigtsmæssigt udført. Dette skyldes, at der først på dette tidspunkt blev introduceret effektive forerørstætninger. Problemet med "spøgelsesboringer" kan derfor tidligst være løst efter 1980.

Problemet anses for at være hyppigt. Mange sløjfede borerør er placeret på vandværksgrunden tæt på eksisterende indvindingsboringer, hvilket hydraulisk set er uheldigt på grund af gradienterne. Der kan desuden være tale om "rene" skorstene, hvorfor problemet tillige vurderes for at være betydende.

Vægtning af problem: Problemkategori I-III.

Man skal være opmærksom på at de nævnte lækagetyper kan optræde enkeltvis eller i flere tilfælde kombineret. I sidste tilfælde vil den potentielle risiko for forurening øges. Boringskonstruktionsbetinget lækage fra vandforsyningsboringer kan resultere i at vandet i boring og indvindingsmagasin forurenes i mere eller mindre grad. En forudsætning for boringsbetinget forurening er, at der har været benyttet pesticider i boringens nærhed, enten på selve vandværksgrunden, eller fra nabokilder, så forureningen kan transporteres til boringens konstruktioner via overfladevand eller sekundære magasiner og videre til magasinet langs boringen eller i boringen. I tilfælde af at der sker naturlig nedsivning til magasinet ad andre veje end via boringen er der tale om en "magasinfurening". Forureningens videre spredning til grundvandsmagasinet ved en boringsbetinget forurening afhænger af, om den pågældende boring udnyttes konstant/jævnligt eller kun sporadisk, og om der er kontinuert eller intervaldrift. Herudover er de naturlige hydrauliske vertikale og horisontale gradienter afgørende for forureningsspredningen.

2.9 Konklusion af udredningsarbejdet

I perioden før 1960 blev benyttet tør-boreteknik, og man brugte borerør af stål, som blev efterladt som forerør uden forerørstætning mellem ydersiden af rørene til de gennemborede lag (type I og II borerør, jf. figur 2.12). En større diameter på den nederste del af det nederste borerør (boresko), sikrede sammen med muffesamlinger mod for stor friktion langs borerøret, jf. figur 2.15. Dette kan i den færdige boring betyde, at vand trænger ned langs ydersiden af forerøret fra de ovenliggende lag uden at gennemborede lerlag yder beskyttelse mod nedtrængning af evt. pesticidholdigt vand (skorstenseffekt). Gennemborede sandlag giver erfaringsmæssigt kraftig friktion langs borerør, mens der ved gennemboring af lerlag vil opstå et åbent hul. Dette hul vil derefter blive udfyldt med de sandede aflejringer fra den gennemborede friktionsjord, hvorved den hydrauliske ledningsevne langs røret bliver større end den omkringliggende formation. Herudover er der risiko for, at forerør i borerør fra denne periode er gennemtæret, eller at der er utætte samlinger.

Fra 1950 til 1960 anvendte man ud over stål desuden forerør af eternit. Eternitrørene anses stadig for at være tætte mht. tæring og sandsynligvis også i samlingerne. Derimod er der risiko for introduktion af lækage langs rørene, på grund af ingen eller mangelfuld og forkert forerørstætning.

I perioden efter 1960 til 1970 har man ofte udført skylleboring og brugt PVC-rør og gruskastning (type III boring). PVC rør gennemtæres ikke under normale omstændigheder. Derimod er der risiko for utætte samlinger, specielt ved gennemskruninger, samt skorstenseffekt ved nedsivning på ydersiden af forerørerne.

Fra 1960 til 1975 anvendte man ingen eller utilstrækkelige forerørstætninger af opgravet ler, tegller eller dårlig bentonitvælling. I perioden fra 1975 til 1980 brugte man i stort omfang Duranitikugler (kugler af tørret ler), der senere har vist sig at være utætte, og direkte dannede kanaler. Først fra 1980 og op til nu har man brugt PVC-rør som forerør (type III boring), der bliver samlet med gevind, og hvor der bruges forerørstætning med bentonitpiller, der ekspanderer kraftigt og effektivt udfylder alle mellemrum. Noget tyder dog på at der ofte stadig er problemer med utætte samlinger i nyetablerede boringer.

Af ovenstående fremgår det således, at der i alle boringer udført før 1980 potentielt kan være lækagerisici på grund af én eller flere konstruktionsmæssige fejl. Lækage kan således opstå via gennemtærede stålrør, utætte samlinger af forerør eller via utætte/manglende forerørstætninger, som kan introducere skorstenseffekt i forbindelse med store grundvandssænkninger omkring indvindingsboringerne. Herudover kan det ikke udelukkes, at der efter 1980 er udført dårligt borearbejde med defekte boringer til følge.

I bilag 8.2 er der givet en oversigt over de konstruktionsbetingede forureningsrisici, som er omtalt i de foregående afsnit.

3 BAM-forurening relateret til boringskonstruktioner pba. databasesøgninger

Med baggrund i GEUS boringsdatabase er det undersøgt, om der tegner sig et billede af nogle generelle tendenser med hensyn til de BAM-forureningsramte boringer, som kunne give en indikation af mulige årsagssammenhænge til den konstaterede BAM-forurening. I de følgende afsnit gennemgås resultatet af en række sammenstillinger af BAM-fund og BAM-forureningsramte boringers relation til boringskonstruktionerne. Der skal gøres opmærksom på, at afsnittet kun er møntet på at skulle pege på visse tendenser med hensyn til problematiske boringskonstruktioner. Der er ikke foretaget egentlig statistisk behandling af eventuelle sammenhænge. Det vides, at der er mange sammenhænge, som griber ind i hinanden. Således er boringsalder og boringskonstruktionernes forfatning nøje forbundet, men også boreddybden er aldersafhængig, og dermed forureningsafhængig, ligesom boringsalder er geografisk betinget, idet ældre boringer mere udpræget ligger i byområder, og dermed er mere forureningsfølsomme. De efterfølgende søgninger skal derfor ikke overfortolkes, men udelukkende ses som nogle tendenser.

3.1 Databasesøgninger

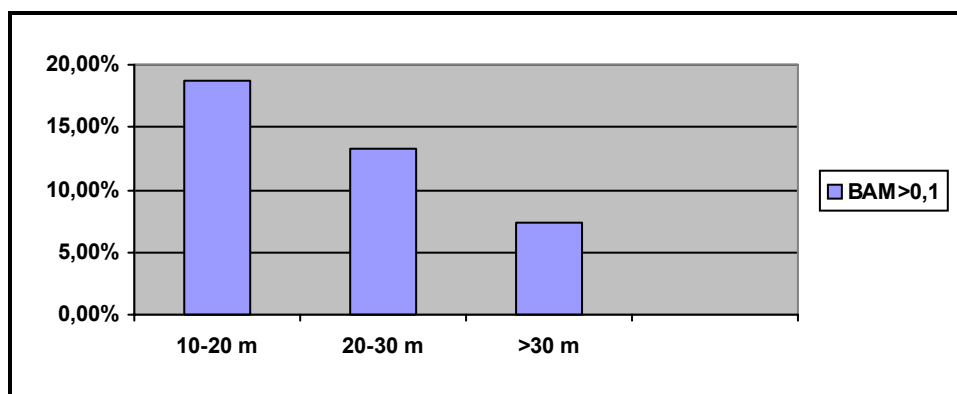
Der er udført søgninger i GEUS jupiter-database med henblik på at undersøge, om der er en sammenhæng mellem fund af BAM og relationer, som kan henføres til boringskonstruktioner. I projektets indledende fase er praksis for borearbejde gennem tiden beskrevet, jf. afsnit 2. For de skitserede potentielle sammenhænge er følgende relationer herefter undersøgt ved hjælp af Jupiter-databasen:

- BAM-fund contra boreddybde (og boreddybde contra alder)
- Fund contra alder (og fordelt på dybdeintervaller)
- Fund contra materialevalg (jernrør/PVC mv.)
- Fund contra boringstype (med/uden gruskastning og filter)
- Fund contra forerørsforerørstætning (og fordelt på højde, alder og type)
- Fund contra boremetoder (og fordelt på alder)
- Fund contra boredimension (og forerørdimension)

Der er ved alle søgninger benyttet BAM-fund større end 0,1 µg/l. Ved søgningerne skal det bemærkes, at det er ikke alle boringer i databasen, som har lige mange oplysninger indlagt. Det betyder fx at der findes 3.593 BAM-analyserede boringer i databasen med angivelse af alder, 3.642 BAM-analyserede boringer med angivelsen af boreddybden, og 2.006 BAM-analyserede boringer med angivelse af boremetoden osv. Mere detaljerede informationer relateret til boringskonstruktioner er kun angivet for et endnu færre antal boringer.

3.1.1 BAM-fund contra boreddybde og alder

Som det ses af figur 3.1 er BAM konstateret i forskellig dybde. Hovedparten af fund af BAM stammer fra grundvand i i boringer under 30 m u. t., men BAM er tillige konstateret i mere dybtliggende grundvandsmagasiner ned til 100 m u. t.



Figur 3.1 fund og boringsdybde

Der er således tydelige tegn på at fundhyppigheden aftager med dybden, som også vist på tabel 3.1.

Borings dybde	Totalt	Med BAM-fund	Procent
I alt, boringer med dybdeangivelse	3.642	369	10,1 %
Dybere end 30 m	2.683	193	7,2 %
Kortere end 30 m	959	176	18,4 %

Tabel 3.1 Fund og dybde

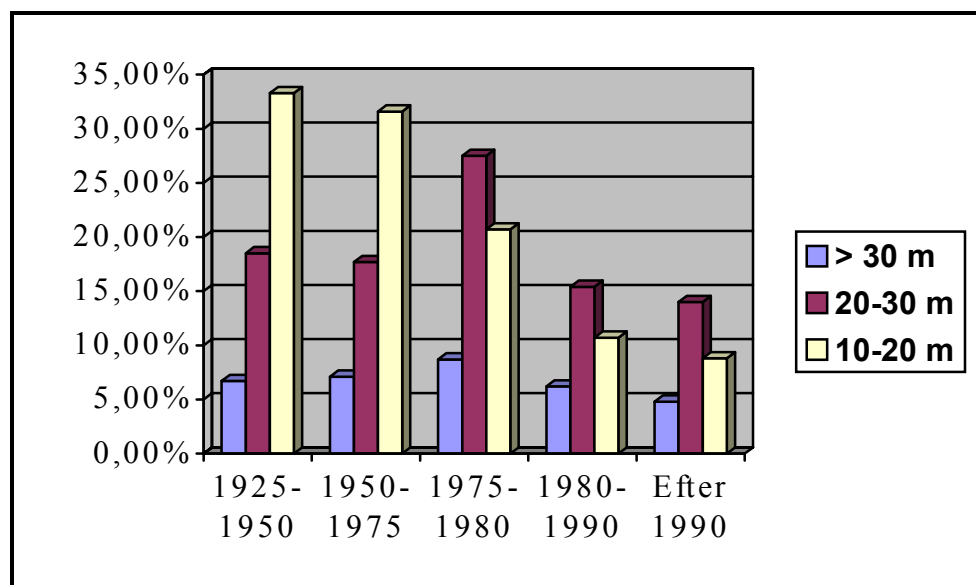
I boringer dybere end 30 m (2.683 stk.) er der en fundprocent på 7,2, mens der i boringer kortere end 30 m (959 stk.) er en fundprocent på 18,4. Dette kan ved "magasinformurening" forklares ved at forureningsfronten primært ligger i jordlag højere end 30 m. I tilfælde af "boringsforurening" kan det forklares ved en kortere vej for nedsivning langs forerør.

Der er udført søgninger for sammenhængen mellem fund og alder, fordelt på dybdeintervaller. Sammenstillingerne er lavet for forskellige perioder, hvor der har været forskellig praksis for udførelse af boringer, og derfor kan forvente en sammenhæng mht. boringskonstruktionerne, jf. afsnit 2. I tabel 3.2, er resultatet af forskellige søgninger vist.

Aldersgruppe	Alle boringer		10-20 m		20-30 m		> 30 m	
	Total antal	% med fund	Total antal	% med fund	Total antal	% med fund	Total antal	% med fund
Boringer med alder	3593	9,9	343	20,4	552	18,1	2588	6,7
Før 1900	16	18,8	6	16,7	1	0	6	0
1900-1925	53	18,9	15	20,0	18	22,2	16	0
1925-1950	247	11,7	24	33,3	54	18,5	165	6,7
1950-1975	1314	11,0	114	31,6	204	17,7	979	7,1
1975-1980	488	12,1	29	20,7	69	27,5	391	8,7
1980-1990	960	8,0	121	10,7	149	15,4	616	6,2
Efter 1990	515	6,2	34	8,8	57	14,0	415	4,8
Specielle søgninger								
Etableret før 1960	529	12,3	76	23,7	116	18,1	317	6,3
1960-1980	1589	11,4	112	32,1	230	20,9	1240	7,6
Efter 1975	1963	8,6	184	22,0	275	18,2	1422	6,5
Efter 1980	1475	7,4	155	10,3	206	15,1	1031	5,6

Tabel 3.2 BAM-fund og alder fordelt på dybdeintervaller

Relationerne er vist i figur 3.2.



Figur 3.2 Sammenhæng mellem BAM-fund og alder fordelt på dybdeintervaller

I boringer dybere end 30 m etableret efter 1990 er der registreret fund i 4,8 % af tilfældene, mod 6,3 % i boringer etableret før 1960. Forskellen på 1,5 % kan evt. tilskrives fejl i boringskonstruktionerne som følge af alderen som følge af gennemtæringer og utætheder og på grund af nye og forbedrede bore- og gruskastningsteknikker (forerørsforerørstætninger, skylleboring og type III boringer), jf. afsnit 2. I boringer med 10-20 m dybde etableret efter 1990 er der registreret fund i 8,8 % af tilfældene, mod 23,7 % i boringer etableret før 1960. Dvs. der er her en forskel på ca. 15 %, og dermed en større procentdel,

som kan tilskrives de ældre udførte boringskonstruktioner. Grunden til, at der registreres flere tilfælde ved kortere borer end i dybere, kan være at evt. brøndborerskorsten og utætheder slår kraftigere igennem på grund af en mindre transportvej (mindre fortynding mv.).

Det fremgår desuden, at der mellem 1975 og 1980 er en stor procentdel med fund. I denne periode er der i stor udstrækning blevet benyttet duranitikugler som forerørsforerørstætning. Et produkt som senere viste sig at generere strømningskanaler langs afpropningerne.

3.1.2 BAM-fund og forerørsmaterialer

Der er foretaget søgninger på BAM-forurened borer fordelt på forskellige forerørs-materialer, jf. tabel 3.3.

Materiale	Totalt	Med Fund	Procent
Ikke angivet	1364	136	10%
Andet	16	1	6%
PEH	150	10	7%
jern/rustfrit stål	220	16	7%
PVC	1569	125	8%
I alt	3319	288	9%

Tabel 3.3. BAM-fund og forerørsmaterialer

Det fremgår, at der ikke er forskel i den procentvise fundhyppighed afhængig af om forerørsmateriale er stål, PVC eller PEH-rør. I alle tilfælde er der en fundprocent på 7-8 %. Det skal bemærkes, at der kun er opgivet brug af 220 stålrør som forerør i databasen, hvilket er betydeligt færre, end hvad der i virkeligheden er brugt.

3.1.3 BAM-fund og forerørsforerørstætning

For 299 borer er angivet forerørsforerørstætning og alder. Af disse har 21 en BAM-koncentration på over 0,1 µg/l, svarende til 7,0 %. Der findes i alt 358 borer i databasen med fund af BAM over 0,1 µg/l, men uden angivelse af forerørsforerørstætning, svarende til 10,4 %. Da det kan være alderen og dybden af borerne som hovedårsagen til forskellen på de 2,4% og ikke forerørstætningen, er aldersfordelingen og dybden sammenholdt med BAM-fund i borer med og uden forerørstætninger. Det skal bemærkes, at der på de tidligere oplysningsblanketter til GEUS ikke var plads til angivelse af forerørstætninger.

Opgørelse over BAM-fund i borer efter 1980 med forerørstætning som funktion af forerørstætningens højde og boreddybden fremgår af tabel 3.4.

Boringsdybde	10 - 20 m			20 - 30 m			over 30 m		
Samlet forerørstætningshøjde	Totalt	Med fund	Procent	Totalt	Med fund	Procent	Totalt	Med fund	Procent
1 m eller derunder	1	0	0%	1	0	0%	2	0	0%
1 - 2 m	7	1	14%	3	0	0%	17	1	6%
2 - 4 m	6	1	16,7%	10	1	10%	27	0	0%
4 - 6 m	6	0	0%	5	2	40%	28	1	3,6%
6 - 8 m	3	0	0%	3	0	0%	32	2	6,2%
8 - 10 m	3	0	0%	4	0	0%	28	3	10,7%
10 - 12 m	0	0	-	2	1	50%	16	1	6,3%
højere end 12 m	0	0	-	16	5	31,3%	70	1	1,4%
I alt	26	2	7,7 %	44	9	20,4 %	220	9	4,1 %

Tabel 3.4. BAM-fund i borer efter 1980 fordelt på forerørstætningshøjde og boreddybde

For borer etableret efter 1980 dybere end 30 m er der 4,1 % forurenede borer angivet med lerspærre (9 af 220), mens det samme gælder for 6,2 % af borer angivet uden lerspærre (47 af 760). Der er således en forskel på højst 2,1 % (efter en normering af både alder og dybde), som kan tilskrives forerørstætningen. Til gengæld er 20,4 % af borerne fra 20-30 m med forerørsforerørstætning forurenede i forhold til 15,1 % i borerne efter 1980 uden afpropning (31 af 206). Desuden erkendes ingen sammenhæng mellem forerørstætningens højde og fundhyppigheden. 5 af 9 forurenede borer mellem 20 og 30 m er således med mere end 12 m forerørstætning, hvilket ikke umiddelbart lader sig forklare. Det skal dog bemærkes, at det statistiske grundlag ved disse søgninger er spinkle.

Opgørelse over fund fordelt udelukkende på type af forerørstætningsmateriale er vist på tabel 3.5.

Materiale	Totalt	Med Fund	Procent
Uspecificeret	60	0	0 %
Bentonit (uspecificeret)	300	32	11%
Bentonit-cement blanding	10	0	0 %
Bentonitgranulat, Bentonit QS	24	0	0 %
Bentonitkugler	10	0	0 %
Bentonitpiller, Bentonit TS, Hydron TS, Compactonite	70	0	0 %
Bentonitpulver (Wyoming)	1	0	0 %
Cement	8	2	25%
Ler (uspecificeret)	312	19	6%
Lerfyld (Opboret materiale)	8	2	25%
Lerkugler (uspecificeret)	6	2	33%
Naturler (Rødler/Blåler, Smeltevandsler) (OB-granulat)	7	0	0 %
Uspecificeret pakning/ lerspærre/ forerørstætning	4	0	0 %
Totalt	820	57	7%

Tabel 3.5 Fund og forerørstætningsmateriale

Det fremgår, at der er væsentlig forskel i fordelingen af fund og angivne type forerørstætning. 11 % af boringer med uspecificerede bentonit er med BAM-fund, mens 115 boringer med en specificeret bentonittype ikke er forurenede. Det tyder på, at de specificerede bentonittyper har en god effekt.

Der findes BAM-fund over 0,1 µg/l i 7 % af boringerne (57 af 820 boringer) med angivet forerørstætningstype, hvilket svarer udmærket til BAM-fund i boringer udført efter 1980 (7,4 % fund, jf. tabel 3.2), hvorfor der ikke umiddelbart ses nogen effekt af forerørstætningen generelt. Det kan dog ikke udelukkes, at der er forerørstætning i nogle af boringerne, hvor forerørstætning ikke er angivet.

3.1.4 Fund og boringstype

Med henblik på at undersøge om der er en umiddelbar sammenhæng mellem boringstype, fx åbne boringer (type IV og V boringer, jf. figur 2.12) og BAM-fund, er der foretaget søgninger i boringer med og uden filter. Der registreres fund i 13 % af boringerne uden filter (60 af 461 boringer), mens der i boringer med filter ses BAM i 9,7 % af tilfældene (319 af 3286 boringer). I tabel 3.6 er boringer med og uden filterangivelse yderligere opdelt på dybdeintervaller.

	Uden filter			Med filter		
Dybde / m	Totalt	Med fund	Procent	Totalt	Med fund	Procent
Under 10 m	11	5	45%	78	3	3,8 %
10 - 20 m	48	17	35%	265	44	16,6 %
20 - 30 m	54	12	22%	502	95	18,9 %
Over 30 m	289	19	7%	2394	174	7,3 %
I alt	402	53	13%	3239	316	9,8 %

Tabel 3.6 Fund og boringer med og uden filter, fordelt på dybdeintervaller

Der er tydeligvis en klar dybdesammenhæng som slår tydeligt igennem i boringerne angivet uden filter end boringer med filter. Det fremgår desuden, at forskellen udjævnes med dybden, således at flere korte åbne boringer uden filter (boringstype IV og V) er forurenede end tilsvarende filtersatte boringer, men at forskellen ophører i dybe boringer.

Dette kan ved boringsbetinget forurening sandsynligvis tilskrives, at "skorstenseffekt" er mere markant i de åbne boringer (uden afpropning mv.), og dermed slår kraftigere igennem på de kortere boringer.

Der er foretaget en søgning på hvor differencen mellem borerør og forerør er 0, svarende til, at borerør er blevet stående som forerør. Dette er fundet i 40 ud af 387 BAM-forurenede boringer, svarende til 10,3 %. Samtidig viser søgninger på difference mellem borehul og forerør, at hvis forskellen er større end 175 mm registreres kun en fundhyppighed på 4,7 % (28 af 599 boringer), mens der for forskelle mindre end 175 mm findes en fundhyppighed på 9 % (200 af 2221 boringer). Dette tyder på, at der kan være en sammenhæng mellem fund og placering af fornuftige gruskastninger med god plads til forerøret.

3.1.5 Fund og boremetoder

Resultatet på søgning mellem BAM-forurenede boringer og boremetoder er angivet i tabel 3.7.

Boremetode	Total	Med fund	Procent
Andet	2		
Botesam/rammeboring	82	3	4%
Vibrocore	-	-	-
Direkte skylleboring	2	0	0%
El-log boring	139	5	4%
Snegleboring	21	1	5%
Hulsnegleboring	1	0	0%
Indirekte skylleboring/ omvendt skylleboring	37	2	5%
Kerneboring			
Luftskylleboring/lufthebe/airlift	278	23	8%
Pneumatisk/DTH/odex/symmetric	19	0	0%
Rotaryboring	151	12	8%
Skylleboring	182	14	8%
Tørboring/ slagboring	1007	109	11%
Sugeboring	85	8	9%
I alt	2006	177	9%

Tabel 3.7. BAM-fund og boremetoder

Det fremgår, at der er fundet BAM svarende til 0 - 11% af boringerne afhængigt af boremetode. Det skal bemærkes at Botesam, trykluftboringer, snegleboringer og indirekte skylleboring har små fundprocenter. Boremetodernes aldersafhængighed er desuden kortlagt, for at undersøge om det spiller en rolle for fundhyppigheden. Det giver dog ikke de store forskydninger i forhold til totalbilledet. Fx er antallet af rapporterede tørboringer efter 1980 og til i dag stadigt højt.

3.1.6 Andre søgninger

Der er endvidere søgt på den aktuelle brøndborer og BAM-forurenede boringer, hvilket evt. vil afsløre dårligt borearbejde udført af en eller flere brøndborere. Der ses tydeligvis forskelle, idet fundprocenterne går fra 0-100% fordelt på brøndborere. Men det er meget vanskeligt, at uddrage håndfaste konklusioner, da der samtidig er tale om et meget forskelligt grundlag. Det angivne boreantal er meget forskelligt. Herudover skønnes alder og geografi mv. at spille en væsentlig rolle for om der findes BAM.

3.1.7 Samlet konklusion på databaseundersøgelser for fordeling af forureningsramte boringers relation til boringskonstruktioner

En samlet konklusion viser, at der for visse boringskonstruktionsbetingede lækagerisici findes nogle sammenhænge, mens der for andre ikke kan peges på tendenser. Søgningerne viser følgende sammenhænge:

- I korte boringer (op til 30 m) ses en tydelig sammenhæng mellem boringsalder og BAM-fund (ca. 15 % på potentielt kritiske aldre), evt. pga. at "skorstenseffekt" og utætheder slår kraftigere igennem i de kortere boringer

- I boringer dybere end 30 m ses kun en meget lille sammenhæng mellem boringens alder og BAM-fund, som kan skyldes boringskonstruktionerne (1,5 %)
- I boringer udført mellem 1975 og 1980 er der for en stor procentdel fundet BAM i boringer kortere end 30 m (25,5 % fund), evt. som resultat af at der i denne periode i stor udstrækning blev benyttet duranitikugler som forerørsforerørstætning. (Et produkt som senere viste sig at generere strømningskanaler forerørstætningerne)
- Der er ikke betydende forskel i BAM-fund i boringer udført efter 1980 (uanset boringsdybde) angivet med en eller anden form for forerørsforerørstætning, sammenholdt med boringer som ikke er angivet med forerørstætning. Til gengæld registreres ingen forurening i boringer angivet med specificerede bentonitprodukter som forerørstætning (af 115 boringer). Dette tyder på at bentonitforerørstætningerne har en berettigelse. Der ses dog ikke umiddelbart sammenhæng mellem forerørsforerørstætningens højde og fundhyppigheden
- Flere korte åbne boringer uden filter (boringstype IV og V) er forurenet end filtersatte boringer, men forskellen ophører i dybe boringer, sandsynligvis fordi "skorstenseffekten" er mere markant i de åbne boringer, men samtidig slår kraftigere igennem på de kortere boringer
- Der ses en tendens til sammenhæng mellem BAM-fund og pladsen i borehullet til en fornuftig forerørsforerørstætning.

Alt i alt ses der en tendens til, at boringskonstruktionerne kan have en betydning for fund af BAM i kortere boringer.

4 Undersøgelser af boringskonstruktioner

I det følgende er konklusionerne af udvalgte undersøgelser fra projektet gennemgået, primært omhandlende boringskonstruktioner. Undersøgelsesresultaterne fra de udvalgte lokaliteter er mere uddybende beskrevet i bilag 8.3. I bilag 8.4 er vedlagt et skema med tidligere undersøgte boringskonstruktioner, hvad der er foretaget, og registrerede defekter.

Omfanget af utætte borings betydning er kortlagt ved udførelse af undersøgelser på udvalgte vandværker. Herudover er tidligere undersøgelser er så vidt muligt inddraget i arbejdet med henblik på generelt at få et mere dækkende billede. Der er derfor dels indhentet og bearbejdet undersøgelsesresultater af boringskonstruktionernes tilstand fra ca. 170 indvindingsboringer fra hele landet, dels inddraget tidligere udførte detailundersøgelser hvori undersøgelser af boringskonstruktioner indgår.

4.1.1 Feltundersøgelser

Af tabel 4.1 fremgår lokaliteter og undersøgte boringstyper, samt formodede lækager ud fra den eksisterende viden, samt de udførte undersøgelser.

Udover de i skemaet angivne undersøgelseslokaliteter er der udført en række undersøgelser i boringer på Varde Vandværk, som er omtalt i det følgende. Herudover er der udført infiltrationsforsøg og forskellige pumpescenarier på Tejn Vandværk og forskellige pumpescenarier på Årslev Vandværk, som ligeledes er omtalt i det følgende. Endelig er der for at registrere indsivningen fra en utæt samling udført en indsivningstest i en utæt boring fra Flakkebjerg Vandværk. Dette forsøg er omtalt i bilag 8.3 og i dette afsnit.

Vandværk	Alsted		Frederiksberg				Kildebakken	Københoved
Boring	37.662 B1	37.940 B2	210.624 B1	210.266 B2	210.497 B6	210.766 B7	153.82 Skoven 2	132.882
Udførelsesår	1971	1985	1975	1955	1968	1990	1963	1986
Boringstype, jf. DS441	III	III	II	III	II	III	II/III	III
Boretteknik	Tør	Tør	Tør	Tør	Tør	Skylle	Tør	Skylle
Materialer	PVC	PVC	12" Stål	Eternit	10" Stål	PVC	Stål/PVC	PVC
m til top filter	28	32	43	32,5	22,5	58	24	57
Lertykkelse	20	20	38	20	20	39	4	17
Risiko for lækagetype	3	(1), 3, 4	(1), 2, 3	(1),2, 3	(1), 2, 3	(1), (4)	(1), 2, 3	(1), 4
Undersøgelser i boring								
Vandprøve		X						X
Niveauspecifikke, vandprøver	X		X				X	X
Tv-inspektion	X	X	X	X	X	X	X	X*
Gammalog	X	X	X	X	X	X	X	
Induktionslog	X	X	X	X	X	X	X	
Soniclog			X			X		
Heat-pulslog				X	X			
Pumpetest								X
Undersøgelser udenfor boring								
Vandprøve i andre indvindingsboringer	X	X					X	X
Boringsnære jordprøver	X	X					X	X
Boringsfjerne jordprøver	X	X	X	X	X	X		
Genfindning af sløjfet boring								X
Sekundære vandprøver	X	X	X*	X*	X*	X*		X
CFC-datering af vand			X*	X*	X*	X*		
Dybere undersøgelsesboring								X
Undersøgelse af recipient							X	

* : Udført i tidligere undersøgelsesfase

Lækagetyper:

1. Utætte forerør
2. Lækage introduceret gennem forerørsafslutning, og boringsafslutning (tørbrønd)
3. Lækage ned langs forerør som følge af manglende forerørstætning
4. Lækage ned langs forerør som følge af forkert/mangelfuld forerørstætning

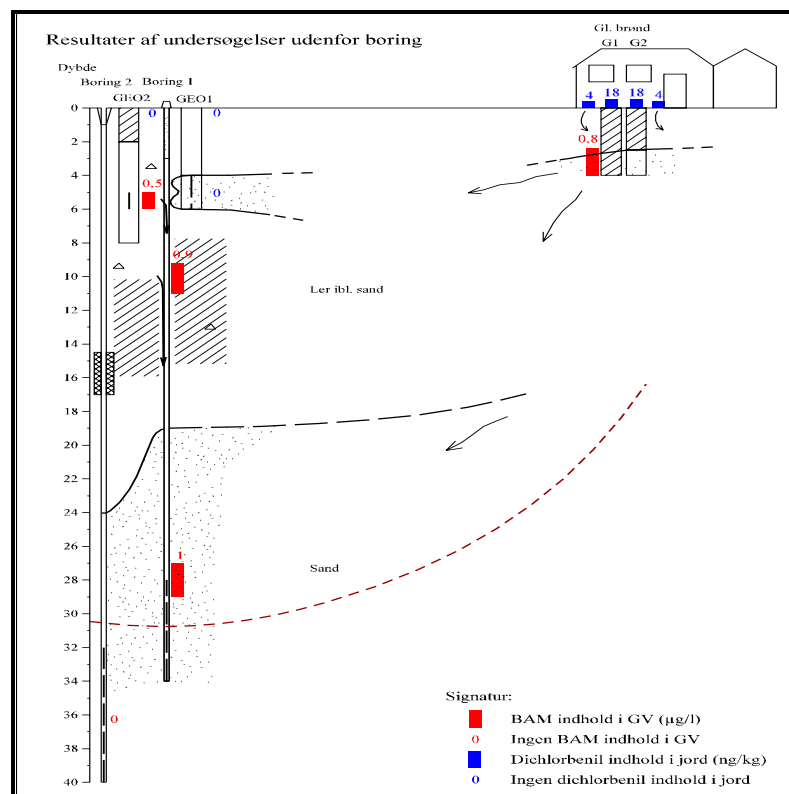
Tabel 4.1 Oversigt over boringsundersøgelser

4.1.1.1 Konklusioner af undersøgelser på Alsted vandværk

Alsted Vandværk er et lille Vandværk bestående af 2 forsyningsboringer. Vandværket er fra 1940-41. Årlig indvinding i 1998 var godt 25.000 m³. Vandværket er beliggende på Mors i bakket ung morænelandskab overvejende bestående af moræneler. Øverst findes således et terrænnært dæklag af ca. 20 m ler med vekslende mindre betydende lag af sandlinser. Herunder finder indvindingsmagasinet bestående af smeltevandssand. Vandspejlet er artesisk med ro-vandspejl. ca. 6 m u. t.

Der er udført undersøgelser af boringskonstruktioner i de to boringer på Alsted Vandværk. Der er tale om en kompleks forureningssituation, som tyder

på tilstedeværelsen af flere transportveje fra mindst en kilde. Situationen er skitseret på figur 4.1.



Figur 4.1. Forureningssituation og formodede strømningsveje. Alsted Vandværk

Ud fra undersøgelserne på Alsted Vandværk kan konkluderes følgende:

- Der er ikke konstateret forurening i jordprøver på vandværket. Derfor er der tilsyneladende andre kilder til forureningen.
- Der findes en relativ boringsnær kilde til forurening i form af nabogårdsplads (ca. 50 m fra indvindingsboring), hvor der findes koncentrationer i sekundært grundvand på 0,8 µg BAM/l og stadig findes tydelig indhold af dichlobenil i jorden.
- Der findes ingen forurening i sekundært grundvand i en undersøgelsesboring (GEO1, filtersat i sand fra 4-6 m u. t.) i en afstand af 1,5 m fra den forurenede boring 1. Derimod er der registreret et BAM-indhold i en boring placeret i en afstand af 6 m fra boring 1 (GEO2, filtersat i moræner i 4-6 m u. t.) i en koncentration på ca. halvdelen af hvad der ses i boring 1. Dette indikerer trods alt, at der kan være andre kilder end gårdspladsen, og også at der er grundlag for en eller anden form for boringsbetinget transport.
- Der er risiko for transport gennem forerør via utætte samlinger i begge indvindingsboringer (boring 1, type III fra 1971 og boring 2, type III fra 1985).
- Der er ingen forerørstætning over utæt samling i boring 1. Dette giver risiko for skorstenseffekt. I boring 2 findes ca. 2 m forerørsforerørstætning fra 14,5 til 16,5 m u. t. Denne forerørstætning kan sandsynligvis stoppe en skorstenseffekt.
- Der registreres meget høje kimtal, samt efterfølgende markante fald under pumpning i boring 1. Dette er en indikation for indstrømning med overfladevand.

- Der registreres høje BAM-indhold i boring 1's forerør. Dette er en indikation for indsivning fra utæthed.
- De højeste indhold af BAM registreres i filteret i boring 1, og der registreres ingen signifikante fald i koncentrationerne under pumpning. Dette er en indikation på, at der er magasinforurening.
- Der konstateres ingen forurening i boring 2. Formentlig fordi boringen er filtersat dybere i indvindingsmagasinet end boring 1. Derfor registreres ingen magasinforurening fra en relativ boringsnær kilde. Samtidig sørger forerørsforerørstætningen for, at der ikke sker boringsbetinget lækage. Et utæt skruehul 10,5 m u. t. er ikke betydende nok til, at boringen forurenes, jf. vurderingen afsnit 4.3.3.

Ovenstående viser, at boringskonstruktionerne er defekte. Der er tale om en kompleks forureningssituation, med 2 boringer indenfor kort afstand, hvoraf den ene er forurennet og den anden ikke forurennet. Men selv om der sker en indsivning i boring 1, jf. BAM-indhold og forhøjede kimtal i forerøret, er det sandsynligvis ikke den eneste årsag til forureningen, da der:

- tilsyneladende ikke findes jordforurening på vandværksgrunden,
- tilsyneladende ikke findes forurennet sekundært grundvand lige op af boring 1,
- tilsyneladende kun er mulighed for lille indstrømningsmængde i den registrerede utætte samling,
- registreres de højeste og vedvarende koncentrationer i filterrøret under forerøret under fortsat pumpning
- findes en boringsnær kilde i form af den BAM-forurenede nabogård lige op af vandværket.

For at få yderligere vished om magasinforureningens bidrag, kan anbefales at etablere en undersøgelsesboring i indvindingsmagasinet opstrøms boring 1 (og opstrøms boring 2). Boringen bør filtersættes i de samme sekvenser som boring 1 og 2. Ifølge beregningerne i afsnit 4.3 vedr. lækagetypernes betydning, vil bidraget fra skorstenseffekt i en gruskastet type III boring som denne være ca. 0,5 m³/d (geologisk hovedtype 4, jf. hovedrapport afsnit 7) mens en utæt samling som denne vil kunne bidrage med ca. 0,05 m³/d. Med de BAM-koncentrationer, som findes i det sekundære grundvand på denne lokalitet, vil utæthederne bidrage minimalt.

Med hensyn til evaluering af benyttede metoder, kan følgende konstateres:

- TV-inspektion giver i dette tilfælde god information om utætheder i forerør.
- Gamma- og induktionslogging giver information om geologi og intervaller for forerørstætninger, men ingen egentlige nye oplysninger vedrørende tætninger ved undersøgelser af gamle type III-boringer eller type I, II og IV-boringer, hvor borerør er efterladt som forerør, og der derfor ingen forerørstætning er.
- Niveauspecifikke vandprøver er nyttige for at se placeringen og dermed indstrømning af forureningen i boringen.
- Jordprøver og sekundære vandprøver er nyttige for at finde forureningskilder, og dermed transportveje for forureningen.

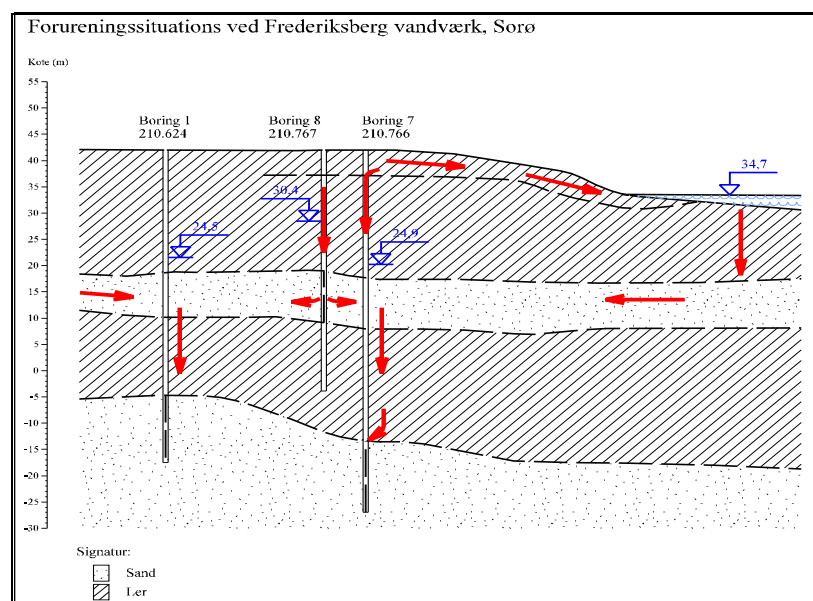
4.1.1.2 Frederiksberg vandværk

Frederiksberg Vandværk består af 2 indvindingsområder, dels Feldskov, dels vandværket. Der sker en samlet årlig indvinding på ca. 280.000 m³.

Indvindingsboringerne i Feldskov - boring 1 (DGU 10.624) og 7 (DGU 210.766) - er begge filtersat i samme regionale, nedre sandmagasin, jf. figur 4.2. Umiddelbart ved siden af boring 7 (DGU 210.766) ligger boring 8 (DGU 210.767), der ikke anvendes i råvandsproduktionen. Denne boring er filtersat i det mellemste, overliggende sandmagasin, adskilt fra det nedre sandmagasin af ca. 20 m moræneler. Geologien i indvindingsboringerne ved vandværket er lidt anderledes end i Feldskov. De to indvindingsboringer boring 2 (DGU 210.266A) og boring 6 (DGU 210.497) er begge filtersat i et sandmagasin overlejret af ca. 20 m moræneler. Boringernes placering fremgår af figur 8.3 (bilag 8.3).

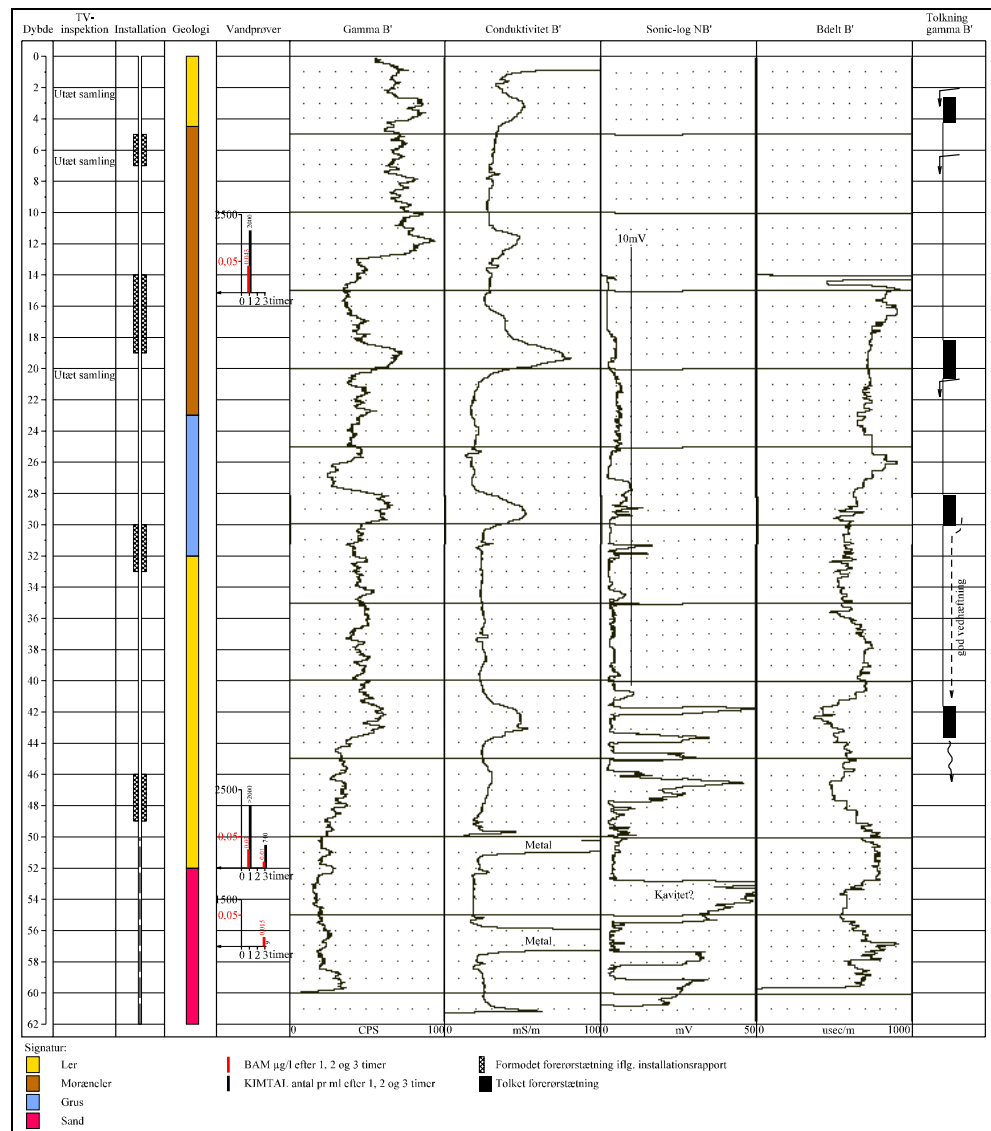
Der er tidligere fundet relativt svage BAM-indhold under grænseværdien i alle boringer i det nedre magasin.

Der er foretaget undersøgelser af boringskonstruktioner i 4 boringer på Frederiksberg Vandværk, i Sorø. Primært for at undersøge risikoen for kortslutning af magasinerne som følge af boringsbetinget transport ud fra en hypotese som skitseret på figur 4.2. Der er tidligere konstateret forurening i det mellemste magasin, samtidig med at CFC-dateringer tyder på, at der sker en udveksling med yngre vand, evt. en vekselvirkning fra Sorø sø. Der er i det store hele tale om relativt svage BAM-koncentrationer, som kan underbygge dette.



Figur 4.2. Forureningssituation og formodede strømningsveje Ved Feldskov, Frederiksberg Vandværk

En nærmere beskrivelse af udførte undersøgelser fremgår af bilag 8.3. Et eksempel på resultatet af en borningsundersøgelse fra lokaliteten fremgår af figur 4.3.



Figur 4.3. Undersøgelser i boring 7

Ud fra undersøgelserne på Frederiksberg Vandværk kan følgende konkluderes:

- Der er registreret utætte PVC-samlinger i boring 7 (type III boring fra 1990).
- Forerørstætningerne sidder ikke hvor boreprofil viser det. Den ene prop er placeret i det mellemste sandmagasin, ikke i leren, som installationsrapporten viser. Der kan derfor ske en lodret lækage langs forerøret, som minimum til den sidste tætning, som ligeledes er forskudt i forhold til det formodede.
- Der er registreret meget høje kimtal, samt efterfølgende markante fald under pumpning. Dette indikere problemer med overfladevand i boring 7 fra terrænnære utætte samlinger.
- Der ses i boring 7 fald i BAM efter noget pumpetid samt niveauforskelle i BAM-fordelingen. Dette indikerer, at BAM-forureningen er transporteret boringsnært, sandsynligvis boringsbetinget.
- Der er ikke registreret betydende lækage i jernforerøret i boring 1 (type II boring fra 1975). Det kan dog ikke udelukkes, at der er

kortslutning mellem de 2 magasiner i boring 1, som følge af skorstenseffekt. Der findes ingen analyser af vandprøver til at dokumentere logresultaterne.

- Der er ikke registreret lækage i eternitrør i boring 2 (type III boring fra 1955).
- Der er ingen sikre tegn på lækage i boring 6 (type II boring fra 1968), da der er usikkerhed omkring resultater af Tv-inspektion og heat-puls målinger.

Sammenfattende kan det konkluderes ud fra undersøgelserne, at hypotesen om kortslutning af det nederste velbeskyttede lag via boringsbetinget transport sandsynligvis holder stik. Det er ikke afgjort, hvorfra forureningen til det mellemste magasin kommer. Der er sandsynligvis et hovedbidrag fra kilder i byen, og desuden sekundært en udveksling med søen.

Det fremgår at en af fire boringer er med sikkerhed utætte, undersøgelserne viser tydelige utætheder i PVC-samlinger i en boring etableret i 1990, mens blandt andet en eternitboring fra 1950'erne er tæt.

Med hensyn til undersøgelsesmetoderne kan det konkluderes følgende:

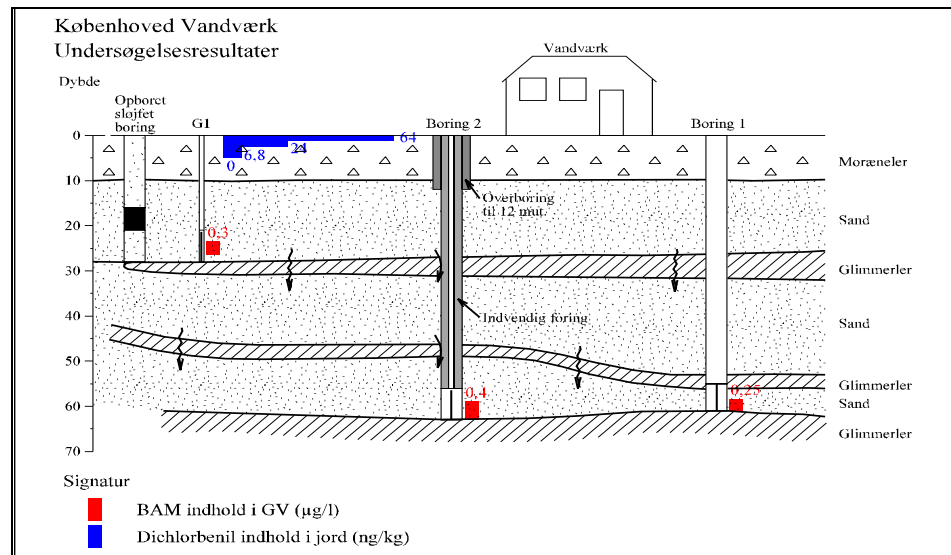
- Tv-inspektionen har i visse tilfælde givet for få informationer på grund af sigtbarheden, og heat puls målinger har til tider været vanskelige at tolke på grund af følsomheden overfor ydre variationer i magasinet under forsøgene.
- En formodet kilde ved jernbanen kan ikke registreres ved enkeltstående jordprøver.
- Opstrøms undersøgelsesboringer mellem formodede kilder og vandforsyningen til mellemste magasin vil være en hjælp til mere sikkert at kunne konkludere noget mere eksakt om transportveje (og kilder).
- For med sikkerhed at kunne afgøre om der er skorstenseffekt med transport af forurening, bør man udtage niveauspecifikke vandprøver, som i boring 7. Undersøgelserne viser vigtigheden af også at få specifikke kemiske analyser (BAM, organiske og uorganiske indikatorparametre), specielt i tilfælde som disse, hvor de indirekte målinger ikke umiddelbart kan vise om der er mulighed for lækage langs forerør i boringerne.

4.1.1.3 Københoved vandværk

Københoved Vandværk er beliggende på Rødning Bakke i et område med overvejende tertiær lerbund. Dæklaget består øverst af moræneler til 10 m dybde, herunder findes øvre magasin bestående af smeltevandssand og -grus til ca. 25 m dybde, hvor prækvarteroverfladen findes. Vekslede overvejende sandede tertiære aflejringer (glimmer) ses ned til ca. 56 m dybde, hvorunder indvindingsmagasinet, bestående af kvarts-/glimmersand træffes, og afsluttes i sort glimmerler ca. 60-65 m. u. t.. De vekslende lag fremgår af figur 4.4.

Kildepladsen er fra 1951-52 og indvinder årligt ca. 35.000 m³ fra 2 indvindingsboringer (DGU 132.882 (B2) og 132.883 (B1)) er filtersatte i ovennævnte magasin. Boringerne er udført i 1986. Der blev i 1998 konstateret et indhold af BAM på 0,290 µg/l i B2. Siden hen er det konstateret, at den nærliggende B1 også er forurennet, dog i en lavere koncentration, senest under grænseværdien. Foreningskoncentrationen i B2 er fortsat høj og stigende, seneste analyse før nærværende undersøgelse 0,40 µg/l.

Der er tidligere udført Tv-inspektion i borerer på vandværket. Der er konstateret utæt forerør i en boring (boring 2). Derfor er boringen renoveret med en indvendig udføring og en overboring til 13 m u.t. Efterfølgende analyser har dog ikke hjulpet på BAM-koncentrationerne i boringen. Nærværende undersøgelse har søgt at afklare årsagen til disse forhold, ved detektion og opboring af sløjfet boring, udførelse af undersøgelsesboringer, udtagning og analyse af jordprøver, sekundære og primære vandprøver, samt udførelse af længerevarende pumpetests. Forureningsforholdene er illustreret på figur 4.4.



Figur 4.4 Forureningssituation og strømningsveje ved Københoved Vandværk

Ud fra undersøgelserne på Københoved Vandværk kan følgende konkluderes:

- Der er benyttet Prefix på vandværket, og der er fundet dichlobenil og BAM-forurening i jordprøver på vandværket. Kilden til forureningen er derfor højst sandsynligt vandværket
- Tidligere udførte Tv-inspektioner viste utætte borerer. Den efterfølgende boringsrenovering har ikke haft nogen effekt. Den indvendige udføring har stoppet utæthederne i forerør, men den udvendige overboring er kun lavet til 12 m u. t., hvilket er for lidt, da der er konstateret andre transportveje til 20-30 m u. t. hvorfra forureningen (skorstenseffekten) kan fortsætte.
- Der konstateres forurening i alle borerer og der registreres forurening af samme størrelsesorden i sekundært og primært grundvand. Magasinerne er derfor kraftigt påvirkede til en dybde af over 60 m.
- Pumpetesten viste ingen forskydninger af koncentrationerne.
- Alt tyder på en magasinforurening, hvor det ikke kan udelukkes, at der sker en boringsbetinget transport, men der er også andre transportveje til magasinerne, evt. via sløjfede borerer de øverste 16-17 m og derefter videre blandt andet langs ydersiden af forerøret på boring 2 under overboringen.

Sammenfattende kan det konkluderes, at der er tale om en kompleks forureningssituation, sandsynligvis med mange transportveje. Det øverste magasin til 30 m u.t. er forurenet. Der er højst sandsynligt sket en transport

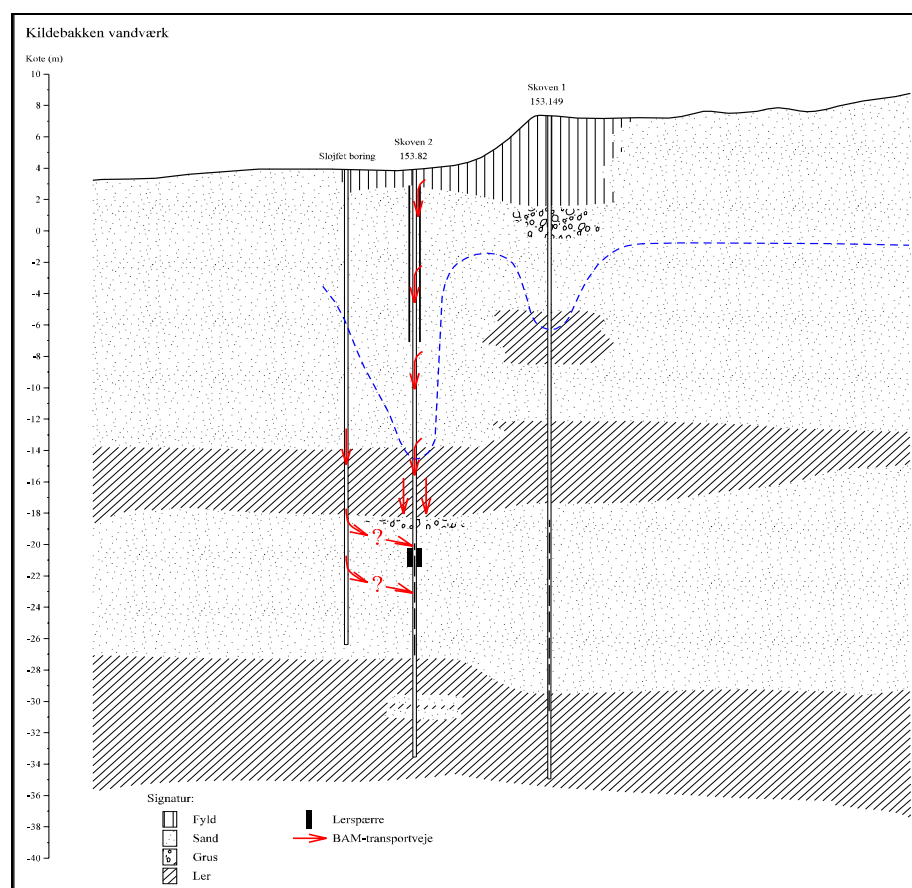
via en sløjfet boring til 16,5 m u. t., og herfra videre ad sandede aflejringer. En konklusion på denne sag er, at det efter reovering af forurenede boring ikke er lykkedes at reducere forureningen. Der er fjernet en mulig lækage, men der er i dette tilfælde andre veje, som kan transportere forureningen.

4.1.1.4 Kildebakken vandværk

Kildebakken Vandværk indvinder grundvand fra et glacialt sandmagasin cirka 24-39 meter under terræn. Magasinet er overlejret af et tyndt morænelersdække af varierende tykkelse, op til cirka 5-7 meter. Der er intet ler i lagsøjlen i en enkelt boring (DGU-nr. 153.245), der er filersat i ovenliggende sandlag (13-23 m u.t.). Rovandsspejlet er 2-6 m u.t.. Boringer med ler i lagsøjlen har artesiske vandspejle, mens boringer uden ler har frit vandspejl.

Vandværket er fra 1903. Der er 3 indvindingsboringer, men en boring er aldrig i brug. Den årlige indvinding udgør cirka 375.000 m³.

De tidligere aktiviteter er omtalt på bilag 8.3. Der er foretaget undersøgelser af boringskonstruktioner i en boring på Kildebakken Vandværk. Herudover er der foretaget boringsnær kildeopsporing. Forureningssituationen er skitseret på figur 4.5.



Figur 4.5 Forureningssituation på Kildebakken omkring Skoven1 og Skoven2.

Ud fra undersøgelserne på Kildebakken Vandværk kan følgende konkluderes:

- Skoven 2 er utæt i samlinger, der er skruehuller, og der er ingen forerørstætning i forerøret. Til gengæld er der registreret en lerprop, som er sunket ned i filteret. Boringen er udført som lufthæveboring, og fejlen

er sandsynligvis sket som et resultat af for dårlig oprensning før filtersætning. Herudover er det ved induktionsloggen konstateret, at et arbejdsrør af stål til ca. 10 m u. t. er blevet stående efter boringsafslutning. Der er således mulighed for lækage af overfladevand fra terræn, samt fra det øvre sandlag til boringen via skorstenseffekt og i øvrigt via utæthederne i forerør.

- Der registreres ingen forhøjede kimtal, som indikation for problemer med overfladevand. Men der findes dog nitrat, sandsynligvis som et udtryk for en påvirkning fra det øvre sekundære magasin (Der er ingen nitrat i andre indvindingsboringer). Da det er fundet i hele den filtersatte sekvens, kan der være også være andre boringsnære transportmuligheder. Det kan ikke udelukkes, at en nærliggende spøgelsesboring kan transportere forureningen.
- Der ses ingen fald i BAM ved længerevarende pumpning og ej heller niveauforskelle i BAM-fordelingen over filteret. Dette indikerer, at BAM findes i formationen.
- Der er ikke konstateret BAM i Skoven 1. Ifølge tidligere tidsserier, er der fundet BAM i små koncentrationer i Skoven 1, samtidig med høje pulser i Skoven 2 (ca. 1/7 koncentration). Dette indikerer, at der er en sammenhængende magasinforurening, hvor man i Skoven 1 kun ser det yderste af forureningsfanen, når der måles høje værdier.
- Kilden til forureningen er ikke fundet. Recipienten eller området lige ved boringen er ikke kilden på grund af de små indhold. Kilden skal sandsynligvis findes opstrøms indvindingen, sandsynligvis fra byen. Forureningen bidrager desuden med forureningsafstrømning til recipienten.
- Tidligere steg koncentrationen markant i Skoven 2 efter at pumpen blev slukket. Det tyder ligeledes på en boringsnær kilde og eller lækage.

Samlet kan det konkluderes, at man ikke kan være sikker på, at forureningstransporten udelukkende er boringsbetinget, selv om der findes utætheder og skorstenseffekt. Der er højst sandsynligt bidrag via boringskonstruktionen, men også tegn på en anden boringsnær lækage til magasinet opstrøms for boringen.

En undersøgelsesboring opstrøms for boringen til det sekundære og primære magasin om muligt tæt på den sløjfede boring vil kunne styrke konklusionerne mht. transportveje og kilder.

4.1.1.5 Tejn vandværk

Tejn Vandværk indvinder årligt ca. 90.000 m³ grundvand. I fire indvindingsboringer på Tejn Vandværks kildeplads i Muredam er der påvist indhold af BAM. Drikkevandsproduktionen er derfor flyttet til andre kildepladser, mens der afværgepumpes på Muredam. Det højeste indhold - 0,180 µg/l BAM - er påvist i boring DGU-nr. 244.544 i en vandprøve udtaget den 10. august 1999. De øvrige tre indvindingsboringer havde indhold af BAM under grænseværdien. Forureningssituationen, den geologiske situation og tidligere udførte undersøgelser er nærmere beskrevet i bilag 8.4.

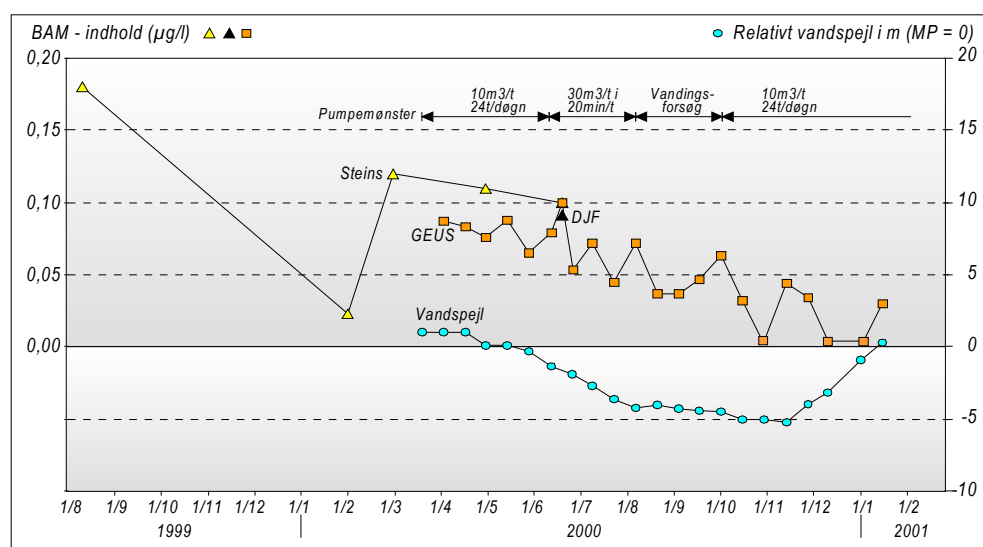
Det primære formål med undersøgelsen har været at afklare:

- om BAM-indholdet varierer efter årstiden - for eksempel om indholdet er størst, når grundvandstanden er lavest på kildepladsen,
- om driftsformen influerer på BAM-indholdet (konstant versus alternerende drift),
- om nedbøren influerer på BAM-indholdet, f.eks. ved nedsivning via udtørringssprækker eller utætheder langs foringsrør.

Med henblik på at opfylde ovenstående formål er der i perioden april 2000 - januar 2001 gennemført et pumpeprogram som skitseret på figur 4.6.

I hele perioden er der udtaget vandprøver til BAM-analyse fra boring 244.544 hver 14. dag. Første vandprøve blev udtaget den 3. marts 2000 og er - i lighed med de efterfølgende prøver - sendt til GEUS til immunkemisk analyse for BAM. Derudover er der den 1. maj og 20. juni udtaget vandprøver til akkrediteret analyse på Steins Laboratorium og den 20. juni til analyse på Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Flakkebjerg med henblik på at korrelere analyseresultaterne. Vandstanden i nærliggende boringer er pejlet i forbindelse med vandprøvetagningerne.

Analyseresultaterne er sammenholdt med oppumpningsmønstre, vandspejlsvariationer og oppumpede vandmængder i figur 4.6.



Figur 4.6. Udviklingen i indhold af BAM i boring, DGU nr.244.544, Muredam Kildeplads

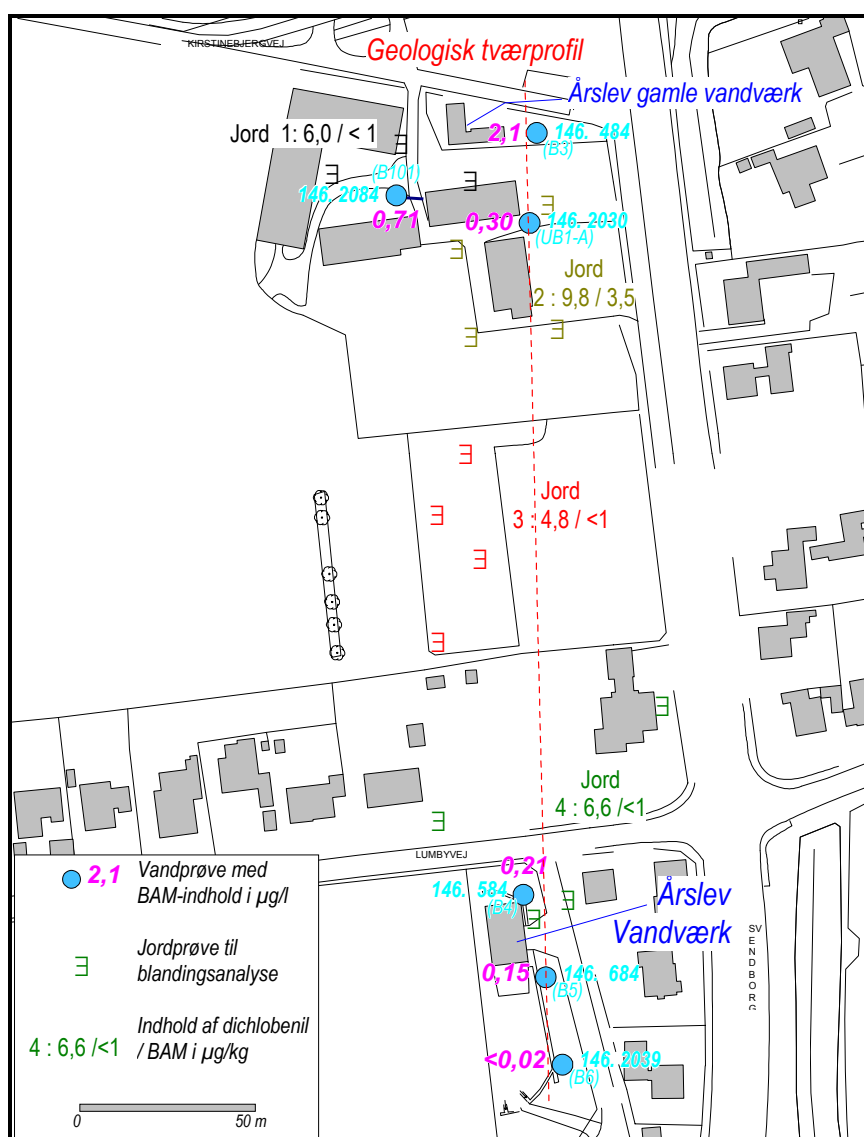
Resultaterne fra pumpeforsøget i 244.544 viser ikke den store effekt på indholdet af BAM afhængig af pumpemønstret, dvs. om afværgepumpningen foretages alternerede eller jævnt over døgnet. Selvom de forskellige pumpemønstre ikke har vist forskellig effekt, har afværgepumpningen fra boringen haft effekt. Indholdet af BAM har - med mindre variationer - været jævnt faldende siden projektets start i marts 2000 og varierer nu - primo 2001 - omkring detektionsgrænsen. Det kan ikke på baggrund af undersøgelserne konkluderes om infiltration af vand omkring boringen har effekt på indholdet af BAM i boringen, idet koncentrationsniveauet er så lavt at en eventuel effekt

drukner i usikkerhed. Boringen har hydraulisk kontakt til vandførende lag nær terræn og er dermed langt mere udsat for forurening fra terræn end tidligere antaget.

Der kan ikke peges på en egentlig kilde til BAM-forureningen. Trods det negative resultat af interviewundersøgelsen blandt lodsejerne i oplandet må der ikke desto mindre have været et forbrug af Prefix og Casoron på en del af ejendommene, hvis belastningen i grundvandet skal kunne forklares.

4.1.1.6 Årslev vandværk

Årslev Vandværk indvinder årligt ca. 125.000 m³ grundvand. Kildepladsen ligger på vandværksgrunden i den vestlige ende af byen og indbefatter 3 boringer, hvoraf 1 boring (B4) i 2000 er overgået til afværgepumpning på grund af et BAM-indhold på cirka 0,2 µg/l. Cirka 250 meter nord for vandværket afværgepumpes fra 2 boringer, - den ene B101 blev oprindeligt udført og idriftsat af Fyns Amt for en phenolforurening, men anvendes i dag overfor BAM-forurening og den anden B3 er en tidligere indvindingsboring til Årslev gamle Vandværk. På figur 4.7 er vist forureningssituationen med BAM i grundvandsmagasinet målt i november 2000.

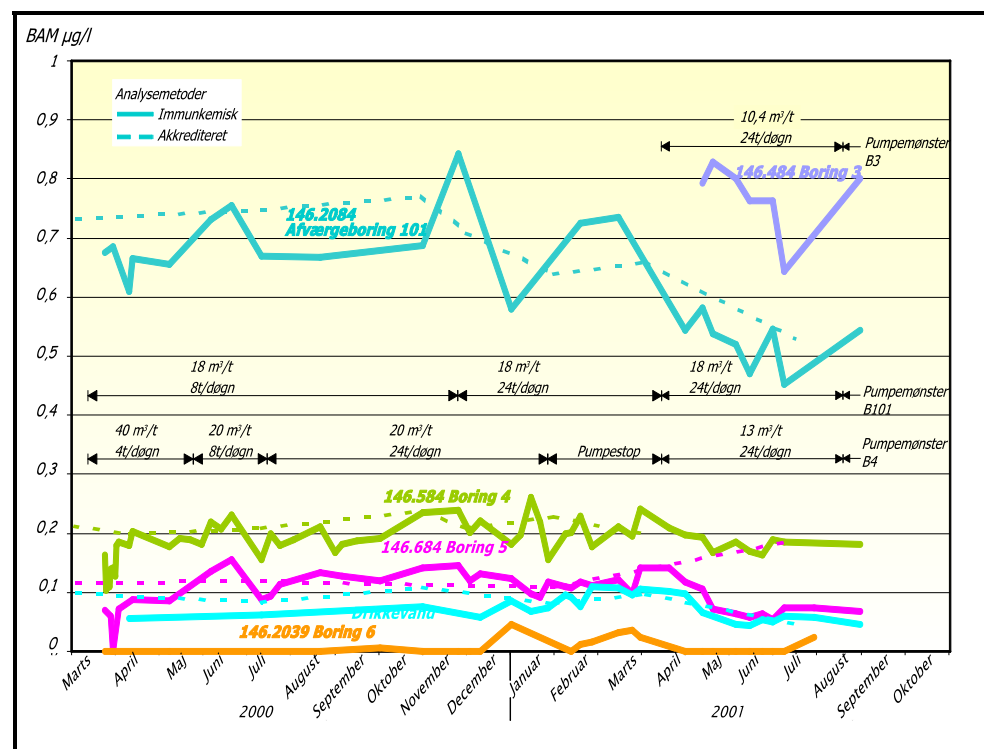


Figur 4.7. Oversigtskort, Årslev Vandværk

I 1995 blev der påvist BAM i vandet fra Årslev Vandværks indvindingsboring B4. Indtil udgangen af 1998 kunne indholdet af BAM i drikkevandet holdes under grænseværdien på 0,1 µg/l ved at blande med vand fra vandværkets to andre boringer. Forureningen havde i mellemtiden også bredt sig til naboboringen - B5. Embedslægen gav i februar 1999 vandværket en frist på ét år til at vurdere, hvad der kunne gøres for at bringe koncentrationen i drikkevandet ned igen.

Årslev Vandværk indvinder grundvand fra et sandmagasin ca. 10-20 m u. t.. Sandmagasinet er højtydende med en specifik kapacitet på ca. 40 m³/t pr. meter sænkning og et grundvandspotentiale omkring kote 34 til 36. Der er frit vandspejl i boringerne ved det nye vandværk, men ellers er magasinet overvejende spændt. Magasinet er dækket af cirka 10 meter moræneler. Forureningssituationen, den geologiske situation og tidligere udførte undersøgelser er nærmere beskrevet i bilag 8.4.

Formålet med drifts- og afværgeoptimeringen har været at undersøge, hvordan variationer i afværgepumpningen fra boring B4, B101 og B3 influerer på koncentrationen af BAM, dels i afværgeboringerne og dels i indvindingsboringerne B5 og B6. De forskellige pumpescenarier, samt udviklingen i indholdet af BAM er vist på figur 4.8.



Figur 4.8. Udvikling i indholdet af BAM, Årslev Vandværk

Det fremgår heraf, at ændringer i pumpemønstret i B4 og B101 tilsyneladende ikke har haft nogen markant effekt på BAM-indholdet, hverken i afværgeboringerne eller i de to indvindingsboringer B5 eller B6. Figur 4.8 viser tilsyneladende, at indholdet af BAM i B101 reduceres fra 0,7 µg/l i marts 2001 til omkring 0,5 µg/l i august 2001, men det skyldes formentlig, at der iværksættes afværgepumpning fra B3 i april 2001. BAM-indholdet i B3 er omkring 0,7-0,8 µg/l.

BAM-indholdet i B4 og B5 reduceres umiddelbart efter start af afværgepumpningen i marts 2000 for derefter at være svagt stigende frem til november 2001 og stagnere i perioden november 2000 til marts 2001. Efter marts/april 2001 ses en tendens til, at indholdet af BAM i de to boreriger reduceres. På samme tidspunkt påbegyndes afværgepumpning fra B4 igen efter 3 måneders pumpestop og yderligere iværksættes afværgepumpning fra B3. BAM-koncentrationen i B4 og B5 er ved udgangen af august 2001 nedbragt til samme niveau som før afværgepumpningens begyndelse – 0,18 µg/l i B4 og 0,07 µg/l i B5.

Indholdet af BAM i B6 ligger omkring detektionsgrænsen for BAM med enkelte fluktuationer.

Resultaterne fra pumpeforsøget viser ikke den store effekt på BAM-koncentrationen afhængig af pumpemønsteret, dvs. om afværgepumpningen foretages alternerede eller jævn over døgnet.

Der observeres effekt af afværgepumpningen ved det gamle vandværk, når der både afværges fra B3 og B101 – indholdet af BAM i B101 nedbringes fra 0,7 µg/l til 0,5 µg/l. Efter iværksættelse af afværgepumpningen fra både B3 og B101 observeres en mindre reduktion i BAM-indholdet i borerigerne ved det nye vandværk. Dette tyder på, at BAM trækkes til indvindingsboringerne ved det nye vandværk fra en mere fjerntliggende kilde, eventuelt fra et område omkring det gamle vandværk. Der kan dog ikke ved kildesporingen peges på en egentlig kilde til BAM-forurening. Undersøgelse af jordprøver giver billedet af en generel fladebelastning med dichlobenil i området, der ikke er alarmerende høj.

4.1.1.7 Varde

Der er udført en række undersøgelser på Lerpøtvej Kildeplads tilhørende Varde Vandforsyning, hvor der er påvist pesticider i 6 af kildepladsens 12 boreriger. Boringsplacering fremgår af bilag 8.4. Formålet med undersøgelsen har været at klarlægge mulighederne for levetidsforlængelse af kildepladsen.

Ved vandanalyser for 23 pesticider udført i 1998 på Lerpøtvej Kildeplads, Varde Vandforsyning, er der konstateret BAM i 6 af 12 boreriger. BAM-indholdet varierede fra 0,014 - 1,3 µg/l (grænseværdien: 0,1 µg/l). Der er ingen umiddelbar sammenhæng mellem i hvilke boreriger, der findes henholdsvis høje og lave koncentrationer af BAM, og hvor der findes forurenede og uforurenede boreriger. Der er ingen sammenhæng mellem boringens alder og forureningsgraden. Disse forhold tyder på, at der ikke er tale om en generel grundvandsmagasinforurening af kildepladsen, men at punktformige pesticidforureninger omkring eller tæt på indvindingsboringerne er årsag til de høje BAM-koncentrationer i enkelte boreriger. Det er ud fra antagelsen, at forureningen nedsiver lokalt omkring boringen fra punktforureninger, at undersøgelserne af kildepladsen er udført.

På grundlag af eksisterende materiale er der udført en karakteristik af de 12 boreriger på kildepladsen. Hver enkelt boring er detaljeret beskrevet i forhold til geologiske forhold, udførelse og udbygning, vandkvalitet, driftsforhold og arealanvendelse omkring borerigerne /1, 2, 3/. Der er i forbindelse med udarbejdelse af boringskarakteristikken foretaget en besigtigelse af borerigerne.

Der er herefter udført undersøgelser i borerigerne. Gammalogging er i denne sammenhæng udført med henblik på undersøgelse af om borerigerne er

lerforseglet forskriftmæssigt. De udførte undersøgelser har vist, at der ikke findes lerforseglinger i borerne etableret før 1977.

Tv-inspektion er udført som et led i undersøgelse af utætheder/lækager i forerør. Tv-inspektionen har vist, at jernboringerne er stærkt nedbrudte. Der er påvist et tydeligt hul i en boring (B9). Et forsøg på at rede denne boring var at overbore det eksisterende forerør, og derefter bore til større dybde i håbet om at finde et dybereliggende magasin med en tilfredsstillende vandkvalitet.

I 2 borerne (B11 og B13) er fundet høje BAM-koncentrationer i råvandet, og der har været mistanke om at BAM-forureningen skyldes ”skorstenseffekt”. Til undersøgelse heraf er foretaget niveauprøvetagning og separationspumpning med flowlog, hvor det blev verificeret, at BAM-koncentrationen øverst i filteret var højere end i prøver udtaget i filtersektionen hvor indstrømningen fra formationen er størst.

I et forsøg på kildeopsporing til BAM-forureningen er der omkring B11 og B13 udført 2 borerne, 4 borerne i alt, henholdsvis 2 m og 8 m fra B11 og B13. Der er udtaget jordprøver fra topjorden og fra hver halve meter, samt fra toppen af lerlag og organiske lag. Kun i overfladeprøven 2 m fra B11 blev der fundet spor af BAM. Efterfølgende er der lavet kildeopsporing i et større opland til borerne end de 10 m, der som udgangspunkt var valgt ud fra antagelsen om at kunne være sprøjtet omkring nærzonen til boringen. Omkring B11 og B13 blev der taget blandingsprøver fra stier, hegn, plæner, bede og sportsplads. Ved B11 blev der fundet små mængder af dichlobenil og BAM.

Undersøgelserne viser at der har været brugt dichlobenilholdige bekæmpelsesmidler tæt ved B11 og i oplandet til boringen. Det er ikke lykkedes at påvise større puljer. Det tyder på, at det ud over antagelsen om at det er brugt boringsnært også er brugt i nærområdet til boringen.

På baggrund af de indledende undersøgelser af borerne på Lerpøtvej Kildeplads blev der arbejdet videre med renovering af borerne B9 og B11 med henblik på forlængelse af borerne og dermed kildepladsens levetid.

Overboring af B11 er foregået på den måde, at der ved hjælp af direkte skylleboring er boret uden om det eksisterende forerør med en større dimension, hvor forerøret bruges som styr under borearbejdet. Da den eksisterende boring var overboret ca. 1 m under niveauet for filteret, blev forerøret trukket op, ca. 3 m af gangen. Der skiftedes så til indirekte skylleboring (luft-hæve metoden), og der blev boret til større dybde, hvorefter boringen forsegledes forskriftmæssigt. Der blev påvist gunstige grundvandsmagasinformhold i større dybde, hvor et nyt indvindingsfilter blev sat. Efter renpumpning er der udtaget vandprøver, som har vist tilfredsstillende grundvandskvalitet, og der er ikke påvist BAM i niveauet for indvindingsfiltret.

Efter overboringen er der søgt indvindingstilladelse til oppumpning fra den dybereliggende del af magasinet. Indvindingen fra B11 er igangsat og magasinet overvåges. Der pumpes med en ydelse på 10 m³/t 24 timer i døgnet. Tidligere blev der pumpet 40 m³/t i 6 timer i døgnet. Trykforholdene følges og der vil blive udtaget vandprøver til analyse for at følge udviklingen. Der er således foretaget en levetidsforlængelse af kildepladsen. Der er endnu ikke foretaget en beregning af hvor længe at kildepladsen kan anvendes.

4.1.2 Sammenstilling af undersøgelser af boringskonstruktioner

Der er indhentet undersøgelser af boringskonstruktionen fra 172 boringer. Disse boringer repræsenterer dels boringerne undersøgt i nærværende projekt (kategori 1 og 2 boringer), men primært tidligere undersøgte boringer (kategori 3 boringer). Der er i alt registreret 144 boringer eller ca. 84 % med tegn på en eller anden form for defekt i boringskonstruktionen. På tabel 4.2 er der opgivet det totale antal boringer med en eller anden form for defekt, mens problemerne er opgivet på boringstyper, årstal og materialer er vist på tabel 4.3-4.5. Tilhørende visualiseringer via stavdiagrammer fremgår af figur 4.9-4.11. På bilag 8.4 er vedlagt en mere detaljeret beskrivelse af boringer og undersøgelser.

Fejlene er for sammenlignelighedens skyld kun opgjort for boringer, hvor der er ledt efter de pågældende fejl, og ikke for det totale antal. For defekte tørbrønde kan der være nogle usikkerheder i opgørelserne, da der i nogle undersøgelserne udelukkende har været undersøgt konstruktioner under terræn. Ligeledes kan der være nogle uregelmæssigheder mht. boringstyperne med blivende borerør (type I, II, IV og V) mht. forerørsforerørstætning, da boringstyperne er etableret uden tætning. Der er for disse boringer foretaget en subjektiv vurdering fra boring til boring, i forhold til egentlige undersøgelser, som kan underbygge en skorstenseffekt.

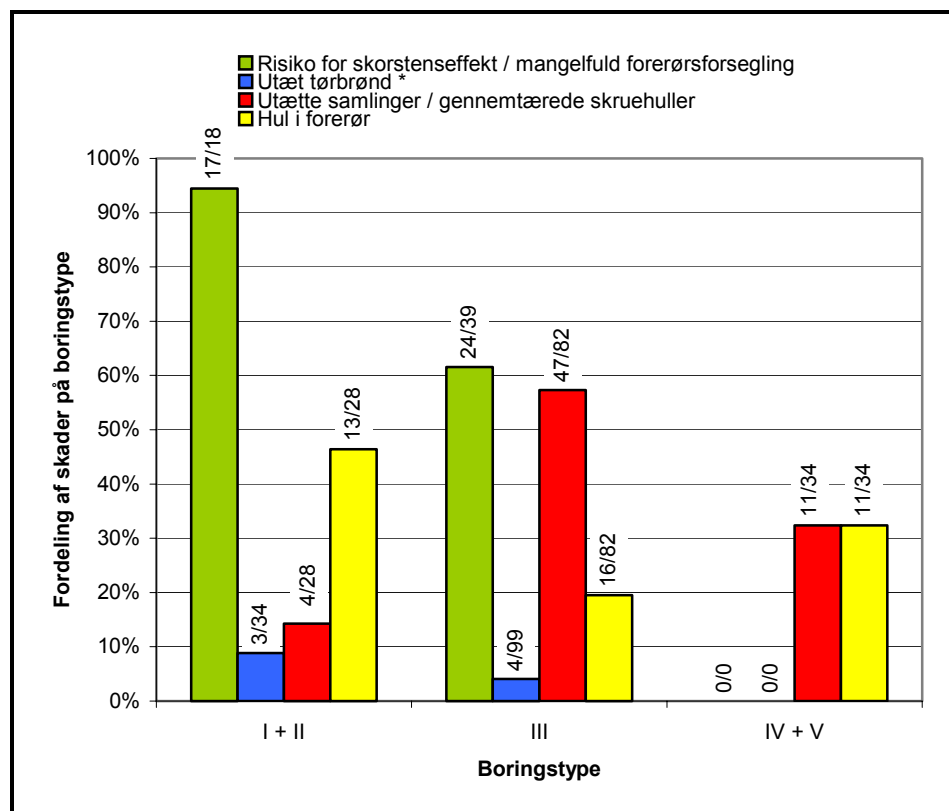
	% med defekt	Antal med defekt
	Total	Total
Mangelfuld forerørsforerørstætning eller risiko for skorstenseffekt	72	41 af 57 undersøgte
Utæt tørbrønd	4	7 af 133 undersøgte
Utætte samlinger + gennemtærede skruehuller	43	62 af 144 undersøgte
Gennemtæret forerør / hul i forerør	28	40 af 144 undersøgte

Tabel 4.2 Fordeling af fejl i boringskonstruktionerne

Langt hovedparten af de undersøgte boringer er af boringstype III (57 %), hvilket også afspejler det reelle billede af eksisterende indvindingsboringer, da der eksisterer flest af denne type. Undersøgelsesresultaterne viser, at der ofte registreres en mulig lækagevej i boringskonstruktionerne.

	% med defekt			Antal undersøgte		
Boringstype	I + II	III	IV + V	I + II	III	IV + V
Mangelfuld forerørsforerørstætning Eller risiko for skorstenseffekt	94	62	0	18	39	12
Utæt tørbrønd	9	4	0	34	99	39
Utætte samlinger + gennemtærede skruehuller	14	57	32	28	82	34
Gennemtæret forerør / hul i forerør	46	20	32	28	82	34

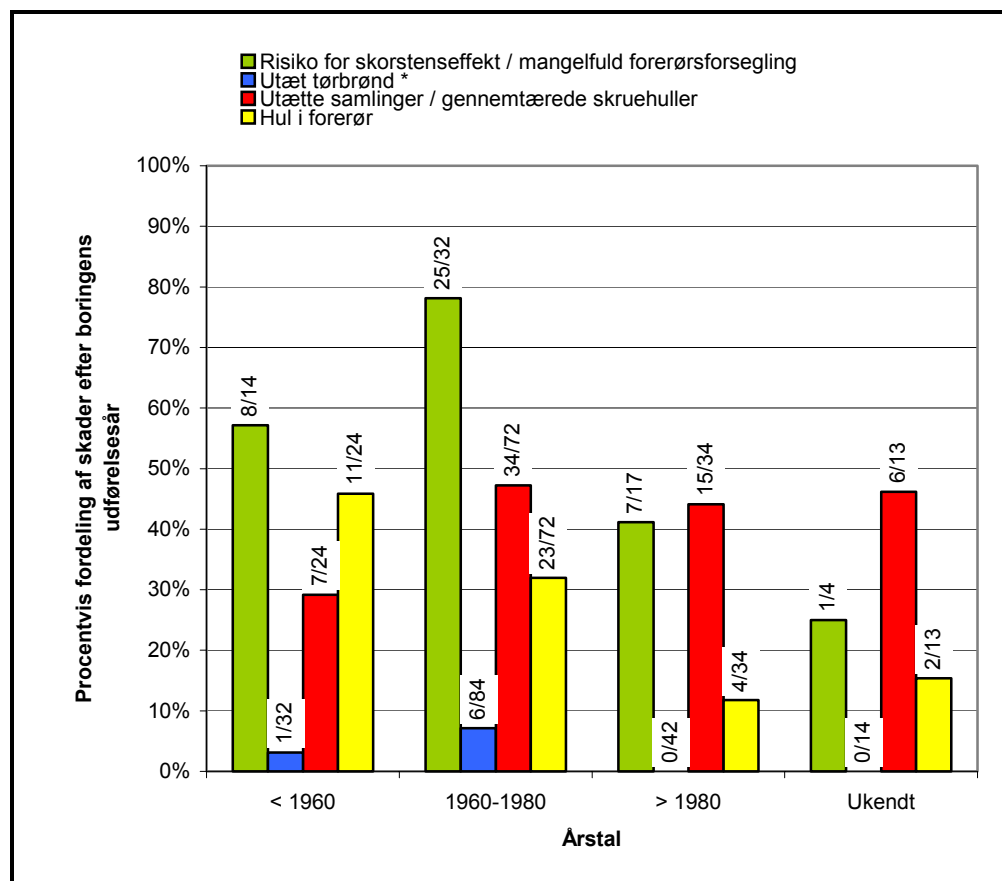
Tabel 4.3 Fordeling af skader på boringstype



Figur 4.9. Fordeling af skader på boringstyper

Boringsalder	% med defekt			Antal med defekt		
	< 1960	1960 - 1980	> 1980	< 1960	1960 - 1980	> 1980
Mangelfuld forerørsforerørstætning Eller risiko for skorstenseffekt	57	78	41	14	32	17
Utæt tørbrønd	3	7	0	32	84	42
Utætte samlinger + gennemtærede skruehuller	29	47	44	24	72	34
Gennemtæret forerør / hul i forerør	46	32	12	24	34	13

Tabel 4.4 Fordeling af skader på alder

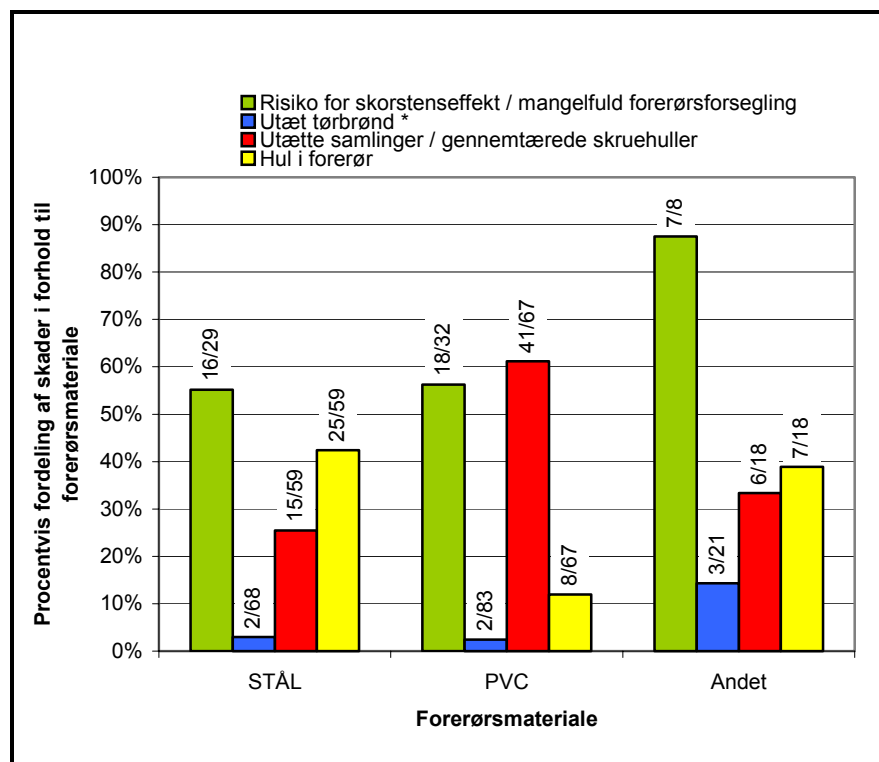


Figur 4.10 Fordeling af skader på alder

Det fremgår, at der er flest utætte samlinger i type III borerne (57 %), mens der er flest huller registreret i stålrorene (42 %). Det samme billede gælder for stål og PVC-rorene. Det er derimod ikke muligt statistisk at differentiere mellem boringstyperne med hensyn til manglende forerørstætning, da boretype I, II, IV og V er født uden forerørstætning. Derimod er det ikke det samme som at sige, at der reelt sker en lækage.

Forerørsmaterialer	% med defekt		Antal undersøgte	
	STÅL	PVC	STÅL	PVC
Mangelfuld forerørsforerørstætning eller risiko for skorstenseffekt	55	56	29	32
Utæt tørbrønd	3	2	68	83
Utætte samlinger + gennemtærede skruehuller	25	61	59	67
Gennemtæret forerør / hul i forerør	42	12	59	67

Tabel 4.5 Fordeling af skader i forhold til materialer



Figur 4.11 Fordeling af skader i forhold til forerørsmaterialer

Det skal først bemærkes, at boringsundersøgelserne normalt først igangsættes, når der ved granskning af det eksisterende datagrundlag fås mistanke om en evt. boringsbetinget forurening. Boringer undersøges fx ikke, hvis der ikke findes forurening. Dette må forventes at betyde, at der sker en overvurdering af boringernes kritiske tilstand.

Der er som nævnt kun medtaget de boringer, som er undersøgt for de specifikke lækagetyper. Der er ofte benyttet TV-inspektion til at detektere de indvendige fejl, mens der mest er benyttet gammaloggning evt. i kombination med niveauspecifikke vandprøver til at undersøge forerørstætningerne. I afsnit 4.3 er de forskellige undersøgelsesmetoder evalueret. En nærmere beskrivelse af boringsundersøgelserne findes under beskrivelserne af lækagetyperne, afsnit 4.2.

4.1.3 Samlet vurdering af udførte detailundersøgelser

På tabel 4.6 er resultater og vurderinger af undersøgelser af BAM-forureninger ved vandforsyninger vist.

	Fejl i boringsudbygning	Utætte samlinger	Gennemtræde skruehuller	Gennemtræet forerør / hul i rør	Manglende forerørstætning	Lækage fra tørbrønd	Lækage fra recipient	Spøgelsesboring	Jordforurening ved boring	Boringsbetonet forurening	Magasinforurening	Både Boringsbet og magasinforurening	Ikke afklaret	Boringsrenovering	Afværge
Alsted		X	X		X	(X)						X			
Kildebakken	X	X	X		X		X	(X)				X			X ⁴
Frederiksberg	X	X			X		X					X			
Københoved		X	X		X	(X)		X	X			X	X	X	X ⁴
Varde	X	X	X	X	X	X		?	X	X		(X)		X	X ⁴
Selling		X			X	X					X				
Stjær					X				X	X					
Gylling		X			(X)	X			X	X					
Gjessø		X						X					X		
Beder	X ⁵	X			X				(X)					X ¹²	
Åbo		X	X		X			X	X			(X)	(X)	X ¹	X ³
Holmstrup		(X)	(X)	(X)	(X)	(X)			(X)		X				
Brabrand		X							(X)			X		X ⁶	
Eskærhøj		X	X	X	X	X						X			
Trørød				X							X				
Vindeby		X			(X)						X				
Troense				(X)	(X)							X			
Landet									X		X				
Bjerreby		X	X						X		X				
Odense Eksesermark					(X)						X			X	
Staurbyskov											X				X
Strøby Egede											X				
Klausenskov									X						
Kasted					X						X				
Tejn											X				
Silkeborg					(X)			X			X				
Årslev Vandværk								X			X				X

¹: Injektion af cementstabiliseret beton langs forerør

²: Indvendig udføring (på indersiden af forerør

³: Bortgravning af jordforurening

⁴: Afværgepumpning

⁵: Fejl ved renoveringen

⁶: Opboring og erstatningsboring

X: Er tilfældet

(X): Er måske tilfældet

Tabel 4.6. Samlede konklusioner på BAM-undersøgelse, hvor der er indgået undersøgelser af boringskonstruktioner.

Tabellen viser et bredt udsnit af udførte BAM-undersøgelser, som kan være med til at give et helhedsbillede af BAM-forureningens natur. Det fremgår, at der har været udført en række undersøgelser, som alle på en eller anden måde kan bidrage med oplysninger om transportveje og forureningskilder. Af de 27

viste undersøgelser, er der med sikkerhed tale om magasinforurening de 13 steder, 9-10 lokaliteter er med både magasin og boringsbetinget transport, mens det kun i 2-3 undersøgelser vurderes, at der udelukkende er boringsbetinget transport.

4.2 Vurdering af hyppighed og betydning af de boringsbetingede transportveje

4.2.1 Lækage fra borings- og forerørsafslutning

4.2.1.1 Lækagetydens hyppighed

Ved vurdering af besigtigelsesresultaterne har det kunnet konstateres, at de fleste anlæg var i acceptabel stand. Nogle få i god stand, og mange i acceptabel stand, men dog ofte med vandfyldte tørbrønde, utætte dæksler eller brøndringe og i visse tilfælde mangelfulde forerørsafslutninger, dog kun meget få i akut fare for direkte nedløb til boringen via utætte forerørsflancher. Det skal dog bemærkes, at der er vandværker som har omlagt gamle udtjente underjordiske vandforsyningsanlæg til overjordiske råvandsstationer.

Der findes ingen egentlig opgørelse over problemets omfang på landsplan, men erfaringer fra et andet projekt /50/, som specifikt omhandlede problematikken, viser ved tilstandsvurdering af 78 almene vandforsyningsboringer, at ingen overbygninger var i uacceptabel stand med risiko for transport af overfladevand/-grundvand til dybere niveau. 24 var i acceptabel stand og 54 i god stand. For 340 enkeltindvindingsanlæg var derimod 104 anlæg i uacceptabel stand.

I de undersøgte boringer på bilag 8.3 er ca. 4 % angivet med en utæt tørbrønd. Denne undersøgelse skal dog tages med forbehold, da disse undersøgelser ikke direkte har haft til formål, at undersøge overbygningerne, og kun uacceptable skader er medtaget.

Hvis tilstandsvurderingen viser, at indvindingsanlægget er i uacceptabel stand, findes der en række tiltag, som kan foretages for at udbedre skaden, alt afhængig af arten. Reparationer og renoveringer er omtalt i afsnit 5.

4.2.1.2 Lækagetydens betydning for forureningstransport

I tilfælde af at der er tale om et defekt anlæg, vil der være risiko for forurening af magasinet. En vurdering af problemets betydning for nedsivning til indvindingsreservoiret afhænger af lækagens natur. I tilfælde af at der er tale om "tragt-situationen", jf. figur 2.22, kan der foretages simple konservative beregninger for nedsivningen i boringen, baseret på et skøn over et sandsynligt afvandingsområde af terrænnært vand, samt en infiltration. Der er set på 3 tilfælde:

- Konservativ situation med et afvandingsområde på radius $R=20$ m og nedsivningen $N=500$ mm/år (nedbørsmæssigt vstdanske forhold, hvor tørbrønden er placeret i en lavning i terrænet, og hvor der samtidig er mulighed for afstrømning mod boring).
- Sandsynlig situation med et afvandingsområde på radius $R=3$ m og nedsivningen $N = 200$ mm/år.
- Optimistisk situation med et afvandingsområde på radius $R=2$ og nedsivningen $N=150$ mm/år.

På tabel 4.7 er resultatet vist.

	Lækage til magasin m ³ /år	Fortyndingsfaktor ved oppumpning på 10 m ³ /t	Koncentration i magasin (µg/l) ved en koncentration på 1 µg BAM / l i overfladevand
Konservativ situation	628	140	0,007
Sandsynlig situation	6	14.600	6,8 x 10 ⁻⁵
Optimistisk situation	2	43.800	2,3 x 10 ⁻⁵

Tabel 4.7. Lækage til magasin fra utæt overbygning.

Ofte vil små reparationer kunne være nok til at stoppe en lækage fra boringens top. Renoveringsmetoder fremgår af afsnit 5.

4.2.2 Lækage langs forerør

4.2.2.1 Lækagetydens hyppighed

Der er som beskrevet i afsnit 2.1 tale om mange former for skorstenseffekt, som kan være mere eller mindre svære at detektere, og være af større eller mindre betydning. Som det fremgår af undersøgelsesresultaterne er problemet med manglende eller dårlige forerørstætninger udbredt. Der er i de opgjorte undersøgelser konstateret boringer med risiko for skorstenseffekt i over 60 % af undersøgelsestilfældene. Der er ingen sammenhæng med alderen af boringerne.

4.2.2.2 Lækagetydens betydning for forureningstransport

Der er i det følgende foretaget beregninger på skorstenseffektens betydning for forureningstransport ud fra konservative betragtninger. Ved beregninger for skorstenseffekten kan konservativt benyttes følgende situationer:

- A) Langs forerør, hvor der er gruskastet uden afpropning (type III). Herunder ved sløjfede boringer, hvor tilkastningen kun er sket inden i boringen, og der til stadighed kan foregå en transport langs forerøret.
- B) Ved blivende borerør (type I, II, IV og V).

Egenskaberne af materialet mellem borevæg og forerør har betydning for infiltrationen, ligesom potentialeforholdene i primært og evt. sekundært magasin betydning. Herudover har dybden til magasinet betydning for nedsivningen af forurening. Der er i beregningseksemplerne opstillet en række konservative forudsætninger. Ligesom der er beregnet en minimum og en maksimum nedsivning for hvert beregningstilfælde. Der er konservativt regnet på de geologiske hovedtyper 4 (+2) og 5 (+6), hvor der regnes med sekundært grundvandsmagasin. Der er tale om de geologiske hovedtyper, som konsekvent er benyttet i projektet i øvrigt. De geologiske typer er nærmere beskrevet i hovedrapporten, afsnit 5.

Der er gjort følgende forudsætninger:

- Dybde til primært magasin mp = 16 m / 30 m
- Mægtighed af sekundært magasin, hovedtype 4 ml = 1 m
- Mægtighed af sekundært magasin, hovedtype 5 ml = 5 m
- Hydraulisk ledningsevne i det sekundære magasin kl = 10⁻⁵/10⁻⁷ m/s
- Hydraulisk ledningsevne i "skorsten" kb = 10⁻³/10⁻⁷ m/s
- Borehulsdiameter A): db = 0,4 m, B): db = 0,44 m
- Forerørsdiameter A): df = 0,24 m, B): db = 0,40 m

- Potentiale i primært magasin

Hp = 8 mu t/16 mut

Hovedresultaterne fremgår af tabel 4.8

	Høj ledningsevne i skorsten m ³ /år		Lav ledningsevne i skorsten m ³ /år	
	Type III	Type I, II, IV, V	Type III	Type I, II, IV, V
Geologisk hovedtype 4	70 - 1000	20-350	0,1	0,04
Geologisk hovedtype 5	80 - 2500	25-800	0,06 - 0,3	0,02-0,08

Tabel 4.8 transport til primært magasin som følge af skorstenseffekt.

Det fremgår af ovenstående, at der for type III i skorsten med høj ledningsevne boringer må forventes at strømme mellem 190 og 3000 liter igennem "skorstenen" til magasinet hver dag i hovedtype 4, og tilsvarende mellem 220 og 6800 liter i hovedtype 5. Det spiller naturligvis en rolle hvor stor ledningsevnen i skorstenen er. Her er der regnet med et spænd fra grus til ler. (I de fleste tilfælde med normalt tilbagefyld vil mængderne ligge et sted midt imellem de beregnede værdier), mens den lave ledningsevne svarer til at der er en eller anden type forerørstætning af borehullet. For blivende borerør som forerør vil nedsivningsmængden blive ca. 1/3. Til gengæld kan det så tænkes, at der er flere tilfælde af skorsten med høj ledningsevne, da disse typer boringer aldrig tidligere er afproppet.

For en indvindingsboring (type III) der yder 10 m³/t vil det give en fortyndingsfaktor af det nedsivende vand på mellem 1.300 og 35. Der er tale om yderværdier, som i de fleste tilfælde vil betyde at man ligger et sted midt imellem: Det vil med de kendte BAM-koncentrationer i de fleste tilfælde betyde, at man vil holde sig et pænt stykke under grænseværdien, vel og mærke når pumpen er i funktion. Tilsvarende eksempel for lav ledningsevne i skorstenen, vil tilskuddet af vand være forsvindende.

I de små vandværker, hvor behovet for store vandmængder ikke findes, kan skorstenseffekten i flere tilfælde vise sig at være et problem, hvis der findes høje koncentrationer i sekundært grundvand. Eksempelvis vil der kunne træffes BAM-koncentrationer over grænseværdien (0,1 µg/l) i det oppumpede vand i en ikke forerørstætnet boring (pumpeydelse på ca. 1 m³/t) som følge af skorstenseffekt langs ydersiden af forerør, der svarer til en hydraulisk ledningsevne som mellemkornet sand, hvis der som minimum findes ca. 5-10 µg BAM/l i det overfladenære grundvand med kontakt til boringen. Svarer skorstenens hydrauliske ledningsevne derimod til grus, skal der findes ca. 0,5-1 µg BAM/l i det sekundære grundvand med kontakt til boringen, for at der sker overskridelser af grænseværdien. Det første tilfælde er meget sjældent tilfældet mht. koncentrationerne i øvre grundvand, mens eksempel nr. 2 er mere realistisk. Til gengæld er det nok sjældnere, at skorstenseffekten er så kraftig som antaget i det sidste tilfælde.

Tracerforsøg med natriumchlorid for undersøgelse af skorstenseffekt i 2 boringer er udført af Odense Vandselskab i november 2001 /44/. Undersøgelsen påviser skorstenseffekt i den ene boring med en lækage på ca. 160 l/t (=60 m³/år) på ydersiden af forerøret til indstrømningsintervallet 38 m u. t., svarende til en fortyndingsfaktor på ca. 150-200. I en anden boring kunne intet påvises.

4.2.3 Lækage igennem forerør, samlinger og skruehuller

4.2.3.1 Lækagetydens hyppighed

Som det fremgår af tabel 5.1 er der fundet utætte samlinger og/eller skruehuller i 62 tilfælde. Utætheder i samlinger ses i 61 % af de undersøgte PVC-rør, mens de ses i 25 % af de undersøgte jernrør. De fleste utætheder registreres i type III borer (57 %). Endelig skal det bemærkes, at fejlen findes i 44 % af de undersøgte borer etableret efter 1980.

4.2.3.2 Lækagetydens betydning for forureningstransport

For indsivning i forerør er der i forskellige undersøgelser udført forskellige indsivningsforsøg med packer. Det er disse forsøg som danner grundlag for vurderingen af konsekvensen af disse utætheder tilstedeværelse. På Tåsinge /43/, Søllerød /9,10/ og Flakkebjerg vandværk er der udført indsivningsforsøg, hvor indstrømningen igennem utætte samlinger og skruehuller er testet. I alle tilfælde er der benyttet packer under registrerede utætheder. Det er ved alle forsøgene vist, at der kun sker en meget lille indstrømning fra utæthederne, mindre end 10 liter pr. dag. Med de kendte koncentrationer i BAM-forureninger i sekundært grundvand og oppumpningsmængder i øvrigt, vil det kun i meget sjældne tilfælde kunne føre til værdier, som overskrider grænseværdierne. Eksempelvis vil der ved indsivning i utætte samlinger på konservative 100 liter/dagen kunne træffes BAM-koncentrationer over grænseværdien (0,1 µg/l) i det oppumpede vand i en boring med en pumpeydelse på 1 m³/t, hvis der som minimum findes 24 µg BAM/l i det overfladenære grundvand med kontakt til boringen. Da der i projektet maksimalt er registreret op til 10 µg BAM/l i overfladenært/ sekundært grundvand svarer dette til et meget højt indhold.

4.2.4 Lækage igennem forerør, hul i rørene

4.2.4.1 Lækagetydens hyppighed

Der findes stadig mange virksomme vandforsyningsboringer med forerør af stål, og der bliver stadig etableret nye borer af stål (type IV og V). Der har været meget stor forskel på kvaliteten af det stål, som er benyttet til forerør (stål-52 fra Krupps, billige (og dårlige) kedelrør, dampør (stål-37) osv.). Der har sjældent været stillet krav til kvaliteten. Nogle rør har en maksimal levetid på 30 år, selv i ikke aggressive miljøer.

Der er i undersøgelsen i 62 tilfælde ud af 172 borer registreret huller i forerørene (svarende til 36 %). Dermed synes der at være et reelt problem i vandforsyningsboringerne. Problemet er klart størst i stålboringer med 42 % med tærede rør. Dette går igen i type I / II og IV / V borerne, hvor der registreres hul i 46 % henholdsvis 32 % af borerne. I type III ses denne lækagetype i ca. 19 % af de undersøgte tilfælde, mens det gælder for 12 % af PVC-rørene. Der er ligeledes konstateret hul i forerør i 12 % af undersøgte borer etableret efter 1980.

4.2.4.2 Lækagetydens betydning for forureningstransport

Hul i forerør kan ikke generelt skønnes ved beregninger, idet det specifikke tilfælde er afgørende for konsekvensen. Problematikken kan sammenlignes med de utætte samlinger, men ofte er indstrømningsarealet større, og dermed også lækagen. Et eksempel på indsivningstest fra et (sandsynligt) tæret forerør /43/, viser dog i et enkeltstående tilfælde et ubetydende problem i forhold til BAM-forurening.

4.2.5 Lækage langs sløjfede boringer

4.2.5.1 Lækagetydens hyppighed

Der findes et utal af tidligere virksomme vandforsyningsboringer, som er sløjfede og efterladt spredt på kildepladser/vandværker landet over. Hertil kommer andre typer sløjfede/uberørte boringer, som er udbredt i det ganske land. Det er nemlig (endnu) ikke kutyme, at indgå aftaler om den efterfølgende sløjfning, når der bestilles borearbejde.

4.2.5.2 Lækagetydens betydning for forureningstransport

Med henblik på at bestemme betydningen af problemet, er det vigtigt at kende visse parametre for nedsivningen i sløjfede boringer. Det forudsættes, at en sløjfet boring enten ser ud som den der blev genfundet på Københoved Vandværk, dvs. at rør er efterladt ca. 1 m u. t. og der er tilfyldt i røret. Situationen vedrørende transport er i dette tilfælde sammenlignelig med skorstenseffekt, jf. afsnit 4.2.2. Man må dog gå ud fra, at boringerne med tiden tærer op og der kommer huller i forerørerne, eller at der kan sive vand direkte ned i forerøret. Som følge heraf er der i det følgende udført en beregning på betydningen af lækage i forerøret, som følge af et hul af 1 m højde i forerøret. Beregningerne er gjort under de samme forudsætninger, som ved afsnit 4.2.2. Resultaterne fremgår af tabel 4.9.

	Høj ledningsevne i forerør m ³ /år	Lav ledningsevne i forerør m ³ /år
Geologisk hovedtype 4	50 - 1500	0,03- 0,1
Geologisk hovedtype 5	120 - 1500	0,02 - 0,1

Tabel 4.9 transport til primært magasin som følge af transport i sløjfet boring

Som det fremgår, vil der ofte være en risiko ved transport gennem sløjfede boringer. Det gælder specielt hvor der ingen afpropning findes, idet man i tilfælde heraf skal lægge dette bidrag til. Som nævnt har de sløjfede indvindingsboringer ofte en problematisk placering i forhold til eksisterende indvindingsboringer, dvs. en ganske kort afstand og med store hydrauliske gradienter, som direkte trækker forureningen til igangværende indvindingsboring øverst i magasinet. Konservativt betragtet vil hele den nedsivede lækage i disse tilfælde strømme til indvindingsboringen. I de små vandværker, hvor behovet for store vandmængder ikke findes, kan en sløjfet boring i kort afstand i flere tilfælde vise sig at være et problem, hvis der findes høje koncentrationer i sekundært grundvand. Eksempelvis vil der kunne træffes BAM-koncentrationer over grænseværdien (0,1 µg/l) i det oppumpede vand i en indvindingsboring (pumpeydelse på ca. 1 m³/t) som følge af en omkringliggende sløjfet boring, hvis der som minimum skønsmæssigt findes ca. 1-10 µg BAM/l i det overfladenære grundvand med kontakt til boringen, afhængig af afstand mellem boringerne, skorstenseffekt og tærringer mv.

4.3 Metodeevaluering

I forbindelse med undersøgelse af utætte boringer findes en "vifte" af delundersøgelser, som ofte sammenstykket for samlet at give det bedst mulige billede af forholdene i og tæt på boringen. I dette afsnit vil følgende anvendte feltundersøgelsesmetoder overfor utætte boringer kort blive evalueret:

- Indledende undersøgelser

- Indsamling af viden om boring og aktiviteter i boringens nærområde
 - Tilstandskontrol af forerørsafslutning, og overbygning
- Undersøgelser i indvindingsboring
- Udtagning og analyse af vandprøver
 - o Almindelig volumenprøve
 - o Niveauspecifikke vandprøver i indvindingsboring udtaget ved hjælp af
 - 2 eller flere pumper i bestemte niveauer
 - 1 eller flere pumper og packer
 - 2 eller flere pumper og heat-puls sonde
 - 2 eller flere pumper og flowlog
 - delstrøm i forerør
 - forskellige pumpescenarier
 - TV-inspektion
 - Indsivningstest med packer
 - Trykprøvning
 - Logging
 - o Naturlig gammalog
 - o Resistivitetslog (Guardlog)
 - o Flowlog
 - o Induktionslog (Konduktivitetslog)
 - o Soniclog
- Boringsnære undersøgelser (udenfor indvindingsboring)
- Analyse af boringsnære jordprøver.
 - Udtagning og analyse af vandprøver
 - o Analyse af terrænnært porevand
 - o Analyse af sekundært boringsnært grundvand.
 - o Analyse af primært grundvand opstrøms og nedstrøms for indvindingsboring
 - Datering af grundvand med CFC-metoden
 - Infiltrationsforsøg

4.3.1 Indledende undersøgelser

4.3.1.1 Indsamling af eksisterende viden

Før man undersøger boringskonstruktionerne, kan man med fordel gennemgå eksisterende data, idet man derved får vigtig viden om boringernes potentielle tilstand, bl.a. om der er tegn på at boringsbetinget lækage og/eller om der er sandsynlighed for kortslutninger mv. Ved gennemgang af eksisterende viden indsamles og bearbejdes al nyttigt tilgængeligt materiale for hver boring, med henblik på at tilvejebringe nyttig viden. Der kan være tale om gennemgang af:

- evt. boringsdatabaseoplysninger,
- eksisterende boreprofiler,
- eksisterende bore-/markjournaler,
- analyseresultater og forureningsforhold,
- installationsrapporter/-blanketter,
- evt. tidligere miljøundersøgelser mv.,
- tidligere renoveringer mv. af boring,
- lokaliseringsskemaer,
- prøvetagningsprocedurer og evt. feltjournaler,

samt:

- evt. gennemgang af oplysninger i byggesagsarkiv,
- evt. interview med relevante personer fra vandværket.

Ved gennemgangen af den eksisterende viden fås al interessant tilgængelig input om boringen, som kan benyttes videre i næste fase. Konklusionerne fra gennemgangen benyttes i den endelige fastlæggelse af undersøgelsestiltag.

På tabel 4.10 er vist et eksempel på en liste over elementer, som kan være til gavn ved tilrettelæggelsen af det følgende undersøgelsesprogram i forbindelse med en BAM-forurenede boring.

		Undersøgelser i boring	Undersøgelser udenfor boring i nærområdet	Undersøgelser boringsfjernt
Kilder og transport vej	Prefix på vandværk	++	++	-
	Andre boringsnære kilder	++	++	-
	Fjerne kilder	-	+	++
	Boringsnære sløjfede boringer	++	++	-
	Forurenede recipienter	+	+	+
	Kilde han ikke registreres	++	++	++
Forurening i boringer	Kun en boring forurenede	++	++	-
	Kun få boringer forurenede	++	++	+
	Mange boringer forurenede	+	+	++
	Alle boringer forurenede	-	+	++
	Store koncentrationsforskelle i boringer	++	++	+
	Moniteringsboring opstrøms forurenede	-	+	++
Geologi	Ler > 30 m	++	+	+
	Ler < 5 m	++	++	++
Boringens tilstand	Filterdybde > 40 m	++	+	+
	Boring<1925	++	++	+
	Boring<1960	++	++	+
	Boring >1980	++	++	++
	40 m<Boring>1990	+	++	++
	20 m>Boring<1980	++	++	+
	Ingen afpropning	++	++	+

++: 1. prioritet af undersøgelser

+: 2. prioritet af undersøgelser

-: 3. prioritet af undersøgelser

Tabel 4.10 Tjekliste for etablering af undersøgelsesprogram

Efter vurdering af den eksisterende viden, bestemmes undersøgelsesstrategien, og de egentlige undersøgelser kan begynde.

4.3.2 Undersøgelser i boring

4.3.2.1 Tilstandskontrol

Som et tjek på risikoen for nedslivning af forurening fra toppen af boringen foretages med fordel en tilstandskontrol af indvindingsanlægget.

Tilstandskontrollen kan omfatte følgende:

- Lokalisering af boring.
- Besigtigelse af boring incl. digital fotodokumentation.
- Beskrivelse af boringskonstruktionens udformning og afslutning ved terræn. Beskrivelse af boringsafslutningens (overbygningens) beskaffenhed.
- Beskrivelse af boringens funktion.

Eventuelle oplysninger vedr. sløjfede boringer bør indhentes, da disse boringer potentielt set vil kunne virke som ”spøgelsesboringer”, med kortslutning til det primære magasin.

Feltaktiviteterne vedr. besigtigelse og tilsyn er dels rettet mod boringskonstruktionen og dennes funktion, dels mod sikringen af forerørsafslutning i boringsoverbygning. Følgende tilstandsundersøgelser kan registreres visuelt eller ved geometriske målinger:

Boringskonstruktion

- Forerørsafslutning
- Forerørsmateriale og dimension
- Borings-top
- Vandspejlsniveau
- Boringsbund

Boringsafslutning

- Dækseltype og niveau over terræn
- Konstruktionsmateriale og dimensioner
- Niveau for overbygningsbund
- Bundkonstruktion og overbygningens tørhed og mulige indslivninger
- Eventuel terrænsætning som indikation af "skorstensdannelse" med mulighed for niveauændring af forerørstætning.

Tilstandskontrollen bør som minimum udføres efter retningslinierne i DIF norm DS 441 og 442.

4.3.2.2 Vandprøvetagning i boring

Volumenprøvetagning

Den almindelige prøvetagning af vand over hele filterstrækningen er den normale metode til at bestemme indholdet af forurening i boringens vand. Herved fås oplysninger om der er et problem. I mange tilfælde er det tilstrækkeligt at udtage volumenprøver for at erkende om der er et problem. Herefter kan man evt. gå videre med mere avancerede metoder.

Niveauprøvetagning

Niveauprøvetagningen er en metode til at kunne fastlægge de forskellige niveauer, hvor det forurenede vand strømmer ind i boringen. Metoden består basalt af separationspumpning med flere pumper, hvorved der dannes

vandskel i boringen. Med den ene pumpe udtages efter forpumpning en vandprøve, som dækker en bestemt vertikal indstrømningssekvens i filteret.

Ved niveauprøvetagning kan man på en rimelig enkel måde opnå eksakt viden om forureningens lokalisering. Der gælder følgende:

- Vandprøve fra forerøret (uden opblanding fra filteret) giver oplysning om transport i forerør (fra top eller igennem utætheder)
- Vandprøve fra top filter giver oplysning om transport på ydersiden af forerør, eller transport i toppen af magasin (boringsnær kilde)
- Vandprøve fra midt filter giver oplysning om transport i magasin (mere boringsfjern kilde)
- Vandprøve bund filter giver oplysning om transport i magasin (boringsfjern kilde).

I tilfælde af at man ønsker en prøve fra forerøret, kan man ved simple beregninger bestemme volumen af annulusvand i forerør ud fra en pejling og viden om placering af filtertop (delstrømstest). Herefter kendes tidsrummet for den seneste prøvetagning. Alternativt kan der som ekstra sikkerhed benyttes packerarrangement, som nedsættes i bunden af forerøret. Det kan være hensigtsmæssigt sammen med BAM, at analysere for stoffer, som er karakteristiske for overfladevand.

Der kan være usikkerhed om hvorfra forureningen kommer ved prøven udtaget i toppen af filterrøret. Enten kan den være transporteret ned langs forerøret som brøndborerskorsten, alternativt kan det være en boringsnær magasinforurening, eller evt. begge dele. Dette kan man få en ide om ved at lave en længerevarende separationspumpning, hvor der udtages prøver over længere forløb. I tilfælde af at der sker en formindskelse af koncentrationerne vil der sandsynligvis være tale om skorstenseffekt på grund af fortynding fra det uforurenede formationsvand, mens der er indikation for magasinforurening, hvis koncentrationerne holder sig konstante. Med en længerevarende pumpning kan beregne sig frem til partikeltransporten. Ved at sammenligne med analyseresultaterne kan man få en ide om hvorfra forureningen kommer. Ud fra nedsivningsberegninger, jf. afsnit 4.2, kan man se om størrelsesordnerne passer sammen med hvad der findes i magasinet. Konstateres det, at koncentrationerne stiger igen efter pumpestop, er der indikation for boringsbetinget forurenings transport.

Niveauprøvetagning og separationsprøvetagning skal udføres med omhu for at sikre resultaternes objektivitet. Derfor anvendes normalt en pumpe med stor ydelse til at styre vandskel, og en mindre pumpe til at prøvetage. For med sikkerhed at have vished om, hvor vandet strømmer ind i boringen, kan man benytte forskellige hjælpeværktøjer:

- med flere pumper og flowlog
- med flere pumper og heat puls sonde
- med flere pumper og packer

Med flowloggen vides hvor indstrømningszonerne er, og pumpernes ydelser kan justeres ind efter denne information. Samtidig kan oplysningerne fra flowloggen være med til at bestemme hvor prøverne skal tages. Med heat-puls sonden justeres pumperne indtil der er dannet et vandskel ud for sonden, hvorefter prøven kan udtages. For evt. at bestemme prøvetagningsstederne kan heat-puls sonden anvendes som en diskret flowlog. Ved at placere en

packer kan man rent fysisk ”skille vandene”, og udtage en prøve over (eller under packeren). Man skal med anvendelse af packer i filteret blot være opmærksom på, at vandet kan løbe udenom i gruskastningen.

4.3.2.3 TV-inspektion

TV-inspektion anvendes i stor udstrækning til at få viden om boringens indvendige tilstand. Der er tale om et videokamera, som sænkes ned i borer og optager forholdene på indersiden af rørene. Man bør benytte et kamera med både vertikal og horisontal roterbar linse. Videooptagelsen optages på bånd, som bør afleveres som dokumentationsmateriale sammen med en datarapport for optagelsen.

Metoden er specielt over vandspejl meget nyttig, men kan også i flere tilfælde anvendes under GVS. Metoden kan dog ikke stå alene. Selv om der ved TV-inspektion registreres utætheder vides det ikke hvor meget indstrømningen er, og i tilfælde af indstrømning heller ikke hvor forurenset det indstrømmende vand er, ligesom man ved metoden heller ikke konstaterer om der er transport på ydersiden af forerøret.

I flere tilfælde er det svært at afgøre om der findes utætheder på grund af belægninger og uregelmæssigheder. Under grundvandsspejl vil der ofte være dårlig sigt, grumsede og okkerbelagte forhold, hvor partiklerne kan hæmme udsynet en del. Da dette kan være udtryk for en utæt boring, vil et forsøg på oprensning i disse tilfælde være værd at forsøge. Der kan fx benyttes trykluft eller mekanisk med børste, før Tv-inspektionen foretages.

4.3.2.4 Trykprøvning

I stedet for TV-inspektion kan man bestemme utætheder i borer ved hjælp af trykprøvning. Der anvendes samme princip som ved trykprøvning af andre ledningssystemer (helst med vandtryk). Ved trykprøvning placeres en packer i bunden af forerøret samtidig med der fastspændes en tæt flange på forerørets top. Herefter sættes tryk på. Packeren skal kontrolleres for om trykket holder, hvorefter utætheder i systemet afsløres med faldende tryk. Problemet med trykprøvning af gamle borer er risiko for kollaps af forerøret.

4.3.2.5 Indsivningstest

Man kan ligeledes sætte en packer, hvis man ønsker et mål for indsivningen af vand i forerøret efter at en utæthed er konstateret. Grundvandet bør sænkes til normale indpumpningsniveau. Men er det ikke muligt kan packeren sættes og derefter tømmes vand af til et passende niveau under utætheden. Der bør om muligt udtages sammenlignende prøver over og under packerarrangementet.

Der er mange forsøg med packer, som har vist, at packeren skal anvendes med omhu, idet den ofte ikke kan holde tæt, så der kommer vand nedefra. Man bør undervejs måle om trykket holder i ballonen, og om muligt anvende en dobbeltpacker. Problemet er størst hvor det underliggende tryk er stort. Problemet kan i visse tilfælde løses ved at fjerne det underliggende vandtryk med en pumpe, placeret under packeren. Ved hjælp af denne metode fås direkte data om utæthedens karakteristik og betydning (hvis problemet med packeren løses).

4.3.2.6 Borehulslogging

Borehulslogging er en geofysisk målemetode, der udføres ved nedsenkning af målesonder i et borehul. Der måles en række forskellige fysiske parametre, der hver især er karakteristiske for de gennemborede bjergarter. Afhængig af hvilken målesonde der anvendes, opfanges information i op til en meters

afstand fra boringen. Ved sammenstilling og tolkning af de målte parametre opnås information om bjergarternes og boringsudbygningen egenskaber og udseende.

Borehulslogging giver ofte brugbare indirekte informationer. Følgende relevante geofysiske logs er omtalt:

- Naturlig gammalog.
- Flowlog.
- Heat-puls sonde.
- Induktionslog (i boring med PVC-forerør)
- Resistivitetslog (i PVC-filtrerrør)
- Kaliberlog
- Soniclog

Naturlig gammalog – bjergartens naturlige gammastråling.

Målingerne kan udføres i såvel åbne som filtersatte boringer samt i stål casing om end med dæmpet signal. I åbne boringer viser den naturlige gammalog den naturligt forekommende radioaktive gammastråling fra de gennemborede bjergarter. Alle bjergarter indeholder små mængder af radioaktivt materiale. Ler har et relativt højt indhold og udsender derfor en høj gammastråling, mens sand og kalk udsender en relativt lav gammastråling. Ved hjælp af loggen kan for eksempel radioaktive bentonitpropper lokaliseres. Logresultaterne skal sammenstilles med geologiske data for boringen for at tolke hvad der er forerørstætning og hvad der er formation. Ved gammalog kan man ofte se om der er afpropet, altid hvis der benyttes en radioaktiv afpropning. I tilfælde af at der er udført logs før filtersætning vil afpropning og gruskastningen kunne kontrolleres mere sikkert. I tilfælde af at man registrerer en prop kan man ikke konstatere om den er tæt, så metoden kan ikke stå alene.

Flowlog - borehulsvæskens strømningshastighed.

Ved flowlogging identificeres indstømningsfordelingen i filtersatte eller åbne boringer. Strømningshastigheden (flow) måles med en propel flowsonde, der registrerer den relative vandbevægelse i borehullet. Ved kontinuere målinger sænkes sonden med konstant hastighed ned i boringen under pumpning. Som reference for sondens rotation samt eventuel cirkulation i boringen måles der også uden pumpning. Der korrigeres for variationer i borehulsdiameteren samt i sondens hastighed under logging. Ved flowlogs kan der fås nyttige oplysninger om indstrømningszoner i magasinet, som kan benyttes ved niveauspecifik prøvetagning, med henblik på at kortlægge hvor indstrømningen af forurenede vand til boringen sker, og dermed om der er tale om boringsnær eller boringsfjern magasinforurening eller boringsbetinget transport langs forerør.

Heat-puls sonde. Strømninger i boringen

Heat-puls sonden kan måle strømninger i boringen. Princippet er udsendelse af en varmepuls og registreringen af denne i 2 sensorer i en fast afstand herfra. Metoden er meget følsom, således kan lodrette strømninger med meget lave hastigheder registreres. Metoden er anvendelig uden pumpning til at bestemme eventuelle lækager, dels i filteret, dels fra forerør til filter. Man skal være opmærksom på at helt små indstrømninger ikke kan registreres, da diffusionen slår igennem på et tidspunkt. Det betyder i realiteten, at de indsivninger igennem utætheder, som er registreret i nærværende projekt ikke kan registreres. Endvidere skal man sikre sig at målingerne er reproducerbare. Sammen med pumpning er metoden anvendelig til niveauspecifik prøvetagning, ved kontrol af vandskel som garant for hvor indstrømningen sker. I tilfælde af at der findes en

almindelig flowlog som har bestemt indstrømningszonerne, er Heat-pulssonden ikke nødvendig.

Induktionslog - Bjergartens ledningsevne.

Bjergartens ledningsevne vises i konduktivitetsloggen og måles med en fokuseret elektromagnetisk induktionssonde der giver såvel høj vertikal opløselighed som dyb indtrængning i bjergarten. Konduktivitetsmålingerne ved induktion kan udføres i såvel tørre borer, oliebaseret boremudder og i plastforede borer. Det er ikke muligt at logge i niveauer med stålforing. Metoden kan benyttes som supplement til gammaloggen, men vil ofte kunne undværes, hvis der laves gammalog. loggen giver falske signaler i samlinger med jern skruer mv.

Resistivitetslog - bjergartens modstand.

Bjergartens modstandsevne vises i resistivitetsloggen og måles med en fokuseret elektrisk sonde (guardsonde). Loggen er på grund af den høje vertikale opløselighed specielt egnet til korrelation mellem borer og til påvisning af permeable zoner, herunder sprækker, indstrømningszoner og kraftige perkolat zoner. Da bjergartsvolumenet er væsentlig større end borehulsdiameteren, skønnes borehulsvæskens elektriske modstand at have minimal indflydelse på målingen. Det er ikke muligt at udføre elektriske logs i tørre borer, i borer med stålforing eller i borer med plastrør uden slidser, derfor vil metoden som oftest ikke være aktuel i disse sammenhænge.

Kaliberlog - borehullets diameter.

Ud fra loggen kan man i åbne borer identificere hårde og bløde lag, lokalisere hulrum, større revner eller sprækker samt verificere den angivne boringsdiameter og dybde af den anvendte foring. Forskydninger af samlinger mv. kan registreres ved kaliberloggen. I filtersatte borer måles diameteren. Vil ofte være en fordel at køre en kaliberlog som det første i en gammel boring som er under mistanke for utætheder og forskydninger.

Soniclog. Vedhæftning til forerør.

Ved sonicloggen måles rejsetiden af lydbølger fra en sender til to modtagere. Her bliver målt information om bølgernes amplitude og dæmpning. Herved kan fås et mål for vedhæftningen til forerøret af forerørstætning. Lave værdier tolkes som en god vedhæftning, dog under indflydelse af godstykkelse og boredimension. Metoden er indirekte, og det er derfor umiddelbart vanskeligt at dokumentere betydningen heraf. Erfaringerne med metoden er ikke omfattende, men viser det sig at man har et objektivt mål for vedhæftningen, vil man sandsynligvis også kunne omsætte det til et mål for transporten langs forerørene.

4.3.2.7 Aldersdatering

Grundvandets alder kan bestemmes ud fra målte tracerkoncentrationer i vandprøven med CFC-gasser. Udtagningen af prøverne er vanskelig og foretages med specielt udstyr, da man skal undgå kontakt til atmosfæren, og kun GEUS forestår udtagning og analyse af vandet. Der er efterhånden udført mange undersøgelser med CFC-datering, som viser metodens berettigelse. Formålet med datering er i denne forbindelse at vurdere følgende:

- Grundvandsmagasinet sårbarhed overfor BAM ved naturlig nedsivning
- Boringsbetinget lækage ved opblanding med yngre overfladenært grundvand.

Ved dateringen fås et mål for hvad man kan forvente mht. varigheden af en magasinforurening. Dateringer vil ofte kunne afsløre hvor effektivt et konkret lerlag er som barriere, og dermed være med til at karakterisere en given BAM-forurenings skæbne. Ved kortslutning i boringen med ungt overfladevand fås et billede af alderen i filterdybden, som normalt ikke vil være repræsentativt i den givne dybde.

Selv om det er oplyst, at det oplyses at alderen kan bestemmes med en nøjagtighed på +/- 2 år, er der en række usikkerheder ved metoden som man skal være opmærksom på, for ikke at overfortolke resultaterne. Der er således processer og faktorer, så som kemiske reaktioner, diffusion og hydrodynamisk dispersion, blanding af vandtyper ved prøvetagning i lange filtre mm., som har en betydelig effekt på dateringerne, og som komplicerer estimeringen af grundvandets alder eller blandingsforholdet mellem forskellige vandtyper. Alt i alt, er der dog med CFC-dateringen endnu et delelement, som kan benyttes ved tolkning af resultaterne.

For en nærmere beskrivelse af metoden henvises til grundvandsovervågningen /46/.

4.3.3 Undersøgelser udenfor boring

4.3.3.1 Jordprøver

Udtagning og analyse af jordprøver gøres med henblik på at finde en kilde til forureningen. Det vil ofte være naturligt at registrere, om der findes rester af dichlobenil og BAM på vandværket. Der er overvejende udtaget terrænnære prøver (0,05-3 m u.t.), som er analyseret som enkeltprøver eller blandeprøver. Der er både fundet forurening i blande- og enkeltprøver.

4.3.3.2 Vandprøver

I forbindelse med boringsnære undersøgelser, er det for at få en større områdedækning ofte en fordel at analysere grundvand fremfor kun at analysere jordprøver. Udtagning og analyse af vandprøver udenfor indvindingsboringen i undersøgelsesboringer kan gøres vha.:

- sekundære vandprøver
- sugeceller

For at få sikkerhed for om forureningen findes i magasinet, vil en undersøgelsesboring til overordnede grundvandsmagasin, placeret opstrøms kildepladsen, ofte være den bedste løsning. Det er normalt ingen billig metode, til gengæld fås normalt eksakt viden om forholdene, som står udenfor tolkning og diskussion.

Der er ud over traditionelle boringer eksempler på andre typer boremetoder, så som ellogboringen og geoproben. Ved ellogboringen fås oplysninger om den naturlige gammastråling og den elektriske formationsmodstand under nedboringen vha. en gammalog. Samtidig kan udtages niveauspecifikke vandprøver i forskellige niveauer under nedboringen. Begge metoder er normalt udmærkede ved kildesøgning, men specielt geoproben har nogle kapacitetsbegrænsninger i dybden, som man skal forholde sig til inden boreværket opstartes.

4.3.4 Forslag til sammensætning af undersøgelsesprogram

Det undersøgelsesprogram der bør vælges afhænger af forureningssituationen. Forslag til sammensætning af undersøgelsesprogram fremgår af en guideline, som udarbejdes separat i projektet. Et sådant paradigme vedlægges den endelige projektrapport. Herunder er kort gennemgået forskellige undersøgelsesteknikker fordelt på forskellige lækagetilfælde.

4.3.4.1 Undersøgelser af Lækage fra borings- og forerørsafslutning

Ved besigtigelse og check af forerørsafslutning og overbygning kan tilstanden vurderes. Der er i projektets fase 1, før udvælgelse af vandværker til yderligere undersøgelser, foretaget en række besigtigelser af indvindingsboringer. I alt er der besigtiget og udført fotoregistrering af 75 boringer i forbindelse med den indledende tilstandsvurdering. Ved besigtigelserne er boringernes fysiske tilstand vedrørende overbygning og forerørsafslutning gennemgået (jf. DIF norm DS 441 og 442).

4.3.4.2 Undersøgelser af lækage langs forerør

Lækage langs forerør er svært at detektere ved direkte metoder. Ved granskning af borings-installationsrapport eller borejournal kan man nogle gange konstatere om boringen er afproppet mellem forerør og borevæg. Er det ikke tilfældet kan man gå videre med egentlige undersøgelser. Følgende undersøgelsesmetoder er de oftest benyttede til undersøgelse af skorstenseffekten:

- Borehulslogging
- Vandprøvetagning i top filter (sammenlignet med bund filter)
- CFC-dateringer

Ved gammalogging kan i de fleste tilfælde registreres om der er forerørsforerørstætning. Men da der er tale om en indirekte måling, kan man dog ikke få dokumentation for forerørstætningens effekt. Sonicloggen siger noget om vedhæftningen til forerøret, men det er en indirekte målemetode, hvor der ikke foreligger særlig meget erfaringsgrundlag og dokumentation. Ved niveauspecifik vandprøvetagning kan fås direkte oplysninger om forureningens niveaufordeling, og dermed en sandsynliggørelse af hvorfra forureningen er transporteret. Ved udtagning af prøver ved toppen af filterindtag kan det sandsynliggøres at vandet enten kommer fra ydersiden af forerør eller fra toppen af magasinet. For at skille en evt. boringsnær kilde fra skorstenseffekt må man derfor nogle gange som ekstra sikkerhed foretage længerevarende oppumpning. CFC-dateringer er benyttet m.h.p. At bestemme vandets alder og dermed om der er sket en blanding med overfladenært vand. Endelig er det set ved regenerering af boring med trykluft, at skorstenseffekt er blevet afsløret ved tydelige lækager bag forerør.

4.3.4.3 Undersøgelser af utætheder i forerør

Der er eksempler på følgende undersøgelsesmetoder:

- Tilstandsvurdering
- TV-inspektion
- Indsivningstests
- Trykforsøg
- Vandprøver i forerør
- CFC-dateringer

Utætheder i forerøret er i første fase normalt undersøgt ved hjælp af videooptagelser. Herefter er omfanget af problemet i flere tilfælde belyst ved indsivningstests med packer, eller i visse tilfælde med trykforsøg. Udtagning af vandprøver i forerør er en direkte og normalt anvendelig metode til at bestemme transportvejen. CFC-dateringer er benyttet m.h.p. At bestemme vandets alder og dermed om der er sket en blanding med overfladenært vand.

4.3.4.4 Undersøgelser af sløjfede boringer

Sløjfede boringer er ingen egentlig boringslækage, men problematikken omkring ”spøgelses-/skyggeboringer” er meget relevant. I projektet er det derfor medtaget som en problematik, der skal beskrives. I forbindelse med beskrivelse og kortlægning af seismiske skudhuller har problematikken tidligere været berørt /49, 50/.

For at bestemme om der er problemer med spøgelsesboringer er det nødvendigt at granske eksisterende data om vandværket. Meget ofte findes der gamle indvindingsboringer på vandværket, som ligger centralt på vandværksgrunden, og ofte er bygget henover. Man kan sige sig selv at der findes et potentielt problem på vandværker, hvor der er anvendt ukrudtsmiddel, når sløjfningen er udført uden forerørstætning af nogen art. I flere tilfælde findes der lokaliseringsskemaer for de tidligere vandindvindingsboringer. Men i de fleste tilfælde er boringerne meget svære at genfinde.

På Københoved Vandværk lykkedes det at finde en sløjfet boring ud fra formodet kendskab til placeringen, og efterfølgende rydning af et større areal til ca. 1 meters dybde. Boringen blev efterfølgende opboret, og tilfyldningsmaterialet beskrevet.

4.4 Samlet konklusion for undersøgelse af boringskonstruktioner

I det følgende er konklusionerne af udvalgte undersøgelser fra projektet gennemgået, primært fokuserende på boringskonstruktionerne. Ud fra undersøgelsen kan følgende konkluderes:

For feltundersøgelser udført i forbindelse med projektet:

Der er generelt tale om komplekse forureningssituationer, også selv om hypotesen på de udvalgte lokaliteter synes relativ klar. I mange tilfælde er der tale om fejlbehæftede boringer, men ligeledes bidrag fra andre transportveje.

Det kan konstateres, at mange relativt nyetablerede boringer er fejlbehæftede, specielt med utætte samlinger og (hvor de findes) forkert placerede forerørstætninger.

Der er ikke konsekvent benyttet Prefix på vandværker, vurderet ud fra fund i jordprøver på vandværksgrunde. Det er dog ikke muligt at sige noget generelt om rutinerne vedrørende udbringning. Hovedkilden til forureningen kan derfor i visse tilfælde være vandværket. Men det bør bero på specifikke undersøgelser.

Indsivningstests i utætte forerørssamlinger viser en forsvindende indsivning i forhold til hvad der normalt oppumpes fra indvindingsboringer. Der er udført beregninger af formodet betydning af skorstenseffekt, af utætte borerørs- og

forerørsafslutning, samt af sløjfede boringer. Lækagernes formodede betydning er sammenfattet på tabel 4.11.

	Sandsynlig Lækage til magasin m ³ /år	Fortyndingsfaktor ved oppumpning på 10.000 m ³ /år	Nødvendig koncentration ved indstrømning for at nå grænseværdi (0,1 µg BAM /l) i magasinet
Fra overbygning	1-10	1.000-10.000	100-1.000 µg BAM/l
Igennem forerør	1-50	200-10.000	20-1.000 µg BAM/l
Langs forerør	1-1000	10-10.000	1-1.000 µg BAM/l
Sløjfet boring	1-1500		
	Sandsynlig Lækage til magasin m ³ /år	Fortyndingsfaktor ved oppumpning på 100.000 m ³ /år	Nødvendig koncentration ved indstrømning for at nå grænseværdi (0,1 µg BAM /l) i magasinet
Fra overbygning	1-10	10.000-100.000	1-10 mg BAM/l
Igennem forerør	1-50	2.000-100.000	0,2-10 mg BAM/l
Langs forerør	1-1000	100-100.000	10 µg-10 mg BAM/l
Sløjfet boring	1-1500		

Tabel 4.11. Sandsynlig lækage til magasin fra utætte boringer.

Det fremgår af tabel 4.11 at utæthederne i de fejlbehæftede boringer ofte vil spille en mindre rolle i forhold til magasinforureningen med BAM. Der vil ofte være et bidrag fra boringsbetingede lækager, men alene vil koncentrationerne i almindeligt ydende vandforsyningsboringer normalt være under grænseværdien. Årsagen hertil er de lave BAM-koncentrationer i sekundært grundvand, sammenholdt med en ringe nedsivning. Med de fundne BAM-koncentrationer i sekundært grundvand, vil det for alle typer utætheder betyde, at koncentrationen holdes under grænseværdien, forudsat at der pumpes normalt fra boringen.

I de små vandværker, med ringe indvinding, og hvor der ikke foretages en kontinuert drift, kan utætte boringer (specielt ved skorstenseffekt) være et problem, hvis der findes høje BAM-koncentrationer i det øvre sekundære grundvand. Forsøg med skiftevis kontinuert alternerende drift viser dog ingen synlig forskel i BAM-udviklingen i forurenede boringer, men hvor der sandsynligvis er tale om magasinforurening.

Lækager som følge af dårligt sløjfede boringer (spøgelsesboringer) kan godt forårsage et ikke ubetydeligt bidrag til boringsnær magasinforurening med BAM, specielt på grund af den ofte uheldige placering tæt på eksisterende indvindingsboringer. Det generelle omfanget af problemet er på foreliggende grundlag ikke muligt at fastlægge, men vil kræve yderligere dokumentation.

En undersøgelsesboring lige opstrøms for den forurenede boring til det sekundære og primære magasin (filtersat i samme niveau som den forurenede boring) vil, i tilfælde af at undersøgelsesboringen er forurennet, kunne fjerne den sidste tvivl om hvorvidt transportvejen er helt borings- eller magasinbetinget (eller der er tale om en kombination). I tilfælde af at der ikke findes forurening i den opstrøms undersøgelsesboring, vil man derimod ikke kunne antage, at forureningen skyldes boringsbetinget forurening, på grund af komplekse strømningsveje for forureningsfanen.

Forsøg på renovering af defekte boringer viser eksempler på manglende effekt på grund af forkert hypotese.

Indsamlede erfaringer fra undersøgelser af tilstanden af vandværksboringer:
Hovedparten af de undersøgte boringer er konstateret med en eller anden form for fejlbehæftning. Der er således registreret 144 boringer eller ca. 84 % med tegn på defekt boringskonstruktion.

Der er flest utætte samlinger i type III boringer (57 %) og PVC-forerør (61 %), mens der er flest huller registreret i type I-II boringer (46 %), og hvor stålrør er benyttet som forerør (42 %). Det er derimod ikke muligt statistisk at differentiere mellem boringstyperne med hensyn til manglende forerørstætninger, da boretype I, II, IV og V er født uden forerørstætning.

Konklusioner af udførte BAM-undersøgelser (kategori 1-3 undersøgelser):
Af 27 afsluttede undersøgelser, er der med sikkerhed tale om magasinforurening de 13 steder, 9 lokaliteter er med både magasin og boringsbetinget transport, mens det kun i 2 undersøgelser vurderes, at der udelukkende er boringsbetinget transport. 3 af undersøgelseerne har ikke kunnet afklare transportvejen.

Betydning af boringsbetingede lækager i forhold til BAM-transport:
Med de normale BAM-koncentrationer i sekundært grundvand vil der for alle typer utætheder i de fleste tilfælde betyde, at man vil holde sig et pænt stykke under grænseværdien, i tilfælde af at der pumpes gennemsnitlige vandmængder fra boringen. I små vandværker, hvor behovet for store vandmængder ikke findes, kan skorstenseffekt mv. dog i flere tilfælde vise sig at være et problem, hvis der findes høje koncentrationer i sekundært grundvand.

Evaluerings af undersøgelsesmetoder som dianosticeringsværktøj:
Ved indsamling af eksisterende viden om boringen fås en uvurderlig information til at tilrettelægge den efterfølgende undersøgelsesstrategi.

TV-inspektion er normalt et udmærket værktøj i forbindelse med detektion af utætheder. Metoden giver i nogle tilfælde for få informationer på grund af dårlig sigtbarhed under grundvandsspejl. Herudover siger metoden ikke noget om den indsivende mængde. Trykprøvning af forerør er en anden metode til bestemmelse af utætte boringer. Metoden kan ud over praktiske problemer ved forsøg i gamle boringer give risiko for kollaps af forerøret.

For at få indtryk af tilstrømningen i boringen fra utætheder kan man benytte indsivningstests med anvendelse af packer. Man skal være opmærksom på, at der ved disse tests ofte har været problemer med at holde trykket på packeren, og dermed sikre at indstrømmende vand kommer fra utæthederne.

Ved gammalogs vil man ofte kunne verificere placeringen af forerørstætninger. I tilfælde af at man registrerer en tætning kan man dog ikke konstatere om den er tæt eller hvor meget der siver igennem. Konduktivitetslogs kan benyttes som supplement til gammaloggen, men vil ofte kunne undværes, hvis der laves gammalogs. loggen giver falske signaler i samlinger med jern skruer mv. Ved borehulslogging kan desuden anvendes andre sonder blandt andet Kaliberlog (borehulsdimension), flowlog (indstrømning), resistivitetslog (geologi i slidserørszonen), soniclog (vedhæftning til forerør). Fælles er at loggingmetoderne er indirekte, og derfor under normale omstændigheder ikke kan stå alene, men skal opfattes som supplement til vandprøvetagning.

Niveauprøvetagning er den bedste metode til at fastlægge de forskellige niveauer, hvor det forurenede vand strømmer ind i boringen. Men metoden

skal udføres med omhu, for at sikre repræsentative prøver, og dermed de rigtige tolkninger. Derfor skal benyttes to eller flere pumper. Herudover kan man som ekstra sikkerhed benytte hjælpeværktøjer til sikring af de rigtige niveauer for vandskel i boringen, b. l. a. flowlogs, packer eller heat puls sonde. I tilfælde af at man ønsker at bestemme bidraget fra utætheder i forerør tages vandprøven af annulusvand i forerøret. Det kan være hensigtsmæssigt foruden BAM, at analysere for stoffer, som er karakteristiske for overfladevand. Lækage på ydersiden af forerør kan bestemmes ved prøver udtaget i toppen af filterrøret. Der kan være usikkerhed om hvorfra forureningen kommer ved prøven udtaget i toppen af filterrøret. Enten kan den være transporteret ned langs forerøret som brøndborerskorsten, alternativt kan det være en boringsnær magasinforurening, eller evt. begge dele. Dette kan afsløres ved at lave en længerevarende separations-pumpning, hvor der udtages niveauspecifikke prøver over et længere forløb. Ved samtidig at udtage repræsentative prøver fra midten eller bunden af filteret, kan man opnå viden om bidrag af indstrømning fra formationen fra mere boringsfjerne kilder.

Man kan med CFC-datering vurdere grundvandsmagasinet's sårbarhed overfor BAM ved naturlig nedsivning eller boringsbetinget lækage ved opblanding med yngre overfladenært grundvand. Ved kortslutning i boringen med ungt overfladevand fås et billede af alderen i filterdybden, som normalt ikke vil være repræsentativt i den givne dybde. Der er dog ved metoden processer og faktorer, som har en betydelig effekt på dateringerne, og dermed er en række usikkerheder ved metoden som man skal være opmærksom på, for ikke at overfortolke resultaterne.

Oplysninger fra boringsundersøgelsen kan verificeres ved at udføre undersøgelser udenfor boringen. Undersøgelsesboringer opstrøms for den forurenede boring til det sekundære og primære magasin vil være oplagt i tilfælde af om der er tvivl om en boringsbetinget eller magasinbetinget forurening. Analyser af boringsnære jordprøver for dichlobenil og BAM er ligeledes undersøgelser, som bør have høj prioritet.

5 Afværgetiltag og Renovering af boringer

5.1 Valg af afværgetiltag

Efter endt undersøgelsesfase vil man fremkomme med en hypotese om kilde og transportvej af den registrerede forurening. På tabel 5.1 er givet et hjælpeskema til tolkning af resultaterne.

Emne	Hypotese	Boringsbetinget forurening	Boringsbetinget - og magasinforurening	Magasinforurening
Kilder og transportvej	Prefix på vandværk	+++	+++	++
	Andre boringsnære kilder	+++	+++	++
	Kun fjerne kilder	+	+	+++
	Boringsnære sløjfede boringer	+++	+++	++
	Forurekede recipienter og små koncentrationer	++	++	+++
	Kilde kan ikke registreres	+++	+++	+++
Forurening i boringer	Kun en boring foruren	+++	++	++
	Kun få boringer foruren	++	+++	++
	Mange boringer foruren	++	++	+++
	Alle boringer foruren	+	++	+++
	Monit.boring opstrøms foruren	+	++	+++
	Forurening ved boring	+++	+++	++
	Højere konc. i forerør end i filter ved største indstrømningszone	+++	++	+
	Højere konc. i top af filter end ved største indstrømningszone	+++*	++*	++
	Konstant konc. ved volumenpumpning	+	++	+++
	Fald i konc. ved volumenpumpning	+++	++	++
	Stigning i konc. efter stop pumpning	+++	++	++
Geo- og hydrogeologi	Ler > 30 m	+++	++	++
	Ler < 5 m	+++	+++	+++
Boringens tilstand	Filterdybde > 40 m	+++	++	++
	Boring<1925	+++	++	++
	Boring<1960	+++	+++	++
	Boring >1980	+++	+++	+++
	40 m<Boring>1990	++	+++	+++
	20 m>Boring<1980	+++	+++	++
	Utæt boring	+++	+++	++
	Skotstenseffekt	+++	+++	++

+++ : Sandsynlig problem

++ : Eventuelt problem

+: Ikke sandsynligt problem

*: Kan ikke konkluderes ved sammenfald

Tabel 5.1 Tolkning af undersøgelsesresultater.

Som det fremgår er der normalt tale om en kompleks situation. Selv om der fra starten findes en klar hypotese, skal man være varsom med at overfortolke resultaterne. Moderstoffet til BAM er blevet benyttet kraftigt rigtigt mange steder. Dette sammenholdt med stoffets bestandighed og mobiliteten betyder, at der ofte er mange indgange til kilder og transportveje, - også selv om

hypotesen synes enkel. Afværgemetoderne opdelt på dels boringsbetinget forurening, og dels magasin- og fladeforurening er omtalt i de følgende afsnit.

5.2 Afværge- og renoveringsmetoder overfor boringsbetinget forurening

5.2.1 Udbedring af boring- og/eller forerørsafslutning

Afhængig af tilstanden kan det komme på tale at renovere borerne ved terræn. Mindre udbedringer er enkle at udføre, mens større udbedringer, fx omlægning af overbygning fra defekt tørbrønd til ny tørbrønd, eller hvor det er muligt til overjordisk råvandsstation vil kræve noget ekstra. Mindre reparationer ved boringsafslutning kan fx være følgende:

- Udbedring af utæt dæksel
- Fjerne mulighed for indløb til tørbrønd ved terræn
- Tætne tørbrønd ved kabelindføringer
- Tætne brøndringe, stige mv.
- Etablering af fast bund
- Forhøje forerør
- Tætne forerørsafslutning og bøsningrør mv.
- Sikre udluftning.

Større renoveringer i forbindelse med boringsafslutning kan være følgende:

- Injicering med bentonit i opfyld omkring tørbrønd
- Udskiftning af tørbrønd med overjordisk råvandsstation

Grundlaget for udbedringerne er udførelse af besigtigelse og tilstandskontrol, jf. beskrivelser i delrapport, bilag 8.1, afsnit 4.

5.2.2 Renovering og afværgeforanstaltninger under terræn

Der er set eksempler på at en forkert hypotese om hvorfra forureningen stammer, har ført til forkerte slutninger vedr. afværge og renovering af borer. Derfor er det vigtigt at få kortlagt problemets omfang før tiltag foretages. Nedenfor er der givet nogle eksempler på relevante tiltag afhængig af konklusionerne af undersøgelsens fase 1.

5.2.2.1 Ved skorstenseffekt

I tilfælde af lodret lækage på ydersiden af forerøret kan der fx foretages følgende:

- Injicering ved ubetydelig defekt
- Sløjfning af boring ved opboring og samtidig fjerne transportvej ved afpropning/plombering
- Injektion med bentonit langs forerør
- Overboring af eksisterende boring til under problematisk dybde med efterfølgende forsegling med bentonit
- Afværgepumpning/ separationspumpning

5.2.2.2 Ved utætte rør eller rørsamlinger

I tilfælde af utætte forerør og forerørssamlinger kan der fx foretages følgende:

- Ingenting ved ubetydelig defekt
- Sløjfning af boring og samtidig fjerne transportvej ved afpropning af forerør
- Indvendig udforing (nyt forerør med ydre bentonitafpropning). Kan lade sig gøre i boringer med stor dimension, da der efterfølgende skal være plads til pumpe mv.
- Indvendig foring med ydre bentonitafpropning med filter og gruskastning under forerør (mindre dimension end eksisterende rør)
- Placering af tæt indvendig tætnende strømpe (relining)
- Afværge- /separationspumpe

5.2.2.3 Ved spøgelsesboringer

I tilfælde af at der registreres en spøgelsesboring kan der fx foretages følgende:

- Opboring, fjernelse af rør og plombering med bentonit
- Opboring og retablering af filter for afværgepumpe

5.2.3 Beskrivelse af afværge- og renoveringsmetoder

5.2.3.1 Overboring

Ved overboring forstås, at der bores udenom den eksisterende boring, normalt med skylleboringsteknik, i en større dimension end den eksisterende boring, således, at der rimes op i intakt aflejring. Herefter kan foretages en tætning på ydersiden af forerørene, eller hvis der er tale om gamle rør, erstatte forerør og filter med nye materialer.

Metoden kan tages i anvendelse i tilfælde af at der er konstateret skorstenseffekt med lækage langs forerør.

Ved etablering af en overboring skal man sikre sig, at den udvendige opboring udføres i en større dimension end den tidligere, således at der ikke findes en fortsat mulighed for skorstenseffekt.

Ved udførelse af overboringen skal man sikre sig, at det eksisterende forerør ikke kollapser som følge af belastning fra boremudder.

Metoden kan desuden benyttes ved sløjfning og plombering af boring hvor der findes skorstenseffekt.

Der er pt. kun kendskab til få vellykkede overboringer, som efterfølgende har vist sig at mindske BAM-koncentrationerne.

5.2.3.2 Indvendig udforing- og filtersætning

Indvendig udforing er udført rutinemæssigt på en del lokaliteter, i forbindelse med udbedring af utætte forerør. Metoden kræver, at dimensionen af det eksisterende rør er af en sådan størrelse, at der kan sættes et indvendigt rør med mindre dimension, således at der er plads til en pumpe i boringen.

Ved metoden sættes et nyt forerør, og der afpropes mellem det nye og det gamle rør med en bentonitblanding eller betonstabiliseret bentonitblanding. I forbindelse med afpropningen placeres i åbne boringer en packer i bunden af forerøret, men almindeligvis placeres samtidig et filter i boringen. I almindelige gruskastede boringer, placeres et slidserør under det nye forerør, som gruskastes før der tættes.

Ved metoden løses ikke den udvendige lækage på ydersiden af forerøret.

5.2.3.3 *Bentonitinjektion*

Der er benyttet bentonitinjektion ved forsøg med tætning af boringer langs forerør. Man kan i princippet enten injisere under tryk fra mindre boringer udenfor forerøret eller fra bunden af forerøret.

Der er eksempler på forsøg på injektion langs rørene ved at der nedføres/-spules flere spidser i små dimensioner til forskellige niveauer på ydersiden af rørene, hvorefter der sprøjtes en bentonitblanding ind. Denne metode er vanskelig at kontrollere for om den ønskede tætning fremkommer. Herudover er der risiko for at ældre tærrede stålrør kolliderer på grund af det forøgede tryk som benyttes.

Ved injektion fra bunden af forerøret, er det ved renovering af eksisterende boring meget svært at styre processen, og metoden benyttes normalt kun ved etablering af nye boringer, hvor forerørstætningen etableres før der bores færdig i selve indvindingsmagasinet.

5.2.3.4 *Lukning og plombering af boring*

Som det fremgår af afsnit 8.1 er det ofte vanskeligt at drage de rigtige konklusioner ud fra undersøgelserne, og dermed være sikker på at boringsrenoveringen kan udføres med efterfølgende succes for nedbringelse af BAM-koncentrationerne. Derfor vil den bedste løsning normalt være at lukke og plumbere boringen, og om nødvendigt lave en boringsnær erstatningsboring til afværgepumpning. I tilfælde af at det besluttes at sløjfe en boring, skal man sikre sig mod fremtidige lækager langs den sløjfede boring, herunder skorstenseffekt. Hvordan boringen sløjfes afhænger således af boringens tilstand.

Ved boringssløjfning skal der som minimum følges følgende procedure:

- fjernelse af øverste del af forerør ved 1 m u. t.
- 2 m betonstøbning fra 1-3 m u. t.
- 2 m bentonitafpropning fra top af slidserør og op i forerørene
- herudover tilfyldning med filtersand

Herudover skal der hvis forerør er utæt foretages:

- Afpropning med ekstruderet bentonit eller bentonistabiliseret-bentonitblanding (Storebæltsblanding) i hele forerørsstrækningen.

I tilfælde af at der er risiko for lækage langs ydersiden af forerør vil ovennævnte metoder til sløjfning ikke være tilstrækkelig, idet metoderne ikke fjerner problemet med fortsat "skorstenseffekt" ned langs den defekte gruskastning. I disse tilfælde skal den eksisterende boring opbores i minimum samme dimension som den oprindelige boring, og rør skal fjernes før plombering af hullet med ekstruderet bentonit eller bentonit-betonblanding.

5.2.3.5 *Afværgepumpning*

Afværgepumpning fra boringen som er forurenede har til formål, at opretholde et grundvandsskel, så der kan indvindes vand fra uforurenede boringer uden at de forurenes af den forurenede boring. Afværgepumpningen skal således tilrettelægges og overvåges, så variationer i indvindingen til vandværket ikke rykker vandskellet så der trækkes forurening til indvindingsboringerne. Der

skal oprettes en overvågning af afværgepumpningen ved hjælp af pejlinger og evt. med hjælp af sonder i boringerne som kontinuert kan overvåge vandspejlene i boringerne og styre afværgepumpningen.

I tilfælde af boringsbetinget forurening er forureningen ofte niveaudelt, jf. afsnit 6. Der kan derfor med fordel foretages separationspumpning for at optimere oppumpningen. Herved fås dels separeret den kraftige forurening fra den mindre forurenede, dels kan man minimere vandmængderne. Der benyttes 2 eller flere pumper ved separationspumpningen. Man skal i tilfælde af at der etableres separationspumpning blot være opmærksom på, at kravet til den hydrauliske styring stadig er gældende.

5.2.3.6 Bortgravning af kilde omkring boring

Hvis analyser af jordprøver har vist et der stadig er en betydelig pulje af dichlobenil og BAM i de øverste jordlag kan der foretages en afgravning af den forurenede jord. Der vil typisk være tale om at skulle grave 1-2 meter jord væk i dybden i en radius af ca. 10 meter omkring boringen svarende til den beskyttelseszone, der skal være omkring boringen. Det giver en jordmængde på ca. 100-200 m³. Afhængig af forureningsgraden vil der være udgifter til kørsel og deponering af jorden. Jorden bør placeres udenfor OSD-områder, og så risikoen for en fortsat nedsivning ophører. I det tilfælde der kendes til vedr. bortgravning af BAM-forurenet jord, er den miljømæssige konsekvens ved deponeringen vurderet som ubetydelig /11/. Man skal være opmærksom på, at den overvejende del af BAM i de fleste tilfælde er på vej i systemet under de øverste 1-2 m, og afværgetoden derfor kun nytter noget, hvor man er sikker på at der er tale om en boringsbetinget lækage, primært fra udbringning af pesticider lige ved boringen. Det er normalt sådan, at langt hovedparten af forureningen er på vej til indvindingsmagasinet, og det derfor ikke løser problemet at grave bort. I forbindelse med udskiftning af tørbrønd med overjordisk råvandsstation, skal der graves i jorden. I disse tilfælde vil man dog med fordel kunne fjerne forurenet jord, hvis der findes jordforurening lige omkring tørbrønden, som følge af brug af ukrudtsmiddel på vandværksgrunden. Potentielt set vil restforureningen i de øvre jordlag ofte kunne forurene grundvandet over den eksisterende grænseværdi i 30-50 år.

5.2.3.7 Renovering kombineret med afværgepumpning

Der vil som nævnt ofte være forurening på vej i systemet, eller andre lækager end den boringsbetingede. Derfor er det som hovedregel nødvendigt med en eller anden form for afværgepumpning, efter boringsrenoveringen, dels med henblik på at forcere oprensningen i boringens nærfelt, dels for at sikre fortsat indvinding andre evt. uforurenede boringer i samme kildefelt.

5.3 Paradigme for undersøgelsesstrategi ved BAM-forurening

Anbefalinger til handlingsprogram ved konstatering af BAM-forurening i forhold til undersøgelser, afværge eller levetidsforlængende foranstaltninger er beskrevet i separat paradigme.

6 Konklusion

Der kan fremdrages følgende væsentlige konklusioner fra nærværende undersøgelser med hensyn til bidraget til BAM-forureningen fra utætte borer:

Databasesøgningen viser, at der er tendens til at defekte borer har indflydelse som transportvej i kortere borer.

Udredningsprojektet viser, at der potentielt er risiko for lækager som følge af boringskonstruktionerne på grund af boremetode, -udførelse, -udbygningsmetode og materialevalg. Det kan i overensstemmelse hermed ved boringsundersøgelserne konstateres, at mange ældre men også relativt nyetablerede borer er fejlbehæftede, specielt med utætte samlinger og forerør, samt manglende eller mangelfulde forerørstætninger.

Der er ikke konsekvent benyttet Prefix på vandværker, vurderet ud fra fund i jordprøver på vandværksgrunde. Det er dog ikke muligt at sige noget generelt om rutinerne vedrørende udbringning. Hovedkilden til forureningen kan derfor i visse tilfælde være vandværket. Men det bør bero på specifikke undersøgelser.

Der er generelt tale om komplekse forureningssituationer, også selv om hypotesen om forureningsvejen på de udvalgte lokaliteter synes relativ klar. I mange tilfælde er der tegn på, at den store synder umiddelbart er fejlbehæftede borer, men det viser sig, at der ofte er betydende bidrag fra andre transportveje.

Indsivningstests i utætte forerørssamlinger viser en forsvindende indsivning i forhold til hvad der normalt oppumpes fra indvindingsboringer. Der er udført beregninger af formodet betydning af skorstenseffekt, af utætte borerør- og forerørsafslutning, samt af sløjfede borer. Lækagernes formodede betydning er sammenfattet på tabel 6.1.

	Sandsynlig Lækage til magasin m ³ /år	Fortyndingsfaktor ved oppumpning på 10.000 m ³ /år	Nødvendig koncentration ved indstrømning for at nå grænseværdi (0,1 µg BAM / l) i magasinet
Fra overbygning	1-10	1.000-10.000	100-1.000 µg BAM/l
Igennem forerør	1-50	200-10.000	20-1.000 µg BAM/l
Langs forerør	1-1000	10-10.000	1-1.000 µg BAM/l
Sløjfet boring	1-1500		
	Sandsynlig Lækage til magasin m ³ /år	Fortyndingsfaktor ved oppumpning på 100.000 m ³ /år	Nødvendig koncentration ved indstrømning for at nå grænseværdi (0,1 µg BAM / l) i magasinet
Fra overbygning	1-10	10.000-100.000	1-10 mg BAM/l
Igennem forerør	1-50	2.000-100.000	0,2-10 mg BAM/l
Langs forerør	1-1000	100-100.000	10 µg-10 mg BAM/l
Sløjfet boring	1-1500		

Tabel 6.1. Sandsynlig lækage til magasin fra utætte borer.

Det fremgår af tabel 6.1 at utæthederne i de fejlbehæftede boringer ofte vil spille en mindre rolle i forhold til magasinforureningen med BAM. Der vil ofte være et bidrag fra boringsbetingede lækager, men alene vil koncentrationerne i almindeligt ydende vandforsyningsboringer normalt være under grænseværdien. Årsagen hertil er de lave BAM-koncentrationer i sekundært grundvand, sammenholdt med en ringe nedsivning. Med de fundne BAM-koncentrationer i sekundært grundvand, vil det for alle typer utætheder betyde, at koncentrationen holdes under grænseværdien, forudsat at der pumpes normalt fra boringen.

I de små vandværker, med ringe indvinding, og hvor der ikke foretages en kontinuert drift, kan utætte boringer (specielt ved skorstenseffekt) være et problem, hvis der findes høje BAM-koncentrationer i det øvre sekundære grundvand. Forsøg med skiftevis kontinuert alternerende drift viser dog ingen synlig forskel i BAM-udviklingen i forurenede boringer, men hvor der sandsynligvis er tale om magasinforurening.

Lækager som følge af dårligt sløjfede boringer (spøgelsesboringer) kan godt forårsage et ikke ubetydeligt bidrag til boringsnær magasinforurening med BAM, specielt på grund af den ofte uheldige placering tæt på eksisterende indvindingsboringer. Det generelle omfanget af problemet er på foreliggende grundlag ikke muligt at fastlægge, men vil kræve yderligere dokumentation.

Evalueringen af undersøgelsesmetoderne viser, at bearbejdning af eksisterende viden er meget vigtig for den videre undersøgelsesstrategi. Herudover kan de indirekte metoder kun i visse tilfælde være gavnlige, og altid i sammenhæng med direkte prøvetagningsmetoder. En undersøgelsesboring lige opstrøms for den forurenede boring til det sekundære og primære magasin (filtersat i samme niveau som den forurenede boring) vil, i tilfælde af at undersøgelsesboringen er forurennet, kunne fjerne den sidste tvivl om transportvejen er helt eller delvist borings- eller magasinbetinget. I tilfælde af at der ikke findes forurening i undersøgelsesboringen, vil man derimod ikke i alle tilfælde kunne antage, at forureningen skyldes boringsbetinget forurening, på grund af komplekse strømningsveje for forureningsfanen.

Tilstedeværelse af en sand hypotese er vigtig for udførelse af de rigtige Afværgeforanstaltninger. Mange forsøg på renovering af boringer har været spildt af samme årsag. Afværgepumpning og hydraulisk styring har i flere tilfælde vist sig at formindske koncentrationerne, dog har forsøg med kontinuert eller alternerende pumpning ikke kunnet påvise nogen forskel i BAM-koncentrationerne.

7 Litteratur

- 1 Kildepladsanalyse - Lerpøtvej. Varde Kommune. Kemp & Lauritzen. December 1997
- 2 Datarapport over boringer på Lerpøtvej og Bakkevej Kildepladser. Varde Kommune. HOH. December 1998
- 3 Gammellog og TV-inspektion af boringer på Lerpøtvej og Bakkevej Kildepladser. Varde Kommune. HOH. Maj 1999
- 4 Undersøgelse af BAM forurening på Brabrand Kildeplads ved hjælp af immunkemiske BAM-analyser og CFC-datering af grundvand. GEUS 2000.
- 5 Rapport vedr. renovering af boring E13. Odense Vandselskab. 14. april 2000.
- 6 Undersøgelse af pesticidforurening og mulige transportveje. Thorsbro Vandværk. Københavns Vand. HOH Marts 2000
- 7 Årslev Vandværk. Afværgepumpning og kildeopsporing - statusnotat. HOH, 2001-01-03.
- 8 Tejn Vandværk - Muredam-kildepladsen. Undersøgelser af BAM-forurening - statusnotat. HOH, 2001-01-26.
- 9 BAM-forurening: Boreundersøgelser på Attemosevej. Dobbeltpumpe og på Trørød-kildepladsen. Forslag til handlingsplan på kildepladser. Søllerød Kommune, Vandforsyningen. HOH, Maj 2001.
- 10 BAM-trusler mod nærum og Trørød Kildefelter. Søllerød Kommune. HOH Statusrapport august 2000.
- 11 Pesticidundersøgelser og boringsrenovering. Beder og Åbo Kildepladser. ÅKV. Dansk Geofysik November 2000.
- 12 Gode råd ved teknisk boringskontrol. Et element i kildepladsvurderingen. Århus Amt. Februar 2001.
- 13 Eskærhøjværket. Indledende test af boringslækage. Boring 152.194 og 152.06J. Haderslev Vandforsyning. Kruger marts 1999.
- 14 Thorsbro Vandforsyning. Kildeopsporing af pesticidforurening. Københavns Vandforsyning. Dansk Geofysik. Januar 1998.

- 15 Eskærhøjværket - Pesticidforurening. Grundvands- og stoftransportmodel. Haderslev Vandforsyning. Kruger Marts 1999.
- 16 Eskærhøjværket. Kortlægning af pesticidforurening. Haderslev Vandforsyning. Kruger Marts 1999.
- 17 Eskærhøjværket. Grundvandsforurening. Resume af undersøgelsesresultater. Haderslev Vandforsyning. Kruger Marts 1999.
- 18 Utætte borer - kan der gøres noget? ATV møde 25. november 1999.
- 19 Pesticider i grundvand og drikkevand - Hvor længe endnu? ATV møde 11. maj 2000.
- 20 Forurening med pesticider. Handlingsplan. Assens Kommune. Kemp & Lauritzen, November 1997.
- 21 Revurdering af indvindingsmuligheder ved Torup Kildefelt. Status for pesticidbelastning ved Ellenet og Klavsenskov Vandværk. Marstal Vandværk. Rambøll. September 1996.
- 22 Status for Ellenet Kildefelt. Notat nr. 1. Marstal Vandforsyning. Rambøll. Juni 1998.
- 23 Hydrogeologisk undersøgelse. Frederiksberg Vandværk. Rambøll. September 1999.
- 24 BAM undersøgelse i Frederiksberg Vandværks indvindingsområde. Frederiksberg Vandværk. Rambøll. Marts 2000.
- 25 Undersøgelse for Roskilde Amt af tre overvågnings-boringer med glyphosatfund. Detailundersøgelse af mulig lækage i eller omkring boringerne. GEUS. Rapport 2000/84.
- 26 Undersøgelse af landovervågningsboringerne DGU nr. 165.295 - 165.297 i LOOP område 4, Lillebæk, Fyns Amt. GEUS. Rapport 2000/47.
- 27 Undersøgelse af BAM-forureninger. Hans-Martin F. Møller mfl. VANDteknik 5, juni 2000.
- 28 Orientering nr. 9 - 2000. AVJ
- 29 BAM. -en trussel mod vandforsyningsstrukturen. Henrik Aktor, Torben chrintz. VANDteknik 3, april 2000.
- 30 BAM har flere mødre. Leif Bruun og Walter Bruschi. VANDteknik 8, oktober 1999.

- 31 Utætte boringer - kan der gøres noget. Ole Dyrsø Jensen og Lærke Thorling. VANDteknik 10, December 1999.
- 32 BAM fra gårdspladser i det åbne land. Torben Chrintz. VANDteknik 8, Oktober 2000.
- 33 Gårdspladser og vaskepladser forurener grundvandet med pesticider. Henrik Bay og Hans Peter Birk Hansen. VANDteknik 1, februar 2001.
- 34 Pesticiders nedbrydning i søvand. Poul Møller. VANDteknik 1, februar 2001.
- 35 BAM i overfladevand og grundvand, et dårligt varsel. Karin Randrup Christensen mfl. VANDteknik 4, maj 2001.
- 36 Utætte forerør i overvågningsboringer - omfang, konsekvens og løsning. Torben Wandall mfl. VANDteknik 3, april 2001-06-19.
- 37 "Glemte" filtersatte miljøtekniske boringer - hvordan er deres stand og deres forureningstrussel? Thorkild Feldhusen Jensen mfl. Orientering 1/2001. AVJ.
- 38 Dansk Ingeniør Forenings Normer DS 441 og DS 442.
- 39 Udførelse af boringer på land. Håndbog og undervisningsmateriale til brøndboreuddannelsen. 1999.
- 40 Sealing Characteristics of Selected Grouts for Water Wells. Groundwater. Vol. 30 No. 3.
- 41 Miljøboringer – Nu og i Fremtiden. ATV-komiteen vedrørende Grundvandsforurening. 9. juni 1994.
- 42 Resultat af 30 års forskning i rørsystemers levetid. Nordisk Warin A/S. Oktober 1996.
- 43 Undersøgelse af pesticidforurening af grundvandet på Tåsinge. Fyns Amt. WaterTech A/S. Juli 2001.
- 44 Rapport vedr. saltinjektionsforsøg. Odense Vandselskab A/S. 23. november 2001.
- 45 Grundvandsovervågning 1997. GEUS
- 46 Grundvandsovervågning 1998 GEUS
- 47 Grundvandsovervågning 1999 GEUS
- 48 Grundvandsovervågning 2000. GEUS
- 49 Influence of leaky Boreholes on Pesticide contamination of Aquifers. GEO 1995

50 Kortlægning af boringer og brønde i Høje-Taastrup Kommune.
Københavns Amt. HOH. August 2001

8 Bilag

8.1 Love og bekendtgørelser

Udførelse af brønde og borer til vandindvindingsformål har været og er reguleret af følgende love, bekendtgørelser, cirkulærer, vejledninger og normer.

8.1.1 Love

- Nr. 54 af 1926-03-31 Lov om Vandforsyning
- Nr. 169 af 1969-04-18 Lov om Vandforsyning
- Nr. 299 af 1978-06-08 Lov om vandforsyning m.v.
- Nr. 355 af 1987-05-13 Lov om ændring af forskellige miljø- og planlægningslove
- Nr. 130 af 1999-02-26 Lov om Vandforsyning

8.1.2 Bekendtgørelser

- Nr.# af 2002-#-# Bekendtgørelse om udførelse og sløjfning af borer og brønde på land
- Nr. 515 af 1978-10-13 Bekendtgørelse om ikrafttræden af lov nr. 299 om vandforsyning m.v.
- Nr. 491 af 1979-12-10 Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om ikrafttræden af lov nr. 299 om vandforsyning m.v.
- Nr. 492 af 1979-12-10 Bekendtgørelse om ikrafttræden af lov om ændring af forskellige lovbestemmelser i anledning af lov om vandforsyning m.v.
- Nr. 4 af 1980-01-04 Bekendtgørelse om udførelse af borer efter grundvand.
- Nr. 421 af 1983-09-07 Bekendtgørelse om ikrafttræden af lov om ændring af lov om vandforsyning m.v.
- Nr. 657 af 1983-10-28 Bekendtgørelse om ændring af bekendtgørelse om vandindvinding og vandforsyning.
- Nr. 515 af 1988-08-29 Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.

8.1.3 Cirkulærer

- Nr. 37 af 1978-12-22 Cirkulæreskrivelse om ændring af naturfredningsloven og ny lov om vandforsyning.
- Nr. 64 af 1980-02-28 Cirkulære om vandindvinding og vandforsyning.
- Nr. 65 af 1980-02-28 Cirkulære om udførelse af borer efter grundvandet m.v.
- Nr. 66 af 1980-02-28 Cirkulære om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.

- Nr. 191 af 1983-12-05 Cirkulære om ændring af bekendtgørelse om vandindvindings- og vandforsyningsplanlægning samt om grundvandsbeskyttelse.
- Nr. 100 af 1984-07-26 Cirkulære om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.

8.1.4 Vejledninger

1975-12-31 Hydrogeologisk Kortlægning nr. 2.

1979-12-31 Vandforsyningsplanlægning 1., 2. og 3. del.

8.1.5 Normer

1978.01 Dansk Ingeniørforenings Norm for vandforsynings-anlæg for enkeltejendomme, Dansk Standard DS441, 1. udgave, januar 1978. 2. Reviderede udgave, December 1988.

1978.01 Dansk Ingeniørforenings Norm for almene vandforsyningsanlæg, Dansk Standard DS442. 1. udgave, januar 1978, 2. reviderede udgave, December 1988.

8.1.6 Primære regler

Som det fremgår af afsnit 2 har et omfattende regelsæt taget sigte mod reduktion af de eventuelle forureningsfarer rettet mod det drikkevand som vandindvindingsanlæg har til formål at producere, samt opstillet krav til udførelse af indvindingsanlæg (brønde, borer) således, at disse ikke i sin udførte tilstand kan forøge risikoen for, at forurenede stoffer kan få adgang til de vandproduktive reservoirer.

Indtil fremkomsten af Dansk Ingeniørforenings Normer DS441 og DS442 af januar 1978, der blev udarbejdet på basis af indhøstede erfaringer og anvendt praksis til opfyldelse af eksisterende regelsæt, har udføreren af vandindvindingskonstruktioner – brøndboreren – udført sit borearbejde og boreinstallationer på basis af almen anerkendt praksis, som i bedste fald er blevet suppleret med vejledning fra kurser afholdt i Dansk Ingeniørforenings eller Dansk Vandteknisk forurenings regi.

Ved offentliggørelsen af Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 4 af 4. januar 1980 – i daglig tale benævnt ”Brøndborerbekendtgørelsen” – der er blevet uddybet i Miljøministeriets cirkulære af 28. februar 1980 om udførelse af borer efter grundvand, har brøndboreren og tilsynsmyndigheden fået et ”værktøj” i hænde til opfyldelse af de danske lovkrav på området.

Der er netop udsendt en ny "Bekendtgørelse om udførelse og sløjfning af borer og brønde på land", hvor der er rettet op på nogle af de utilstrækkeligheder, der findes i den gamle bekendtgørelse, med hensyn til at minimere forureningsrisici. Herudover er der - nok så væsentligt - netop sat ind med en uddannelse af brøndborere og disses medarbejdere med det formål, at sikre, at de gode intentioner i de forskellige bestemmelser ikke tilsidesættes utilsigtet i det daglige arbejde.

8.2 Kategorisering af potentiel lækagerisici

Boringsudførelse							Graden af risici for lækage fra											
		Indvindingsanlæg					Transport langs yderside af forerør til reservoir, hvis der er					transport gennem forerør ind i boring, hvis						
Boremetode		Boringstype DS441 og DS442	Tidsrum ca.	Forerør	Filter	Forerørs-tætning	muffer og boressko har dannet kanaler	udeladt	anvendt de angivne materialer til	for lille højde på	sket nedsynkning af	forerør er tæret	samlinger af rør er utætte					
								forerørstætning										
	Tørrotation	I-IV	-	Afhængig af dybde og udførelsestidspunkter			Afhængig af dybde og udførelsestidspunkter											
Tør-boring	Slagboring	I	-1950	Stål	Metaltressevæv	Nej (kun pakning)	II	I	-	-	-	II	II					
		II	1950-1960	Stål	Metaltressevæv Rustfrit stål Egetræ													
		III	1975-	Stål Eternit PVC	Rustfrit stål Rilsanbehandlet stål Egetræ	Stampet ler Bentonitcement Duranitkugler (1975-1980)	IV	I	II	-	-	II (stål)	II (stål, PVC)					
						Bentonit vælling Ekspanderende Bentonit								IV		IV	III	III
Skylle-boring	Direkte skylning	III	1975-	PVC	PVC	Bentonitcement Duranitkugler (1975-1980)	IV	I	II	-	-	IV	II					
	Lufthæve		1980-			Bentonit vælling Ekspanderende bentonit								IV	I	IV	III	III
	Trykluft		1990-															
			IV	1950-	Stål	Nej	Nej	II	I	-	-	-	II	III				

I	Transportvej til stede	II	Risiko for transportveje	III	Betinget risiko for transportveje
-	Ej relevant	IV	Ingen risiko for transportveje		

8.3 Undersøgelser for defekte boringskonstruktioner

[illegible]

[illegible]

Vandværk																															
Lokalitet	DGU. nr.																														
VV. Nummer	Udførelsesår	Boringstype	Materialer	Meter til top filter [m u.t.]	Lertykkelse over filter	Niveauspecifikke vandprøver	TV-inspektion	Trykprøvning/indsivnings-test m. packer	Gammalogs	Induktionslogs	Flowlogs	Sekundære vandpr.	Prøvepumpinger	Delstrømtest i forerør	Alm. vandprøver	Jordprøver på vandværksgrund	CFC-datering	EI-log ogboringer	Utætte samlinger [m u.t.]	Gennemtær. skruehul [m u.t.]	Gennemtæret forerør [m u.t.]	Mangelfuld forerørsforsegling	Utæt tørbrønd	Lækage fra recipient	Spøgelsesboring	Anv. Af prefix	Boringsbetinget transport	Magasinbetinget transport	Renovering af boring	Andet	
Nykøbing Falster Kom., Virketholt		Virketholt																													
238.542																															
Thorning VV		Boring 1 (Nord)																													
76.905																				2.64											
Thorning VV		Boring 2 (Syd)																													
76.906																				1.75											
Ryslinge VV		Boring 1																		16.72	10.68										
155.195																															
Nyborg KV, Vindinge VV		Vindinge VV B1																		3.34											
147.248																															
Nyborg KV, Sofienberg		Sofienberg B2	Renov. 1989																												
147.249			II (opr.IV)																												
Sabro VV		Boring 2																													
78.272																															
Sabro VV		Boring 3																													
78.538																															
Sabro VV		Boring 4																			33.93										
88.1102																					42.18										
Humblebæk VV		?																			26.48										
188.931																															
Karlstrup VV		Boring 1																													
207.847																															
Kongerslev VV		Boring 2																				3.07									
42.204																															

Vandværk	Lokalitet	DGU. nr.
	VV. Nummer	
	Udførdesår	
	Boringstype	
	Materialer	
	Meter til top filter [m u.t.]	
	Lertykkelse over filter	
	Niveauspecifikke vandprøver	
	TV-inspektion	
	Trykprøvning/indsivnings-test m. packer	
	Gammaloge	
	Induktionslogs	
	Flowlogs	
	Sekundære vandpr.	
	Provepumpninger	
	Delstrømtest i forerør	
	Alm. vandprøver	
	Jordprøver på vandværksgrund	
	CFC-datering	
	El-log ogboringer	
	Utætte samlinger [m u.t.]	
	Gennemtær. skruelug [m u.t.]	
	Gennemtæret forerør [m u.t.]	
	Mangelfuld forerørsforsøgling	
	Utæt tørbønd	
	Lækage fra recipient	
	Spøgeselsboring	
	Anv. Af prefix	
	Boringsbetjnet transport	
	Magasinbetjnet transport	
	Renovering af boring	
	Andet	
Albertslund ??	Boring AL32	2000
200.4572	Kogsbølle B1	1960
Nyborg KV, Kogsbølle	Kogsbølle B2	1965
147.779	Boring I	1972
Nyborg KV, Kogsbølle	Boring 4	1993
147.780	Troense VV	1989
Bjerreby VV	Hadsund VV	?
172.193	Værlose K., Hareskov	1971
Vindeby VV	Flakkebjerg VV	1997
164.1063	Vejgaard VV	1993
Troense VV	Herrested-Måre VV	1951
164.930	Herrested-Måre VV	1977
Hadsund VV		
50.367		
Værlose K., Hareskov		
200.3064		
Flakkebjerg VV		
215.843		
Vejgaard VV		
26.4063		
Herrested-Måre VV		
146.173		
Herrested-Måre VV		
146.644		

Vandværk	Lokalitet	DGU. nr.
Kasted VV	B1	89.1053
Dragør VV	B 14	208.3675
Århus KV, Åbo	Åbo 6 (renov. 1900- 1900)	88.573
Århus KV, Lyngby	Lyngby L6	88.702
Farsø VV, Holmevej	Holme vej	39.648
Sulsted VV	Boring Nord	16.268
Gf. Sulsted VV	?	26.3413
Selling VV	Boring 2	79.563
Stjær VV	Boring 2	88.829
Gjessø VV	Boring 1	87.687
Gylling VV	Boring 5	108.163
Alsted VV	Boring 2	37.940

Vandværk	Lokalitet	DGU. nr.	VV. Nummer	Udførelsesår	Boringstype	Materialer	Meter til top filter [m u.t.]	Lertykkelse over filter	Niveauspecifikke vandprøver	TV-inspektion	Trykprøvning/indsivnings-test m. packer	Gammalogs	Induktionslogs	Flowlogs	Sekundære vandpr.	Prøvepumpninger	Delstrømstest i forerør	Alm. vandprøver	Jordprøver på vandværksgrund	CFC-datering	El-log ogboringer	Utætte samlinger [m u.t.]	Gennemtær. skruehul [m u.t.]	Gennemtærret forerør [m u.t.]	Mangelfuld forerørsforsørging	Utæt tørbrønd	Lækage fra recipient	Spøgelsesboring	Anv. Af prefix	Boringsbetinget transport	Magasinbetinget transport	Renovering af boring	Andet
	Varde, Lerpøtvej	121.1046	B6	1993	III	PVC	53, 65									X		X							X							Ej	BAM
	Varde, Lerpøtvej	121.947	B8	1988	III	PVC	52			X		X				X		X															
	Varde, Lerpøtvej	121.437	B9	1972	II	STÅL	21			X		X				X		X						X	X						X	Overbo	ring
	Varde, Lerpøtvej	121.438	B10	1972	II	STÅL	27					X				X		X						X	X							Ej	BAM
	Varde, Lerpøtvej	121.439	B11	1973	III	PVC	26			X		X				X		X						(X)						X		Overbo	ring
	Varde, Lerpøtvej	121.1015	B12	1991	III	PVC	24			X		X				X		X												(X)			
	Varde, Lerpøtvej	121.644	B13	1978	III	PVC	21			X		X				X		X						X						X	X		
	Varde, Bakkevej	121.648	B1	1974	III	PVC	26,5					X					X							X						X	X		
	Varde, Bakkevej	121.649	B2	1979	III	PVC	31										X															Ej	BAM
	Varde, Bastrup	121.1145			III-sand	PVC	75, 139					X																					
	Brabrand	891.482		1997	El-log boring				X			X	X				X			X	X												
	Thorsbro VV	207.2868	9	1916	I	STÅL	15	2		X							X							X						X		Atværg	e

[illegible]

Vandværk	Lokalitet	DGU. nr.
Bramdrupdam	133.310	
Bramdrupdam	134.1109	
Vonsild	133.808	
Frederiksberg VV, Feldskov	210.624	
Frederiksberg VV, Feldskov	210.766	
Frederiksberg VV, v. vandværket	210.266A	
Frederiksberg VV, v. vandværket	210.497	
Københoved VV, Rødning	132.882	
Københoved VV, Rødning	132.883	
Søllerød, Trørød	194.159	
Søllerød, Trørød	194.178	
Søllerød, Trørød	194.177	

[illegible]

Vandværk	DGU. nr	VV. Nummer	Udførelsesår	Boringstype	Materialer	Meter til top filter [m u.t.]	Lertykkelse over filter	Niveauspecifikke vandprøver	TV-inspektion	Trykprøvning/indsivnings-test m. packer	Gamma logs	Induktionslogs	Alm. vandprøver	Jordprøver på vandværksgrund	CFC-datering	Utøtte samlinger [m u.t.]	Gennemtær. skruehul [m u.t.]	Hul i forerør [m u.t.]	Risiko for skorstenseffekt /mangelfuld forerørsforsegling	Utøet tørbrønd	Lækage fra recipient	Spøgelsesboring	Anv. Af prefix	Boringsbetinget transport	Magasinbetinget transport	Renovering af boring	Andet	Andre undersøgelser
	37.940	B2	1985	III	PVC	32.2		X	X		X	X		X			11.15	X	X							X	Ej BAM	
	200.4572	AL32	2000	III	PVC	49			X																			Undersøgelse sbor.
	37.662	B1	1971	III	PVC	27.5		X	X		X	X		X		4.48		X	X						X			Sekundære vandpr.
	153.82	Skoven 2	1963	III	STÅL/ PVC	24.3		X	X		X	X		X		7.40	19.27				(X)	(X)	X		(X)	(X)	(X)	
	153.149	Skoven I	1978	II	STÅL	24							X						X*	X				X				*instal. rap.
	200.4186	B1	1996	IV	PVC	34.1	11.5		X		X																	Flowlog
	200.711A		1949	IV	STÅL	22.5			X		X	X				1.89		11.34										
	172.193	B1	1972	III	PVC	14.8			X		X					9.63												
	133.310	B2	1964	III	PVC	50			X		X	X				X		X	X									Prøvepump.
	134.1109	B5	1991	III	PVC	49	11		X	X																	Kontr olbor.	Prøvepump.
	208.3675	B14	1995	III	PVC				X									5.17										
	123.1046	U4		III	PVC				X						X													
	123.1053	U3		III	PVC				X																			
	152.06J		1948	I	STÅL	27			X				X			X	X	X								Pejleb oring		

[illegible]

[illegible]

Vandværk	DGU. nr	VV. Nummer	Udførelsesår	Boringstype	Materialer	Meter til top filter [m u.t.]	Lertykkelse over filter	Niveauspecifikke vandprøver	TV-inspektion	Trykprøvning/indsivnings-test m. packer	Gamma logs	Induktionslogs	Alm. vandprøver	Jordprøver på vandværksgrund	CFC-datering	Uttætte samlinger [m u.t.]	Gennemtær. skruehul [m u.t.]	Hul i forerør [m u.t.]	Risiko for skorstenseffekt /mangelfuld forerørsforsegling	Uttet torbrønd	Lækage fra recipient	Spøgelsesboring	Anv. Af prefix	Boringsbetinget transport	Magasinbetinget transport	Renovering af borimng	Andet	Andre undersøgelser	
	861.025																X												
	146.583	B2 syd	1973	III	PVC	10.5			X							5.11													
	146.2050	B1 syd	1986	IV	STÅL	70	49		X																				
	207.847	B1	1960	IV	STÅL	11.8			X									3.07											
	200.4264	V10A	1997	V	PVC	42,5	22						X												X		Afverge		
	200.90M	15	1939	III	Jern	23 55	22	X					X														Slojftet	kortslut. af 2 magas.	
	42.204	B2		IV	STÅL	122	3.5		X		X	X																	
	132.882	B2	1986	III	STÅL/ PVC	57			X					X					(X)*				X	X	X	X	X		*instal. rap.
	132.883	B1	1986	III	STÅL/ PVC	56								X					(X)*			X							*instal. rap.
				I (II)	STÅL	23,5			X									X	X*									*instal. rap.	
	124.551		1980	III	PVC	55																				Opren set			
	178.42	G5	1954	II	STÅL	20,72			X				(X)													X	Udfori ng		
	178.74	G16	1962	III	PVC	20,7																				X			
	178.48	G2	1964	III	PVC/ STÅL	33,4							(X)						X	X						X	Udfori ng		

[illegible]

Vandværk	DGU. nr.		VV. Nummer	Udførelsesår	Boringstype	Materialer	Meter til top filter [m u.t.]	Lertykkelse over filter	Niveauspecifikke vandprøver	TV-inspektion	Trykprøvning/indsivnings-test m. pakker	Gammalogs	Induktionslogs	Alm. vandprøver	Jordprøver på vandværksgrund	CFC-datering	Utætte samlinger [m u.t.]	Gennemter. skruehul [m u.t.]	Hul i forrør [m u.t.]	Risiko for skorstenseffekt /mangelfuld forerrørsforsøgling	Utæt tørbrønd	Lækage fra recipient	Spørgelsesboring	Anv. Af prefix	Boringsbettinget transport	Magasinbettinget transport	Renovering af borimng	Andet	Andre undersøgelser
	238.522			1970	IV	STÅL	29.7			X																			
	238.542			1972	IV	STÅL	35.1			X																			
	194.828			1998	III	PVC			X																			Under s.bori ng	
	194.904			2000	III	PVC			X																			Under s.bori ng	
	145.36e	E13	1956	II	Stål/ Eternit	27,87	1,5		X	X		X	X	X											X	X			El-log
	145.2021	Ho219	1978	III	PVC	64.4	52			X							2.84												
	145.2212	Ho249	1994	III	PVC	61.6	60			X								6.63											
	136.891	251	1995	III	PVC	39				X																			
	69.319	B4		II	STÅL	50.5				X																			
	155.195	B1	1974	III	PVC	24.3				X							16.72	10.68											
	78.272	B2	1965	III	PVC	23.2				X																			
	78.538	B3	1980	III	PVC	40.4				X								33.93											
	88.1102	B4	1993	III	PVC	54.4				X							42.18												Sekundære vandpr. + el-log
	79.563	B2	1977	III	PE	25.6	0		X	X		X	X	X	X		4.87			X	X				X				

Vandværk	DGU. nr		VV. Nummer	Udførelsesår	Boringstype	Materialer	Meter til top filter [m u.t.]	Lertykkelse over filter		Niveauspecifikke vandprøver	TV-inspektion	Trykprøvning/indsivnings-test m. pæker	Gammalogs	Induktionslogs	Alm. vandprøver	Jordprøver på vandværksgrund	CFC-datering	Utætte samlinger [m u.t.]	Gennemtær. skruenhul [m u.t.]	Hul i forerør [m u.t.]	Risiko for skorstenseffekt /mangelfuld forerørsforsegling	Utæt tørbrønd	Lækage fra recipient	Spøgelsesboring	Anv. Af prefix	Boringsbetinget transport	Magasinbetinget transport	Renovering af boring	Andet	Andre undersøgelser	
	194.178		T2	1957	IV	STÅL	44	2		X					X																
	194.176		T5	1958	IV	STÅL	41.3	15		X	X	X								31.35								X			Sekundære vandpr. + delstrømtest i forerør
	194.207		T6	1959	IV	STÅL	41.1	17		X	X	X								42.65								X			Sekundære vandpr. + delstrømtest i forerør
	76.905		B1 (Nord)		III	PVC	22.9	6			X							2.64			42.65										
	76.906		B2 (Syd)		III	PVC	22.2	6			X							1.75													
	207.2633		I3	1916	I	STÅL	14,5	4				X			X							X*					X			Afværge	*instal. rap.
	207.2868		9	1916	I	STÅL	15	2				X			X							X*					X			Afværge	*instal. rap.
	207.2869		10	1916	I	STÅL	21	14				X			X							X*					X			Afværge	*instal. rap.
	207.2870		11	1916	I	STÅL	14	5				X			X							X*					X			Afværge	*instal. rap.
	207.2871		12	1916	I	STÅL	14	4				X			X							X*					X			Afværge	*instal. rap.
	125.952			1971	III	Stål/PVC	62.3				X									39.19										Afværge	
	135.370		B21	1979	III	PVC	22				X								17.52												
	164.930			1989	III	STÅL	10.3				X	X																			
	121.648		B1	1974	III	PVC	26,5					X			X							X				X	X				

Vandværk	DGU. nr																												
		VV. Nummer	Udførelsesår	Boringstype	Materialer	Meter til top filter [m u.t.]	Lertykkelse over filter	Niveauspecifikke vandprøver	TV-inspektion	Trykprøvning/indsivnings-test m. packer	Gammalogs	Induktionslogs	Alm. vandprøver	Jordprøver på vandværksgrund	CFC-datering	Utætte samlinger [m u.t.]	Gennemtær. skruehul [m u.t.]	Hul i forerør [m u.t.]	Risiko for skorstenseffekt /mangelfuld forerørsforsegling	Utæt tørbrønd	Lækage fra recipient	Spøgelsesboring	Anv. Af prefix	Boringsbetinget transport	Magasinbetinget transport	Renovering af boring	Andet	Andre undersøgelser	
	121.649	B2	1979	III	PVC	31							X														Ej BAM		
	121.1145			III	PVC	75/139					X																		
	121.183	B2	1968	II	STÅL	21,5					X		X					(X)*	X	X							Ej BAM	*Instal. rap.	
	121.437	B9	1972	II	STÅL	21			X		X		X					X	X					X	X	Overboring		Prøvepump.	
	121.438	B10	1972	II	STÅL	27			X		X		X					(X)	X	X							Ej BAM	Prøvepump.	
	121.439	B11	1973	III	PVC	26			X		X		X						X					X		Overboring		Prøvepump.	
	121.589	B1	1977	III	PVC	22	11				X		X						(X)	X							Ej BAM	Prøvepump.	
	121.644	B13	1978	III	PVC	21			X		X		X						X					X	X			Prøvepump.	
	121.441	B3	1983	III	PVC	21			X		X		X						X					X	X			Prøvepump.	
	121.906	B5	1987	III	PVC	76					X		X														Ej BAM	Prøvepump.	
	121.947	B8	1988	III	PVC	52			X		X		X												X			Prøvepump.	
	121.977	B4	1989	III	PVC	65							X														Ej BAM	Prøvepump.	
	121.1015	B12	1991	III	PVC	24			X		X		X												(X)			Prøvepump.	
	121.1046	B6	1993	III	PVC	53/65							X						X*								Ej BAM	*instal. rap. Prøvepump.	

Vandværk	DGU. nr	VV. Nummer	Udførelsesår	Boringstype	Materialer	Meter til top filter [m u.t.]	Lertykkelse over filter	Niveauspecifikke vandprøver	TV-inspektion	Trykprøvning/indsivnings-test m. packer	Gamma logs	Induktionslogs	Alm. vandprøver	Jordprøver på vandværksgrund	CFC-datering	Utætte samlinger [m u.t.]	Gennemtær. skruehul [m u.t.]	Hul i forerør [m u.t.]	Risiko for skorstenseffekt /mangelfuld forerørsforsegling	Utæt torbrønd	Lækage fra recipient	Spøgelsesboring	Anv. Af prefix	Boringsbetinget transport	Magasinbetinget transport	Renovering af boring	Andet	Andre undersøgelser
	151.292	B2	1959	II	STÅL	24	10,5		X				X					(X)	(X)*									*instal. rap.
	26.4063	CB2	1993	III	PVC	60	4		X								20.4											
	164.1063	B4	1993	III	STÅL	23.8			X		X					11.0												
	133.808	B3	1984	III	PVC	31,4			X										(X)*									*Installations rapport. Prøvepump.
	200.3064	B1	1971	IV	STÅL	32	14		X									7.7										
	79.865	"Nord",	1990	III	PVC				X																			
	34.2197	4	1998	III	PE				X								1.40											
	34.1664	B1	1987	III	PVC	49	18		X		X	X					5.29											Flowlog
	34.1055		1977	IV	STÅL	15	?		X		X																	Flowlog
	34.1672	B1	1960	IV	STÅL	10		X	X		X				X													Prøvepump. + flowlog
	34.1673	B2	1960	IV	STÅL	11.5		X	X		X	X			X													Prøvepump. + flowlog
	34.1674	B3	1960	IV	STÅL	10		X	X		X	X			X													Prøvepump. + flowlog
	98.124	468	1952	II	STÅL	24,8/70,2																				Oprensat		

[illegible]

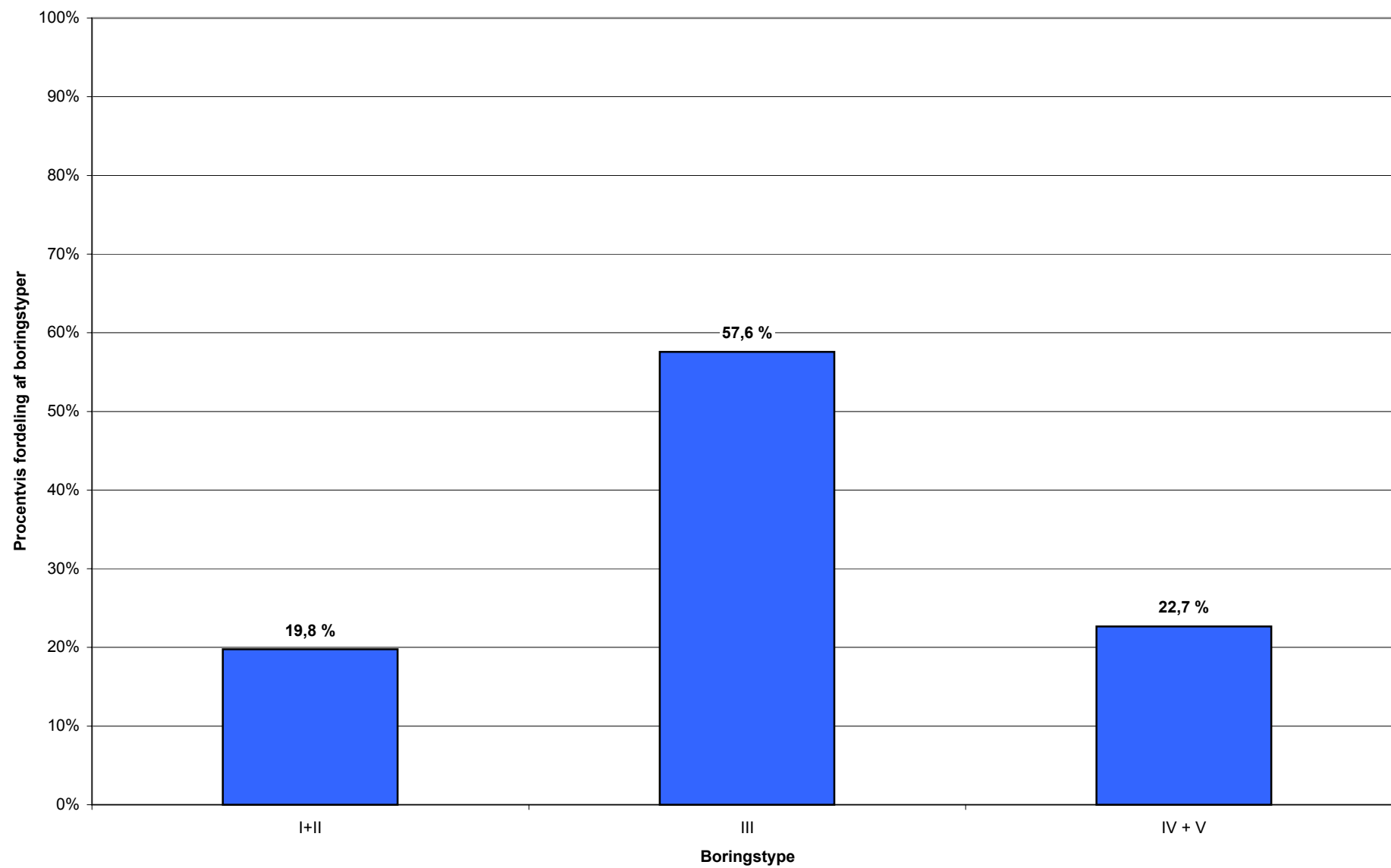
[illegible]

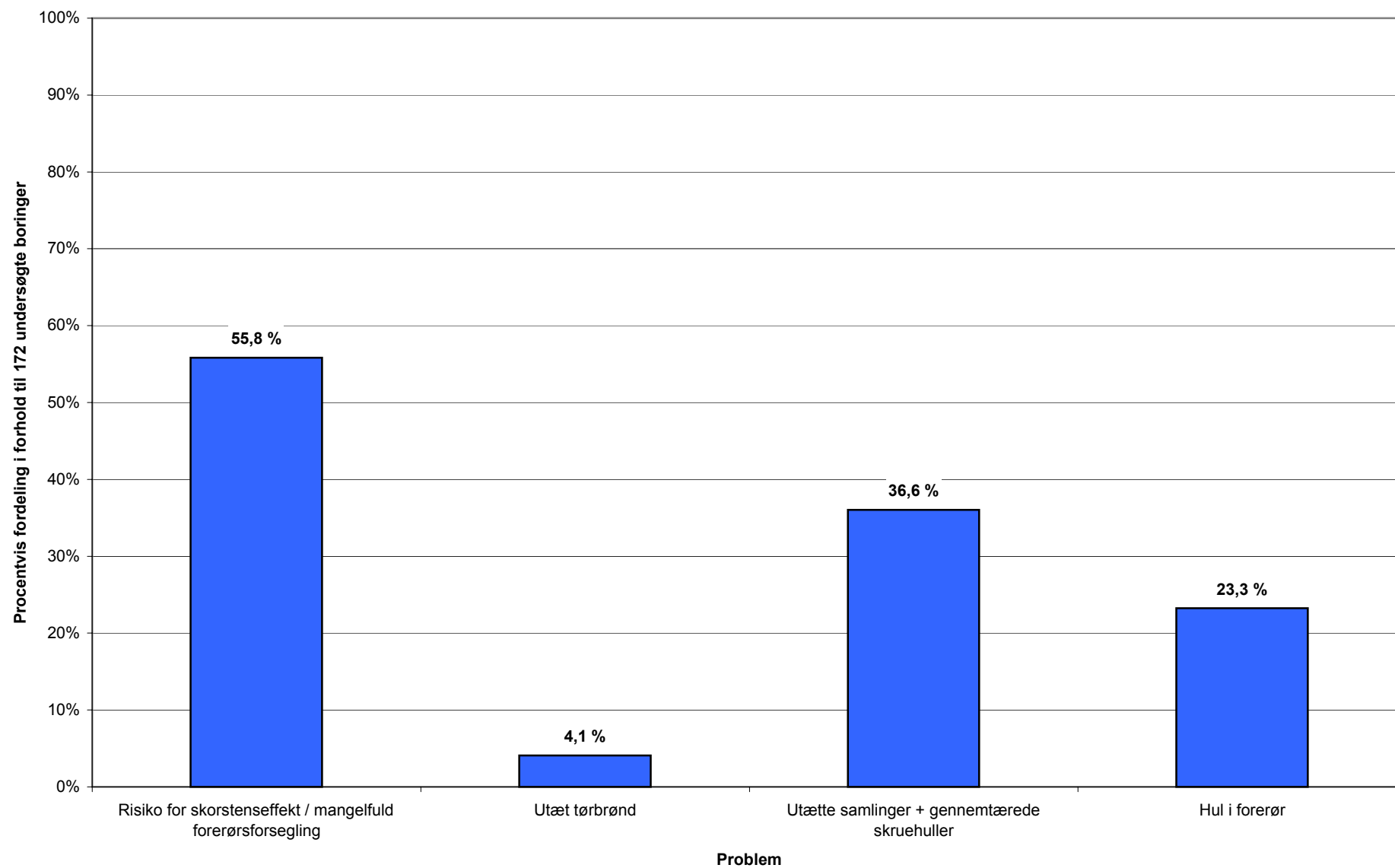
Tabel 1. Fordeling uafhængig af boringstype, alder m.v.		
Problem	Antal	% af alle boringer
Risiko for skorstenseffekt / mangelfuld forerørsforsegling	96	55,8%
Utæt tørbrønd	7	4,1%
Utætte samlinger + gennemtærede skruehuller	62	36,0%
Hul i forerør	40	23,3%

Tabel 2. Fordeling af boringstyper		
Problem	Antal	% af alle boringer
I+II	34	19,8%
III	99	57,6%
IV + V	39	22,7%
I alt	172	100,0%

144 af 172 har en eller anden type fejl, svarer til 83,7 %

Risi	41	
Utæt tør	7	
Uæt sam	62	
	40	

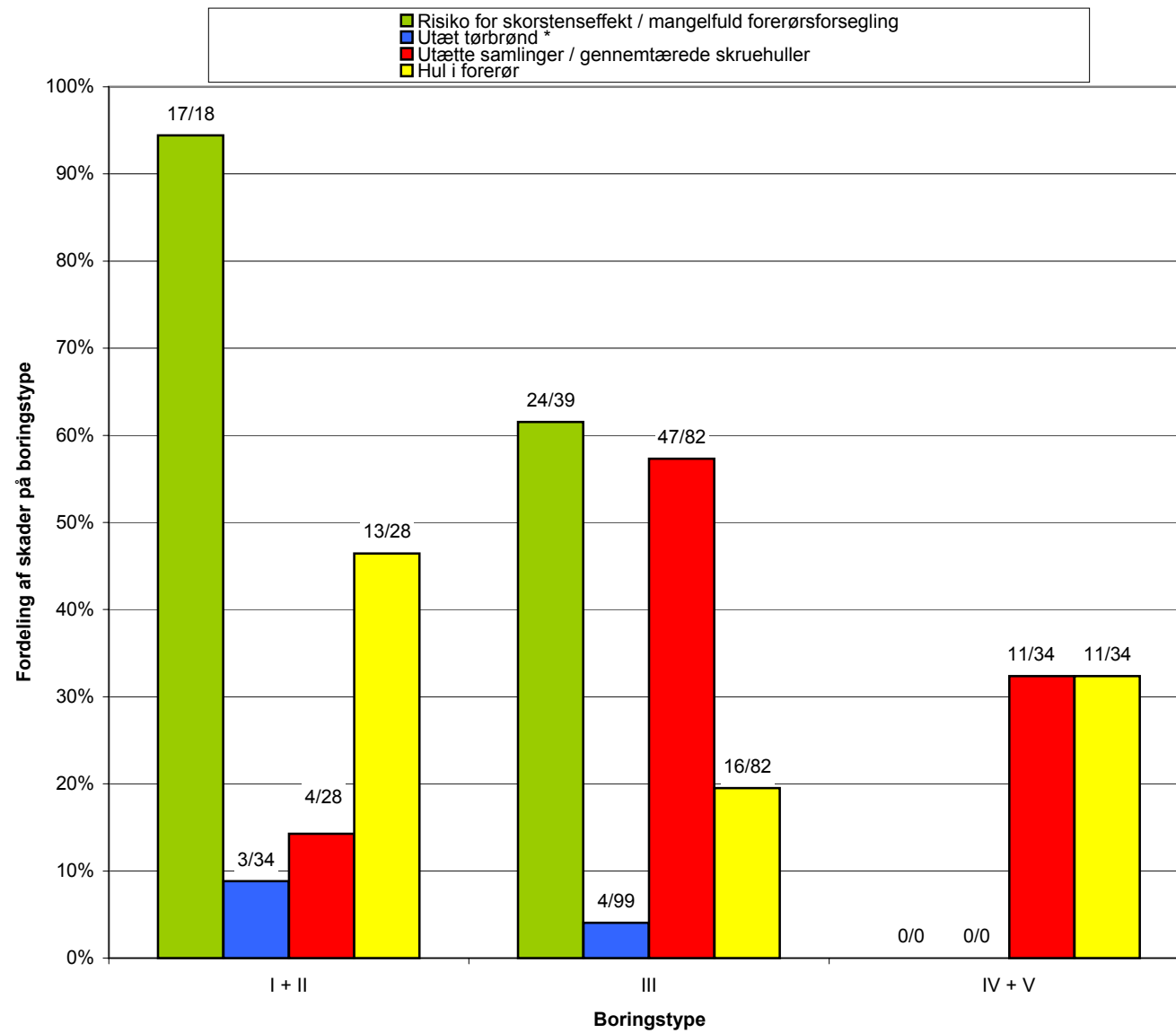




Tabel 3. Skadefordeling efter boringstype

Problem	Boringstype								
	I + II			III			IV + V		
	Undersøgt	Fejl	Fejl i %	Undersøgt	Fejl	Fejl i %	Undersøgt	Fejl	Fejl i %
Risiko for skorstenseffekt / mangelfuld forerørsforsegling	18	17	94,4%	39	24	61,5%	12	0	0,0%
Utæt tørbrønd *	34	3	8,8%	99	4	4,0%	39	0	0,0%
Utætte samlinger / gennemtærede skruehuller	28	4	14,3%	82	47	57,3%	34	11	32,4%
Hul i forerør	28	13	46,4%	82	16	19,5%	34	11	32,4%
* Det undersøgte antal svarer til det samlede antal boringer for hver type									

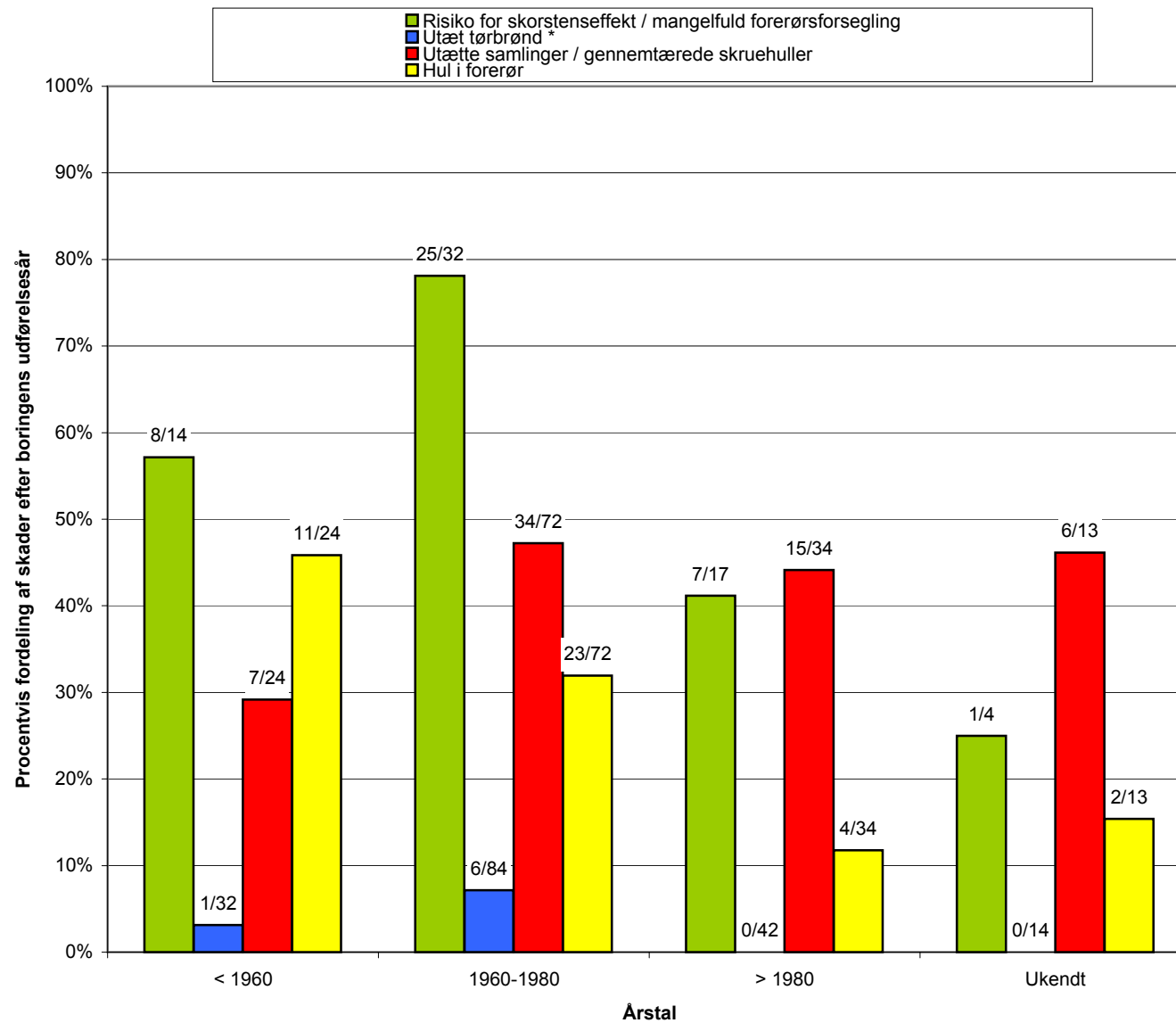
I + II	Risi	41
III	Utæt tør	7
IV + V	Uæt sam	62
		40



Tabel 4. Skadefordeling efter udførelsesår

Problem	Boringens udførelsesår											
	< 1960			1960-1980			> 1980			Ukendt		
	Undersøgt	Fejl	Fejl i %	Undersøgt	Fejl	Fejl i %	Undersøgt	Fejl	Fejl i %	Undersøgt	Fejl	Fejl i %
Risiko for skorstenseffekt / mangelfuld forerørsforsegling	14	8	57,1%	32	25	78,1%	17	7	41,2%	4	1	25,0%
Utæt tørbrønd *	32	1	3,1%	84	6	7,1%	42	0	0,0%	14	0	0,0%
Utætte samlinger / gennemtærede skruehuller	24	7	29,2%	72	34	47,2%	34	15	44,1%	13	6	46,2%
Hul i forerør	24	11	45,8%	72	23	31,9%	34	4	11,8%	13	2	15,4%
* Det undersøgte antal svarer til det samlede antal boringer for hver type												

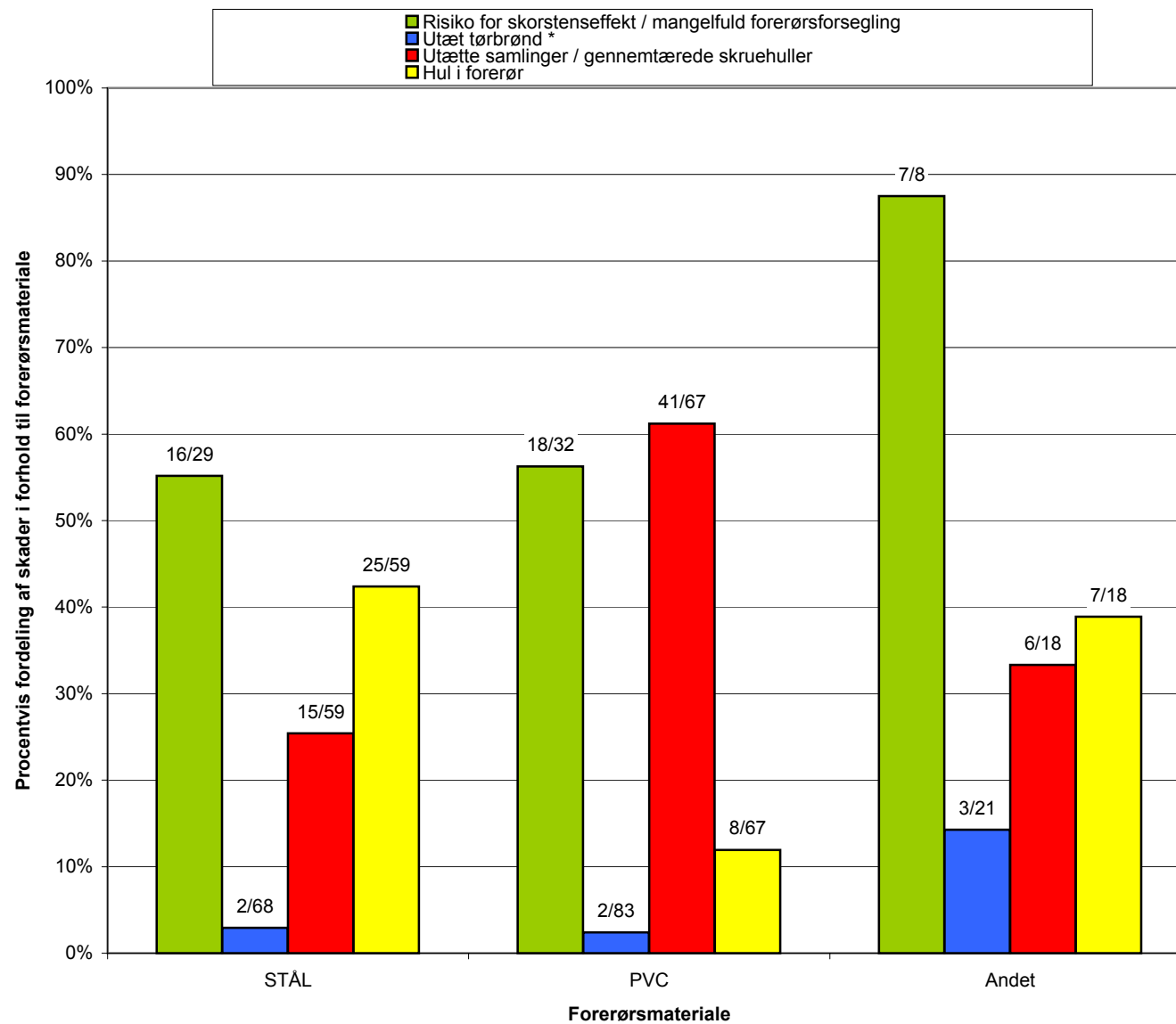
< 1960		
1960-1980	Risi	41
> 1980	Utæt tør	7
Ukendt	Uæt sam	62
	Hul i	40



Tabel 5. Skadefordeling efter forerørsmateriale

Problem	Forerørsmateriale								
	STÅL			PVC			Andet		
	Undersøgt	Fejl	Fejl i %	Undersøgt	Fejl	Fejl i %	Undersøgt	Fejl	Fejl i %
Risiko for skorstenseffekt / mangelfuld forerørsforsegling	29	16	55,2%	32	18	56,3%	8	7	87,5%
Utæt tørbrønd *	68	2	2,9%	83	2	2,4%	21	3	14,3%
Utætte samlinger / gennemtærede skruehuller	59	15	25,4%	67	41	61,2%	18	6	33,3%
Hul i forerør	59	25	42,4%	67	8	11,9%	18	7	38,9%
* Det undersøgte antal svarer til det samlede antal borer for hver type									

	Risi	41
	Utæt tør	7
STÅL	Uæt sam	62
PVC	Hul i	40
Andet		



8.4 Detailundersøgelser

8.4.1 Alsted, Mors

8.4.1.1 Forureningssituation

Alsted Vandværk er et lille Vandværk bestående af 2 forsyningsboringer. Vandværket og den første, nu sløjfede boring, er fra 1940-41. Årlig indvinding i 1998 var godt 25.000 m³. Vandværket er beliggende på Mors i bakket ung morænelandskab overvejende bestående af moræneler. Øverst findes således et terrænnært dæklag af ca. 20 m ler med vekslende mindre betydende lag af sandlinser. Herunder finder indvindingsmagasinet bestående af smeltevandssand. Sandlaget er ikke gennemboret i boringerne. Vandspejlet er artesiske med ro-vandspejl. ca. 6 m u. t..

2 indvindingsboringer er filtersat i ovennævnte magasin i 2 forskellige niveauer, boring 1 (37.662) fra ca. 27-32 m u. t. og boring 2 (37.940) til ca. 34-40 m u.t. Boringerne er beliggende med ca. 15 m afstand. Boring 37.662 er fra 1971 og boring 37.940 er fra 1985. Rørmaterialet i boringerne er PVC. Endvidere findes mindst én tidligere indvindingsboring på grunden, men den er ”sløjfet” og bygget henover.

Boring 37.662 blev konstateret forurenet med BAM i oktober 1997. Siden er der udtaget 6-8 vandprøver. Forureningsniveauet er til stadighed omkring 0,4 – 0,6 µg/l med en svagt faldende tendens. Den nærliggende boring 37.940 er fortsat uforurenet.

Den tidligere vandværksbestyrer kan ikke huske om der har været anvendt bekæmpelsesmidler direkte på vandværksgrunden, der er beklædt med græs. Vandværket er omgivet af gårde og landbrugsjord og er beliggende i udkanten af landsbyen. Den tætteste nabogård er beliggende i en afstand af under 75 m og må formodes hydraulisk at ligge opstrøms for indvindingsboringerne. Landmanden har oplyst, at der er anvendt prefix på gårdspladsen over en længere årrække. Desuden blev det oplyst, at der til tider havde været problemer med opstuvning af dræn fra landsbyen, som bl.a. har givet oversvømmelser på vandværksarealet. Det bemærkes at vandværket aldrig har haft problemer med nitrat.

Der afværgepumpes fra den forurenede boring 1, samtidigt med at der indvindes fra 37.940. Den forurenede borings pumpebrønd er sløjfet og der er etableret en overjordisk råvandsstation. Der er ved at blive etableret en ny kildeplads og nyt vandværk udenfor byen i samarbejde med nabolandsbyen.

Alsted har været interessant med hensyn til undersøgelse af boringskonstruktioner, på grund af følgende:

- 20 meter lerdække over indvindingsmagasin,
- evt. anvendelse af pesticider på vandværksgrunden
- 1 forurenet boring og 1 uforurenet boring.

Umiddelbart tyder ovenstående på konstruktionsmæssige problemer. På baggrund af beliggenheden. Det kan dog ikke udelukkes, at der kan være sket en påvirkning fra den nærliggende gård. Der er derfor også (i fase 2) foretaget kildeopsporing i gårdspladsen.

8.4.1.2 Iværksatte undersøgelser

Eneste tidligere aktiviteter er analyser af vandprøver som omtalt ovenfor samt en omlægning af overbygningen fra underjordisk tørbrønd til overjordisk råvandsstation.

Der er udført følgende undersøgelser på vandværket:

- TV-inspektion i boring 37.662 (boring 1) og boring 37.940 (boring 2)
- niveauprøvetagning i boring 37.662
- almindelig prøvetagning i boring 37.940
- Gamma- og induktionslogs i boring 37.662 og boring 37.940
- Undersøgelse af boringsnært sekundært grundvand i boring GEO1 og GEO2
- Udtagning af boringsnære jordprøver på vandværksgrunden

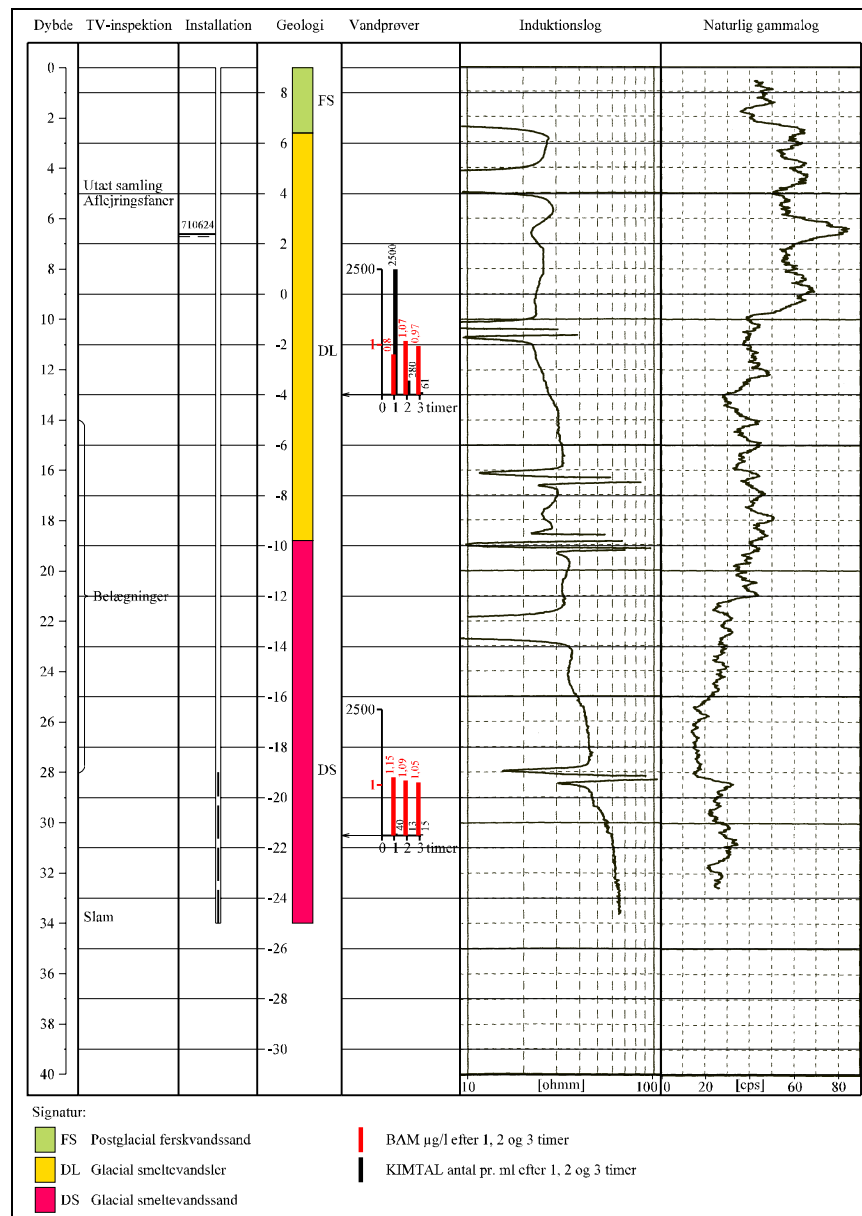
Niveauprøvetagningen er udført med 2 MP-1 pumper. Oprindeligt var det planen, at separere pumperne med packer, men det viste sig umulig på grund af pladsmangel. Den øverste pumpe blev derfor placeret i forerøret under vandspejlet, mens den nederste omtrentlig blev placeret i midten af filteret.

Da der ikke blev konstateret BAM-fund i jordprøver på vandværksgrunden er nabogården efterfølgende blevet undersøgt, idet landmanden har oplyst, at der har været benyttet prefix på arealet, og samtidig udpeget en tidligere nu sløjfet brønd som en mulig kilde til den videre transport af forureningen på grund af fald på gårdspladsen sammenholdt med afstrømning af overfladevand. Boring G1 er etableret i den sløjfede brønd til 4 m u. t. og filtersat. G2 er placeret ca. 2 meter fra G1. Herudover er der udtaget blandeprøver (G3-G7) i overfladen.

Der blev således i fase 2 udført følgende undersøgelse af nærliggende gårdsplads:

- Analyser af jordprøver og vandprøve i boring filtersat i sløjfet brønd (G1) og i boring tæt på brønd (G2)
- Analyser af overfladenære jordprøver i gårdspladsen i øvrigt

Begge indvindingsboringer er undersøgt, men med hovedvægten på den forurenede boring. Derudover er der etableret 2 korte filtersatte boringer til 6-8 m u. t. for at undersøge nedsivningsforholdene lokalt. Situationsplan for aktiviteterne i boring 37.662 fremgår af figur 8.1, og for aktiviteterne udenfor boringen af figur 8.2.



Figur 8.1 Undersøgelser i boring 1

8.4.1.3 Data fra undersøgelserne

Analyseresultaterne af jordprøver fra vandværksgrunden fremgår af tabel 8.1.

Prøve identifikation	TOC %	Dichlorbenil	2,6-dichloro-benzamid
Boring 1-7. 0,2m.	1,46	<4	<1
Boring 1-7. 0,5m.	1,21	<4	<1
Boring 1-7. 1,0m.	1,06	<4	<1
Boring 3-7. 0,05m.	1,97	<4	<1
Boring 3-7. 0,1m.	1,53	<4	<1

Tabel 8.1. Analyseresultater fra blandeprøver på vandværksgrund, Jordprøver, enhed µg/kg.

Der er ikke konstateret forurening i blandeprøver i jordprøver udtaget på vandværket i den øverste meter.

Analyseresultater af vandprøver fremgår af tabel 8.2.

Prøve identifikation	Kimtal 21° antal/ml	Permanga- nattal mg/l	Nitrat mg/l	Total-P mg/l	BAM µg/l
B1. 10m Kl. 12.30	>2.500	33	1,6	6,5	0,80
B1. 10m Kl. 13.30	280	18	1,5	2,8	1,07
B1. 10m Kl. 15.00	61	11	2,3	0,84	0,97
B1. 29m Kl. 13.00	40	18	2,7	2,7	1,15
B1. 29m Kl. 14.00	13	12	2,3	1,3	1,09
B1. 29m Kl. 15.30	15	11	2,2	0,76	1,01
B2. 34m	110	3,9	0,8	0,75	<0,03
GEO1	ia	ia	ia	ia	<0,03
GEO2	ia	ia	ia	ia	0,51

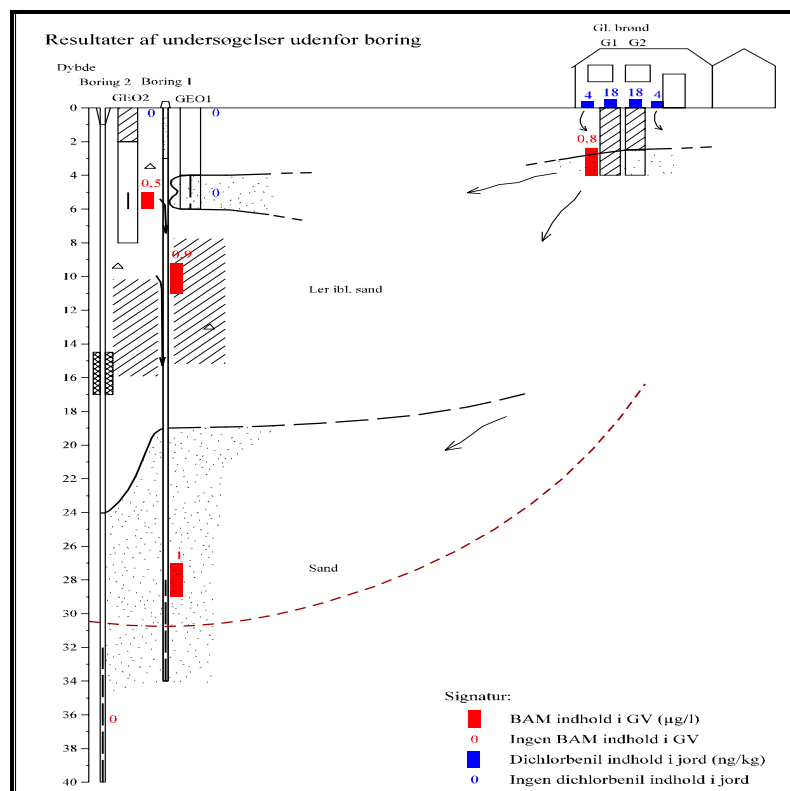
Tabel 8.2. Analyseresultater. Vandprøver.

Der er konstateret grundvandsforurening i boring 1, men ikke i boring 2. Der er ikke umiddelbart nogle tendenser at spore mht. signifikante ændringer i BAM-indholdet ved separationspumpningen og niveauprøvetagningen. De højeste indhold registreres i midten af filteret. Der er dog meget høje kimtal i den første prøve udtaget i forerøret.

TV-inspektionen viser, at boring 1 er meget okkerbelagt. På 4,9 m registreres en utæt samling med tydelige aflejringsfaner. Borehulslogging (gamma- og induktion) svarer udmærket til den beskrevne geologi i boreprofilerne. Der registreres evt. en forerørsforsegling på ca. 1 m, placeret under utætheden.

I boring 2 registreres et utæt skruehul på 10,5 m u. t. Ved gamma og induktionslogging registreres en forerørsforsegling på 2 m fra 14,5-16,5 m u. flange og igen i boringstop, ca. 2-3 m u.t.

Undersøgelsen af sekundært grundvand på vandværksarealet tæt på indvindingsboringerne viser, at GEO1, ca. 1,5 m fra den forurenede indvindingsboring ikke var forurenet, mens GEO2, ca. 7 m fra boringen havde et indhold på 0,51 µg BAM/l, eller ca. halvdelen af hvad der er registreret i vandindvindingsboringen.



Figur 8.2. Undersøgelser ved Alsted Vandværk

Resultaterne af analyser af prøver fra gårdspladsen fremgår af tabel 8.3

Prøve identifikation	Dichlobenil	2,6-dichlorobenzamid
Vand. Alsted. Mors. 11/6-01. Boring G1.	i.a.	0,83
Jord. Årnakke 1. Alsted. G1. 0,20m.	18	2,9
Jord. Årnakke 1. Alsted. Mors. Bor. G1. 1,0m.	<4	<1
Jord. Årnakke 1. Alsted. Mors. Bor. G1. 3,0m.	14	<1
Jord. Årnakke 1. Alsted. Bor. G2. 0,20m.	12	2,7
Jord. Årnakke 1. Alsted. Mors. Bor. G2. 3,0m.	<4	<1
Jord. Årnakke 1. Alsted. Bor. G2. 4,0m.	<4	<1
Jord.. Alsted. G3-G7. Blandeprøve. Overflade.	4	2

Tabel 8.3 Analyseresultater, Gårdsplads. Enhed µg/kg

Det ses, at der findes dichlorbenil og BAM i jorden, samt at der findes høje koncentrationer af BAM i vandet i G1.

8.4.1.4 Konklusion

Der er tale om en kompleks forureningssituation, som tyder på tilstedeværelsen af flere transportveje fra mindst en kilde. Der kan ud fra undersøgelserne konkluderes følgende:

- Der er ikke konstateret forurening i jordprøver på vandværket. Derfor er der tilsyneladende andre kilder til forureningen.
- Der findes en relativ boringsnær kilde til forurening i form af nabogårdsplads (ca. 50 m fra indvindingsboring), hvor der findes koncentrationer i sekundært grundvand på 0,8 µg BAM/l og stadig findes tydelig indhold af dichlobenil i jorden.
- Der findes ingen forurening i sekundært grundvand i en undersøgelsesboring (GEO1, filtersat i sand fra 4-6 m u. t.) i en afstand af 1,5 m fra den forurenede boring 1. Derimod er der registreret et BAM-indhold i en boring placeret i en afstand af 6 m fra boring 1 (GEO2, filtersat i moræner i 4-6 m u. t.) i en koncentration på ca. halvdelen af hvad der ses i boring 1. Dette indikerer trods alt, at der kan være andre kilder end gårdspladsen, og også at der er grundlag for en eller anden form for boringsbetaget transport.
- Der er risiko for transport gennem forerør via utætte samlinger i begge indvindingsboringer (boring 1, type III fra 1971 og boring 2, type III fra 1985).
- Der er ingen forerørstætning over utæt samling i boring 1. Dette giver risiko for skorstenseffekt. I boring 2 findes ca. 2 m forerørsforerørstætning fra 14,5 til 16,5 m u. t. Denne forerørstætning kan sandsynligvis stoppe en skorstenseffekt.
- Der registreres meget høje kimtal, samt efterfølgende markante fald under pumpning i boring 1. Dette er en indikation for indstrømning med overfladevand.
- Der registreres høje BAM-indhold i boring 1's forerør. Dette er en indikation for indsivning fra utæthed.
- De højeste indhold af BAM registreres i filteret i boring 1, og der registreres ingen signifikante fald i koncentrationerne under pumpning. Dette er en indikation på, at der er magasinforurening.
- Der konstateres ingen forurening i boring 2. Formentlig fordi boringen er filtersat dybere i indvindingsmagasinet end boring 1. Derfor registreres ingen magasinforurening fra en relativ boringsnær kilde. Samtidig sørger forerørsforerørstætningen for, at der ikke sker boringsbetaget lækage. Et utæt skruehul 10,5 m u. t. er ikke betydende nok til, at boringen forurenes, jf. vurderingen afsnit 4.3.3.

Ovenstående viser, at boringskonstruktionerne er defekte. Der er tale om en kompleks forureningssituation, med 2 boringer indenfor kort afstand, hvoraf den ene er forurenede og den anden ikke forurenede. Men selv om der sker en indsivning i boring 1, jf. BAM-indhold og forhøjede kimtal i forerøret, er det sandsynligvis ikke den eneste årsag til forureningen, da der:

- tilsyneladende ikke findes jordforurening på vandværksgrunden,
- tilsyneladende ikke findes forurenede sekundært grundvand lige op af boring 1,
- tilsyneladende kun er mulighed for lille indstrømningsmængde i den registrerede utætte samling,
- registreres de højeste og vedvarende koncentrationer i filterrøret under forerøret under fortsat pumpning
- findes en boringsnær kilde i form af den BAM-forurenede nabogård lige op af vandværket.

For at få yderligere vished om magasinforureningens bidrag, kan anbefales at etablere en undersøgelsesboring i indvindingsmagasinet opstrøms boring 1

(og opstrøms boring 2). Boringen bør filtersættes i de samme sekvenser som boring 1 og 2. Ifølge beregningerne i afsnit 4.3 vedr. lækagetypernes betydning, vil bidraget fra skorstenseffekt i en gruskastet type III boring som denne være ca. 0,5 m³/d (geologisk hovedtype 4, jf. hovedrapport afsnit 7) mens en utæt samling som denne vil kunne bidrage med ca. 0,05 m³/d. Med de BAM-koncentrationer, som findes i det sekundære grundvand på denne lokalitet, vil utæthederne bidrage minimalt.

Med hensyn til evaluering af benyttede metoder, kan følgende konstateres:

- TV-inspektion giver i dette tilfælde god information om utætheder i forerør.
- Gamma- og induktionslogging giver information om geologi og intervaller for forerørstætninger, men ingen egentlige nye oplysninger vedrørende tætninger ved undersøgelser af gamle type III-boringer eller type I, II og IV-boringer, hvor borerør er efterladt som forerør, og der derfor ingen forerørstætning er.
- Niveauspecifikke vandprøver er nyttige for at se placeringen og dermed indstrømning af forureningen i boringen.
- Jordprøver og sekundære vandprøver er nyttige for at finde forureningskilder, og dermed transportveje for forureningen.

8.4.2 Frederiksberg, Sorø

8.4.2.1 Forureningssituation

Frederiksberg Vandværk består af 2 indvindingsområder, dels Feldskov, dels vandværket. Der sker en samlet årlig indvinding på ca. 280.000 m³. Indvindingsboringerne i Feldskov - boring 1 (DGU 10.624) og 7 (DGU 210.766) - er begge filtersat i samme regionale, nedre sandmagasin, jf. figur 8.7. Umiddelbart ved siden af boring 7 (DGU 210.766) ligger boring 8 (DGU 210.767), der ikke anvendes i råvandsproduktionen. Denne boring er filtersat i det mellemste, overliggende sandmagasin, adskilt fra det nedre sandmagasin af ca. 20 m moræneler. Geologien i indvindingsboringerne ved vandværket er lidt anderledes end i Feldskov. De to indvindingsboringer boring 2 (DGU 210.266A) og boring 6 (DGU 210.497) er begge filtersat i et sandmagasin overlejret af ca. 20 m moræneler. Boringernes placering fremgår af figur 8.3, mens der er vist et lodret snit af hydrogeologi og formodede strømningsveje ved Feldskov på figur 8.4.

Ved en boringskontrol i januar 1999 blev der i alle Frederiksberg Vandværks 6 indvindingsboringer fundet 2,6 dichlorbenzamid (BAM). Efterfølgende analyser viste, at koncentrationen af BAM i to af vandværkets boringer - 201.590 (boring 4) og DGU 211.181 (boring 5) - overskrider højest tilladelige værdi i drikkevand. Frederiksberg Vandværk har siden opretholdt en afværgepumpning af råvand fra disse to boringer, med afledning af vandet til Sorø Sø.

Der blev på den baggrund igangsat en undersøgelse af indvindingsforholdene omkring Frederiksberg Vandværk. Alle indledende undersøgelser er forestået af Rambøll. Med det formål at klarlægge omfanget af den konstaterede forurening med BAM i Frederiksberg Vandværks indvindingsboringer, blev der i januar og februar 2000 gennemført en række feltundersøgelser i vandværkets indvindingsområde.

På figur 8.3 er vist et kort over placeringen af Frederiksberg Vandværks boringer, samt kildeundersøgelse.



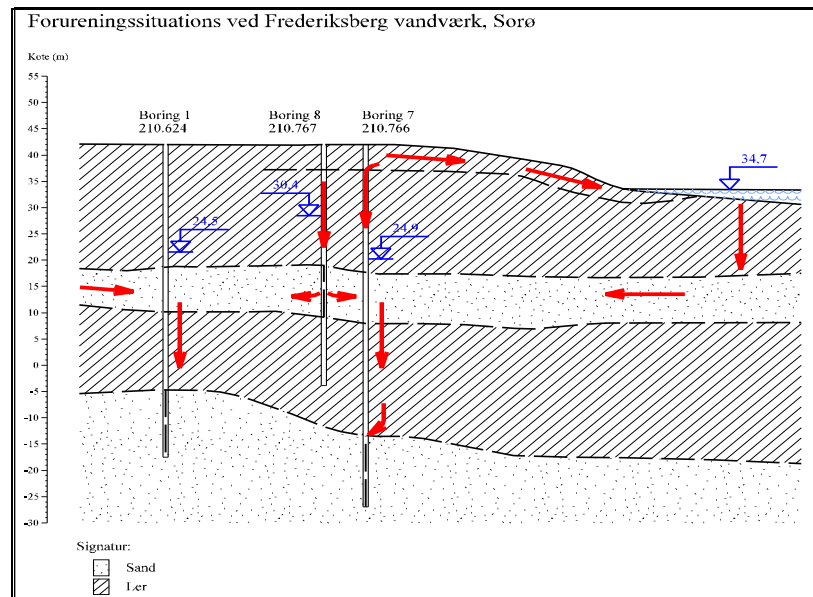
Figur 8.3 Situationsplan

De tidligere undersøgelser omfattede udførelse af 14 Geoprobe-boringer med udtagning af vandprøver til immunkemisk analyse for BAM, og i 8 af boringerne, også til aldersdatering med CFC-metoden. Endelig blev der udtaget vandprøver i alle vandværkets 8 boringer, ligeledes til analyse for BAM og til aldersdatering.

Hovedkonklusionerne var følgende:

- Boringerne i Feldskov vurderedes ikke at være truet af BAM indhold over den højest tilladelige værdi i drikkevand inden for en 10-20 års periode.
- Afværgepumpningen fra enten boring 4 eller boring 5 blev opretholdt af hensyn til fortsat produktion af råvand fra boringerne ved vandværket.
- Der er evt. boringsbetinget lækage mellem det filtersatte magasin og overliggende magasiner.
- Der blev foreslået etablere en monitoringsboring mellem boringerne langs Skælskørvej og boringerne ved vandværket.
- Der blev foreslået etableret en ny indvindingsboring i Feldskov
- Det øvre sårbare magasin (Skælskørvej, uden lerdække og vandtype A) er kraftigt påvirket. Herfra afværgepumpes fra begge boringer, boring 4 og 5.
- Forureningskilder er sandsynligvis Jernbanen, lodsejere, kommunale anlæg

- Geoprobe viser ved kildeopsporing kraftigt indhold i en boring.
- Det mellemste sandlag ved vandværket er ikke så sårbart (ca. 20 m lerdække, dog vandtype B/C).
- Nedre magasin er ikke sårbart (tykt lerdække, vandtype C) Undersøgelser viste en generel svagt forurening i alle boringer, som kunne tyde på forurening af formationen eller lækage fra søen til mellemste magasin og videre langs forerør
- Opadrettede gradienter fra mellemste og øverste magasin til søen blev vurderet som, at der ingen lækage kan være fra søen /23/, men indvindings-boringer meget tæt på søen giver gradienter under søbredens trykniveau, hvorfor der godt kan være lækage fra søen /24/ og figur 8.4.



Figur 8.4. Forureningssituation og formodede strømningsveje Ved Feldskov, Frederiksberg Vandværk

8.4.2.2 Iværksatte undersøgelser

Der er undersøgt 4 boringer, heraf 2 type II og 2 type III boringer. Programmet er skematisk vist på tabel 8.4.

DGU nr.	Boring 1 210.624	Boring 7 210.766	Boring 2 210.266A	Boring 6 210.497
Optagning og nedsætning af pumper	X	X	X	X
Gamma, induktion, heat-pulse, TV			X	X
Heat-pulse, TV	X	X	X	X
Gamma, induktion, sonic-log	X	X		
Sonic-log				X
Sep.pumpning, prøvetagning, analyse		X		
Sep. pumpning, prøvetagning				X
Nedsivningstest og udtagning af vandprøve v.h.a. packer		(X)		

Tabel 8.4. Undersøgellesprogram

Der er kørt en log med heat-puls sonden uden pumpning med registrering af strømning i bunden af forerør (over filteret), i toppen af filteret, i midten af filteret og i bunden af filteret, for at se de lodrette strømninger og indstrømninger i forerør og filterrør.

Der er placeret større SP-pumpe i bunden og mp-1 pumpe i toppen af boring 7. Heat-puls sonde ca. 2 m under MP-1-pumpen. Der udtages niveauspecifikke prøver lige ved pumpeopstart, efter 2,5 timers pumpning fra begge pumper. Prøverne er analyseret for BAM, Kim-tal, nitrat, fosfor og permanganattal .

Med henblik på yderligere kildeopsporing er der udtaget jordprøver ved jernbanen, idet der i indvindingsoplandet løber en jernbanestrækning. Det fremgår af fortegnelse over almindeligt anvendte herbicider ved DSB i Vestsjælland Amt frem til 1993, at dichlobenil har været anvendt langs jernbanesporene. I forsøg på at undersøge om jernbanen udgør en kilde til den konstaterede grundvandsforurening ved Frederiksberg Vandværk, er der udtaget 2 stk. jordprøver langs sporene på en udvalgt ca. 50 m lang strækning. Jordprøverne er udtaget ca. 3 m fra sporene i 0,5 meters dybde under stendæklaget. Jordprøverne er benævnt Jordprøve 9 og Jordprøve 10 på figur 8.3.

8.4.2.3 Data fra undersøgelserne

Resultaterne af vandprøverne fremgår af tabel 8.5.

Prøve identifikation	Kimtal	2,6-dichloro-benzamid
Vand. Frederiksberg vv, B7. 15 m. kl.9	>2000	0,043
Vand. Frederiksberg vv, B7. 52 m. kl.10	>2000	0,03
Vand. Frederiksberg vv, B7. 52m. kl.12.30	740	0,01
Vand. Frederiksberg vv, B7. 55m. kl.12.30	9	0,015

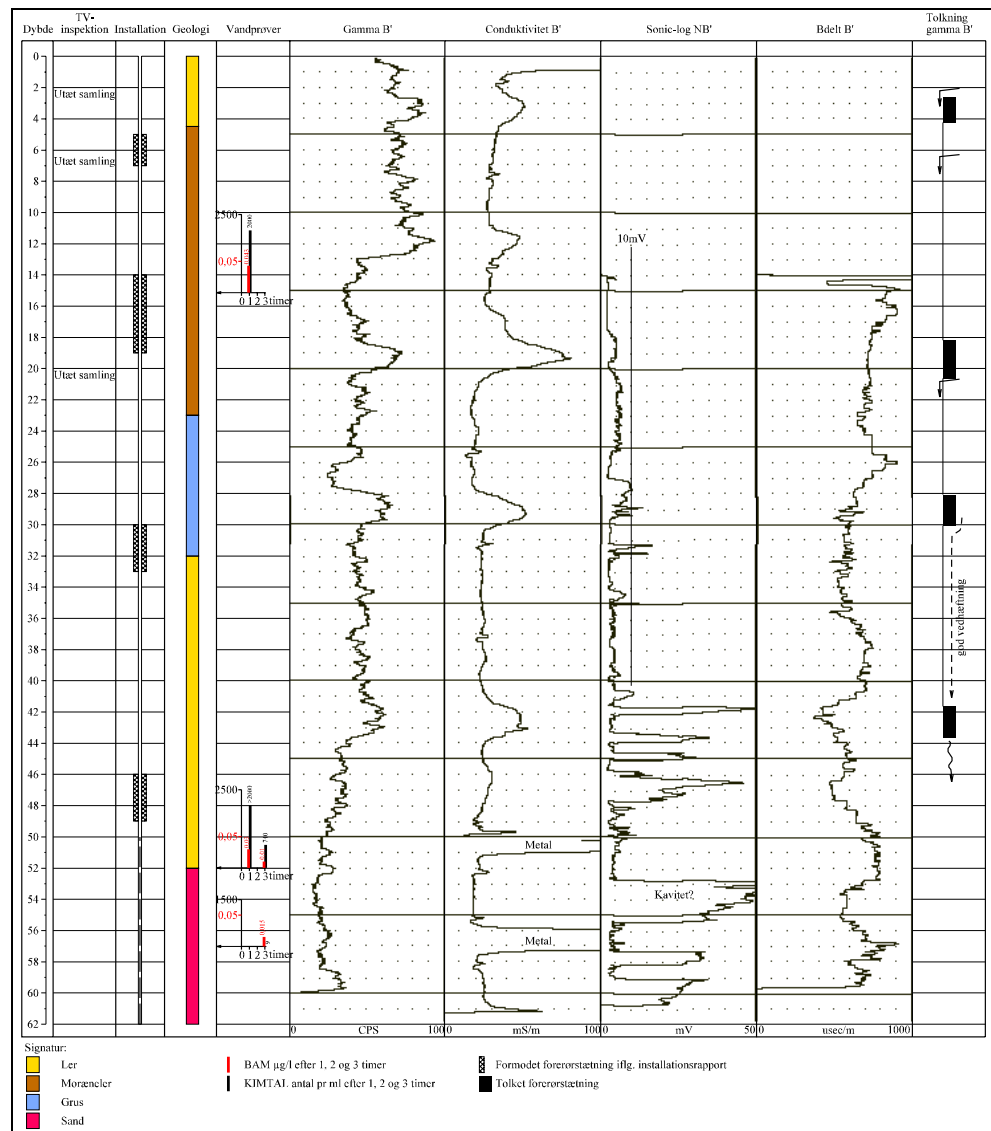
Tabel 8.5. Vandprøver. Enhed KIM: antal/ml, BAM: µg/l

Boring 7 (type III boring fra 1990):

På figur 8.5 -8.7 er resultaterne af undersøgelserne i borerne skitserede.

Der ses svagt forhøjet indhold af BAM og kraftigt forhøjet kimtal i toppen af filteret, som udtryk for en inficering fra toppen eller ned langs forerøret. I løbet af pumpningen formindskes koncentrationerne pga. den større opblanding med formationsvand. Kimtal viser en inficering af både forerørsvand og top filter.

Ved TV-inspektionen registreres et par små utætheder i den umættede zone på 2,4 og 6,7 m. Under Vandspejlet (13,3 m) er vandet en smule grumset. Okkerudtræk i en samling på ca. 20,4 m kunne tyde på en utæthed.



Figur 8.5. Undersøgelser i boring 7

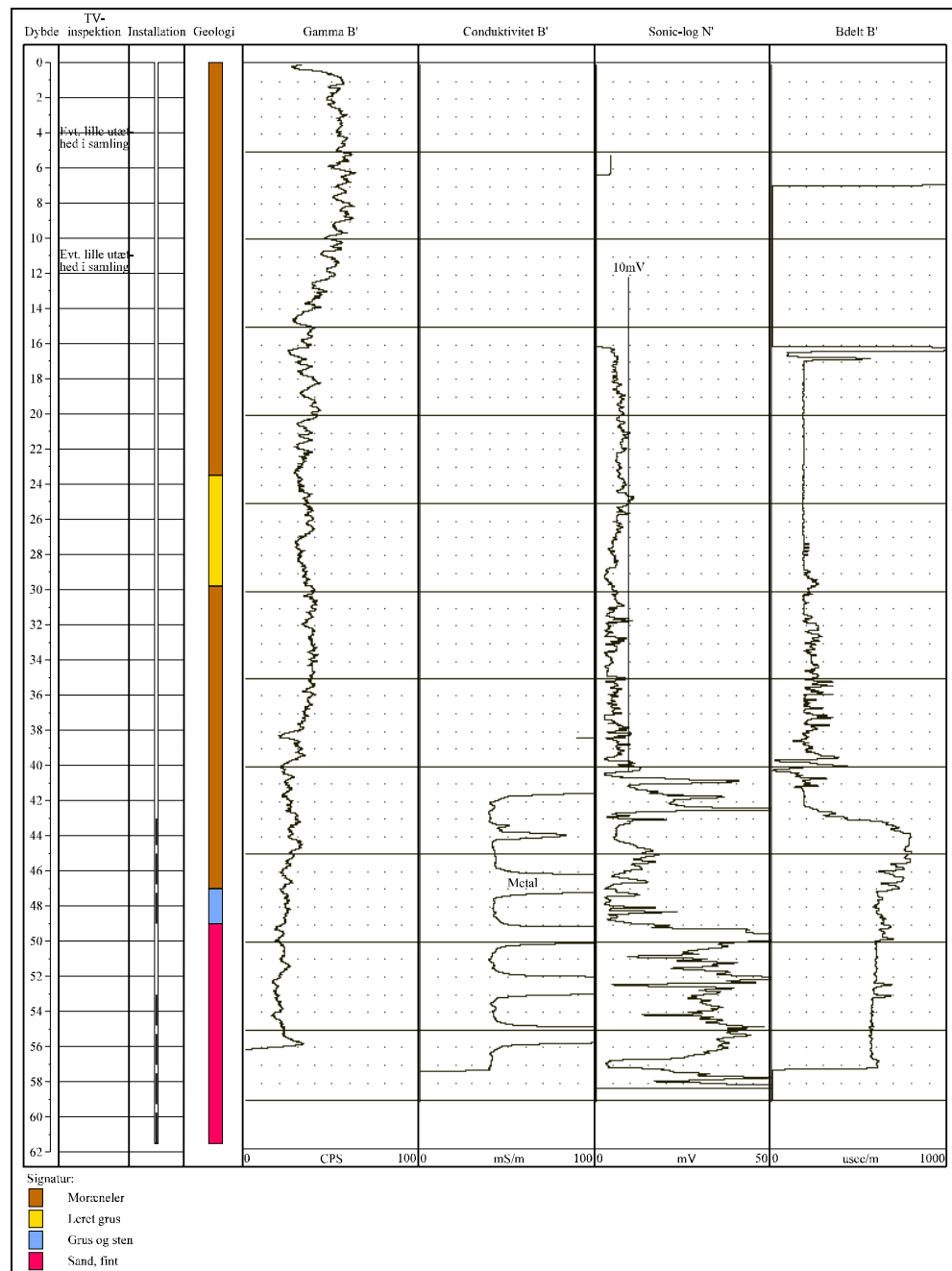
Alt peger på, at der er tale om lækage fra mere overfladenære lag, evt. fra søen. Forseglingen er ikke optimalt placeret, og de er forskudt i forhold til installationsrapporten. Den ene prop er således placeret i gruslaget, så der er risiko for skorstenseffekt. Det kan derfor ikke udelukkes, at der sker en lodtet vandtransport i den nederste del af boringen, på ydersiden af forerøret.

Boring 1 (type II boring fra 1975):

Der er små okkerudtrækninger i den umættede zone i samlinger på 4 og 11 m ved TV-inspektionen, som indikation på mindrebetydende utætheder. Under vandspejlet er vandet noget grumset, men der er intet, der tyder på utætheder.

Der registreres ingen entydige tegn på strømning i røret ved heat-puls målinger. Ved gammaloggen registreres ingen forseglinger, men alligevel viser Sonic-loggen en god vedhæftning til forerøret.

Der er ingen klare tegn på lækage fra ovenliggende lag eller fra søen.



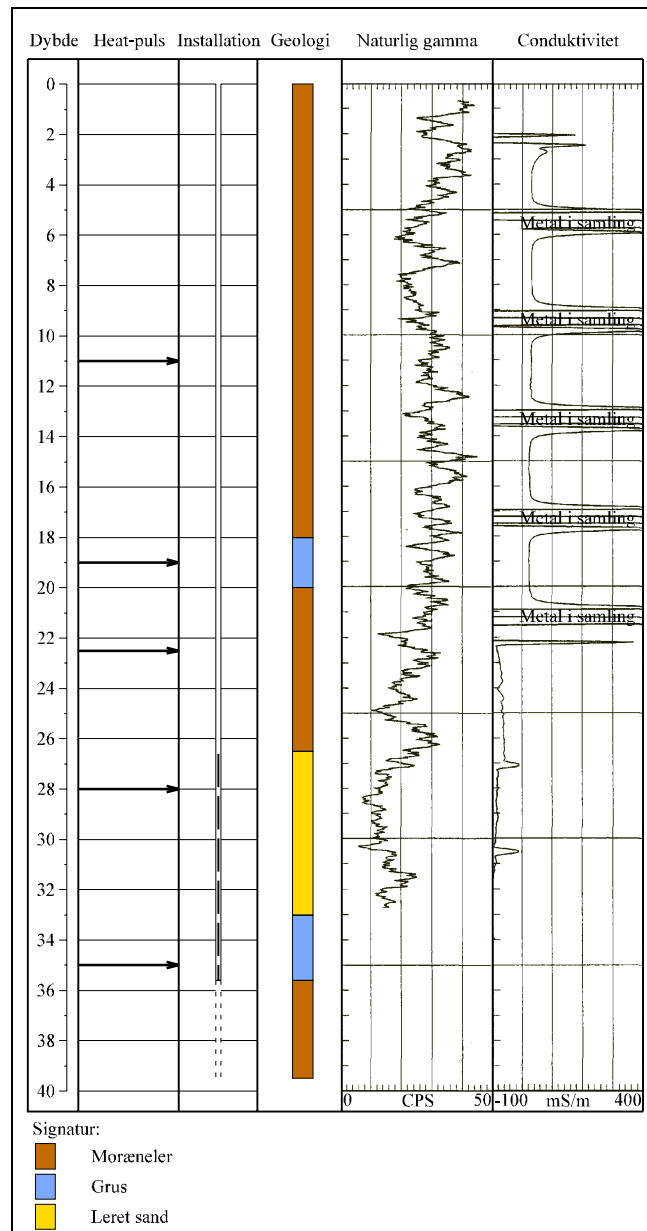
Figur 8.6. Undersøgelser i boring 1

Boring 6 (type II boring fra 1968):

Vandet er stadig meget grumset under TV-inspektionen. Boringen har ikke stået længe nok efter optagning af pumper. Ingen tydelige tegn på utæthed el. lign. Ingen tydelige tegn på lækage-strømning i boringen ved heat-puls målingerne. Men de er svære at tolke. HP-målingerne tyder på, at der kan være lækage som følge af en utæthed i røret. Det kan ikke ses ved TV pga. partikler (Bør evt. trykprøves).

Boring 2 (type III boring fra 1955):

Under TV-inspektion var der fin sigt. Eternitrøret ser umiddelbart fin ud, også under GVS. Tjæresamlingerne ser tætte ud. Stop på 20,8 m pga. overgang til mindre dimension. Der registreres uden pumpning ingen betydende strømning i filteret eller i forerørret ved heat-puls målinger. Der ses ved logging tydelig påvirkning af forerørssamlinger, samt filterrør men ingen tydelige afpropninger.



Figur 8.7. Undersøgelser i boring 2

Boringen optræder i det store hele OK.

Analyserne af jordprøverne fremgår af tabel 8.6.

Prøve identifikation	TOC %	Dichlobenil	2,6-dichlorobenzamid
Jord. Frederiksberg. 9. Jernbane	1,70	<4	<1
Jord. Frederiksberg. 10. Jernbane	1,06	<4	<1

Tabel 8.6. Analyseresultater af jordprøver . Enhed: µg/kg.

Der blev ikke konstateret indhold af dichlobenil og BAM i de to jordprøver.

Ved tidligere undersøgelser af grundvandet meget tæt ved samme jernbanestrækning er der heller ikke konstateret indhold af BAM i det øvre

grundvandsmagasin.

8.4.2.4 Konklusion

Ud fra undersøgelserne på Frederiksberg Vandværk kan følgende konkluderes:

- Der er registreret utætte PVC-samlinger i boring 7 (type III boring fra 1990).
- Forerørstætningerne sidder ikke hvor boreprofil viser det. Den ene prop er placeret i det mellemste sandmagasin, ikke i leren, som installationsrapporten viser. Der kan derfor ske en lodret lækage langs forerøret, som minimum til den sidste tætning, som ligeledes er forskudt i forhold til det formodede.
- Der er registreret meget høje kimtal, samt efterfølgende markante fald under pumpning. Dette indikere problemer med overfladevand i boring 7 fra terrænnære utætte samlinger.
- Der ses i boring 7 fald i BAM efter noget pumpetid samt niveauforskelle i BAM-fordelingen. Dette indikerer, at BAM-forureningen er transporteret boringsnært, sandsynligvis boringsbetinget.
- Der er ikke registreret betydende lækage i jernforerøret i boring 1 (type II boring fra 1975). Det kan dog ikke udelukkes, at der er kortslutning mellem de 2 magasiner i boring 1, som følge af skorstenseffekt. Der findes ingen analyser af vandprøver til at dokumentere logresultaterne.
- Der er ikke registreret lækage i eternitrør i boring 2 (type III boring fra 1955).
- Der er ingen sikre tegn på lækage i boring 6 (type II boring fra 1968), da der er usikkerhed omkring resultater af Tv-inspektion og heat-puls målinger.

Sammenfattende kan det konkluderes ud fra undersøgelserne, at hypotesen om kortslutning af det nederste velbeskyttede lag via boringsbetinget transport sandsynligvis holder stik. Det er ikke afgjort, hvorfra forureningen til det mellemste magasin kommer. Der er sandsynligvis et hovedbidrag fra kilder i byen, og desuden sekundært en udveksling med søen.

Det fremgår at en af fire boringer er med sikkerhed utætte, undersøgelserne viser tydelige utætheder i PVC-samlinger i en boring etableret i 1990, mens blandt andet en eternitboring fra 1950'erne er tæt.

Med hensyn til undersøgelsesmetoderne kan det konkluderes følgende:

- Tv-inspektionen har i visse tilfælde givet for få informationer på grund af sigtbarheden, og heat puls målinger har til tider været vanskelige at tolke på grund af følsomheden overfor ydre variationer i magasinet under forsøgene.
- En formodet kilde ved jernbanen kan ikke registreres ved enkeltstående jordprøver.
- Opstrøms undersøgelsesboringer mellem formodede kilder og vandforsyningen til mellemste magasin vil være en hjælp til mere sikkert at kunne konkludere noget mere eksakt om transportveje (og kilder).
- For med sikkerhed at kunne afgøre om der er skorstenseffekt med transport af forurening, bør man udtage niveauspecifikke vandprøver,

som i boring 7. Undersøgelserne viser vigtigheden af også at få specifikke kemiske analyser (BAM, organiske og uorganiske indikatorparametre), specielt i tilfælde som disse, hvor de indirekte målinger ikke umiddelbart kan vise om der er mulighed for lækage langs forerør i borerne.

8.4.3 Kildebakken, Assens

8.4.3.1 Forureningssituation

Kildebakken Vandværk indvinder grundvand fra et glacialt sandmagasin cirka 24-39 meter under terræn. Magasinet er overlejret af et tyndt morænelersdække af varierende tykkelse, op til cirka 5-7 meter. Rovandsspejlet er 2-6 m u. t.. Boringer filtersat i nævnte magasin har artesisk vandspejl. En enkelt boring er filtersat i et øvre magasin uden dæklag. Boringen har frit vandspejl.

Vandværket er fra 1903. Der er 3 indvindingsboringer, men en boring er aldrig i brug. Den årlige indvinding udgør cirka 375.000 m³.

Der er udført undersøgelser i 1997. Der blev dengang fundet 20 gange mere forurening i Skoven 2 (boring 153.82) end i Skoven 1 (153.149) 100 m derfra. Råvandsanalyser har tidligere indikeret en blanding med overfladevand i Skoven 2.

Dårlig ydeevne, samt en stor lokal afsenkning under drift og beliggenhed lige ved sø gav indikation af for stor risiko for lækage langs rør, gennem tørbrønd evt. via spøgelsesboring. Efter stop af pumpning er der sket en stigning af BAM-indhold. Efter igangsætning af afværgepumpning faldt BAM-indhold som følge af fortyndingen. Dette indikerer en boringsnær kilde. Beliggenhed 25-30 m fra tidligere nr. 36 (lige ved åen) indikerer evt. påvirkning fra spøgelsesboring og eller fra vandløb.

8.4.3.2 Iværksatte undersøgelser

Der foretaget følgende:

- I et forsøg på kildeopsporing er der taget vandprøve af åen, som ligger lige op ad Skoven2. Herudover er der taget jordprøver i sti og lige op ad boringen
- For at bestemme tilstanden af Skoven 2, er der udført TV-inspektion og logging i boringen. Herudover er der udtaget niveauspecifikke vandprøver og separationspumpning. Pumpningen er foretaget med packer, som løbende er målt med manometer, for at sikre tætheden
- Sammenlignende vandprøve af Skoven 1

8.4.3.3 Data fra undersøgelserne

De niveauspecifikke vandprøver fremgår af tabel 8.7.

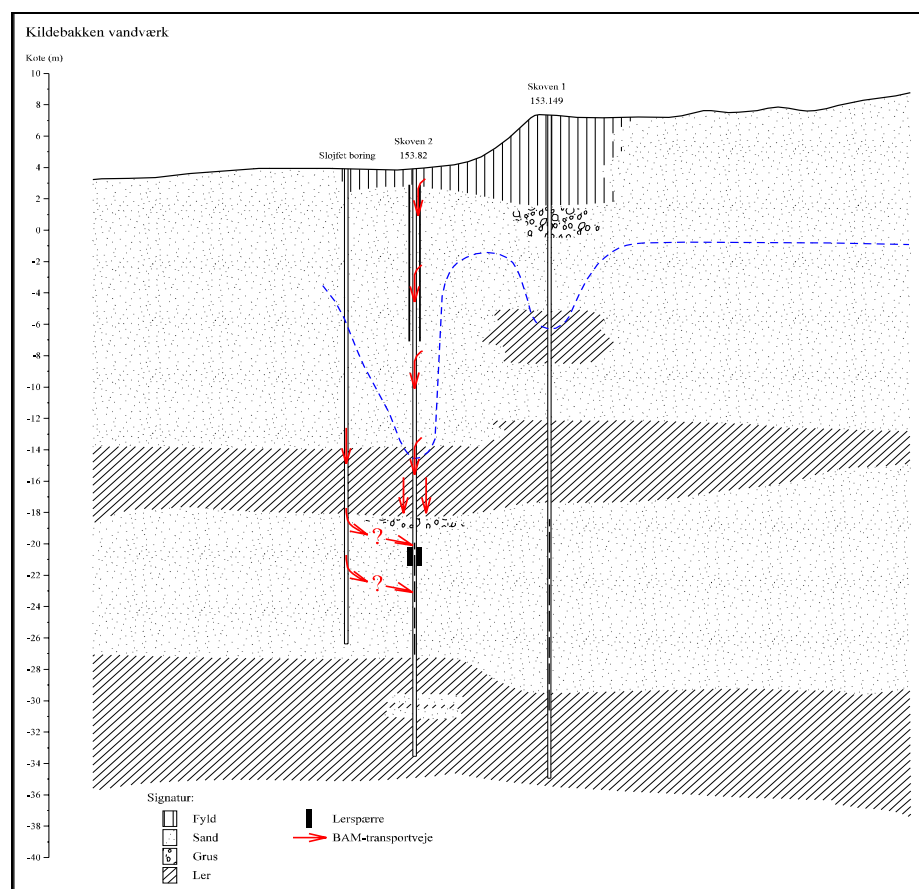
Prøve identifikation	Kimtal	Nitrat	2,6-dichloro-benzamid
	Antal/ml	mg/l	µg/l
Kildebakken.Skoven1. Kl.14.00	<1	0,5	< 0,03
Kildebakken.Skoven2. 22m. Kl.11.30	23	12	0,42
Kildebakken.Skoven2. 24m. Kl.12.00	5	13	0,48
Kildebakken.Skoven2. 24m. Kl.13.00	<1	13	0,50
Kildebakken.Skoven2. 24m. Kl.14.30	2	14	0,52
Kildebakken.Skoven2. 29m. Kl.12.00	25	9,8	0,32
Kildebakken.Skoven2. 29m. Kl.13.00	4	10	0,35
Kildebakken.Skoven2. 29m. Kl.14.30	<1	10	0,34

Tabel 8.7 Indhold i vandprøver

Niveauprøvetagningen og separationspumpning viser ingen tendenser for ændring af indholdet af BAM i Skoven 2. De uorganiske parametre viser intet unormalt. Der ses et lille indhold af Kimtal i boringen i starten, som forsvinder med pumpetiden. Indholdet findes desuden i hele filterintervallet.

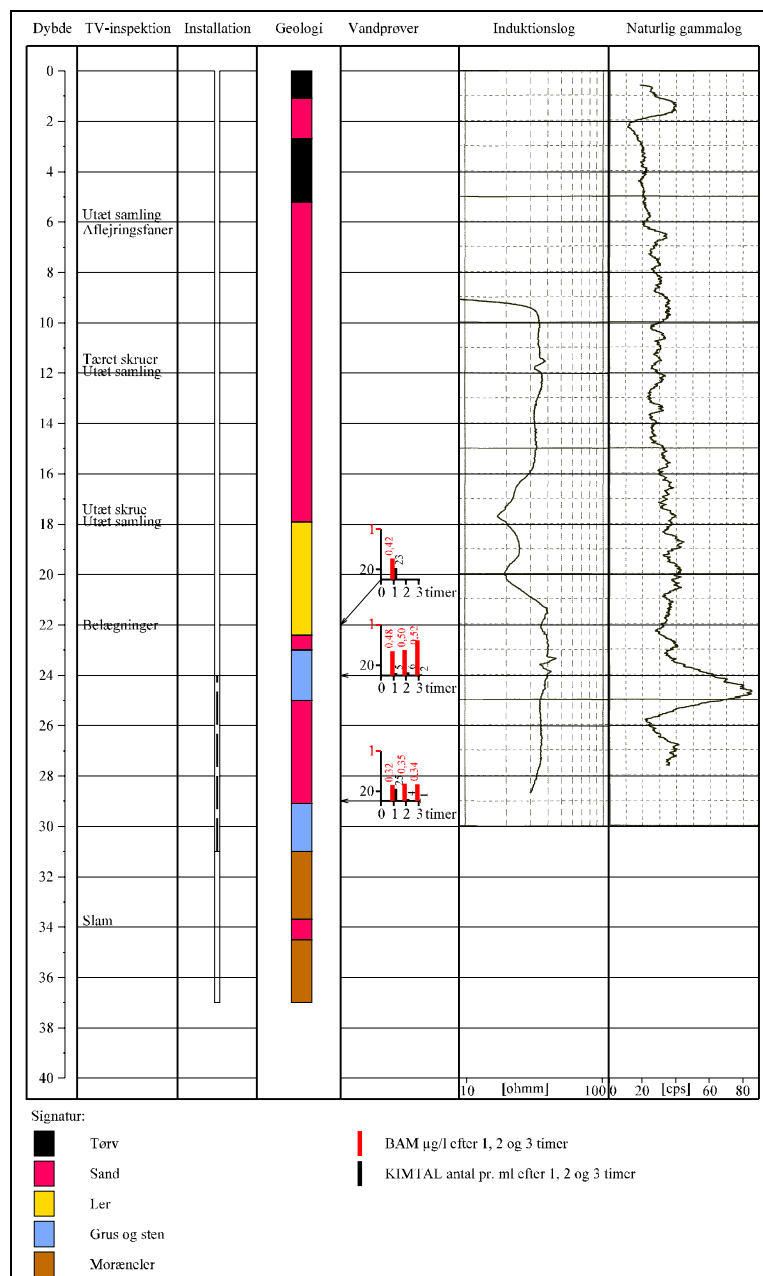
Der registreres ingen forurening i Skoven 1. I en vandprøve i sø og å ses et svagt indhold på 0,09 µg BAM/l.

Ved TV-inspektionen i Skoven 2 registreres tydelige utætte samlinger og skruehuller. Forureningssituationen er skitseret på figur 8.8.



Figur 8.8 Forureningssituation på Kildebakken omkring Skoven1 og Skoven2.

Logprofiler fremgår af figur 8.9



Figur 8.9. Undersøgelser i Skoven 2

Det fremgår af logprofilet, at der hvor induktionsloggen ikke giver udslag, de øverste 9 m, findes stålrør. Herudover kan det godt se ud som om der er en nedsunken lerprop i filteret, på ca. 24 - 25 m. u. t., hvilket måske kan forklare, at der er en meget mindre ydelse end i de øvrige borer på vandværket. Dette kan dog ikke eftervises ved TV-inspektionen.

I jordprøver omkring boringen og på sti findes ingen forurening, jf. tabel 8.8

Prøve identifikation	TOC %	Dichlobenil	2,6-dichloro-benzamid
Jord. Kildebakken. 0,05 m. Lbn. 1,6,11,16,21	2,73	< 4	<1
Jord. Kildebakken. 0,1 m. Lbn. 2,7,12,17,22	2,13	< 4	<1
Jord. Kildebakken. 0,2 m. Lbn. 3,8,13,18,23	1,39	< 4	<1
Jord. Kildebakken. 0,5 m. Lbn. 4,9,14,19,24	1,08	< 4	<1
Jord. Kildebakken. 1,0 m. Lbn. 5,10,15,20,25	3,10	< 4	<1

Tabel 8.8 Analyseresultater af jordprøver . Enhed: µg/kg.

Der er således ikke registreret en boringsnær kilde.

8.4.3.4 Konklusion

Ud fra undersøgelserne på Kildebakken Vandværk kan følgende konkluderes:

- Skoven 2 er utæt i samlinger, der er skruehuller, og der er ingen forerørstætning i forerøret. Til gengæld er der registreret en lerprop, som er sunket ned i filteret. Boringen er udført som lufthæveboring, og fejlen er sandsynligvis sket som et resultat af for dårlig oprensning før filtersætning. Herudover er det ved induktionsloggen konstateret, at et arbejdsrør af stål til ca. 10 m u. t. er blevet stående efter boringsafslutning. Der er således mulighed for lækage af overfladevand fra terræn, samt fra det øvre sandlag til boringen via skorstenseffekt og i øvrigt via utæthederne i forerør.
- Der registreres ingen forhøjede kimtal, som indikation for problemer med overfladevand. Men der findes dog nitrat, sandsynligvis som et udtryk for en påvirkning fra det øvre sekundære magasin (Der er ingen nitrat i andre indvindingsboringer). Da det er fundet i hele den filtersatte sekvens, kan der være også være andre boringsnære transportmuligheder. Det kan ikke udelukkes, at en nærliggende spøgelsesboring kan transportere forureningen.
- Der ses ingen fald i BAM ved længerevarende pumpning og ej heller niveauforskelle i BAM-fordelingen over filteret. Dette indikerer, at BAM findes i formationen
- Der er ikke konstateret BAM i Skoven 1. Ifølge tidligere tidsserier, er der fundet BAM i små koncentrationer i Skoven 1, samtidig med høje pulser i Skoven 2 (ca. 1/7 koncentration). Dette indikerer, at der er en sammenhængende magasinforurening, hvor man i Skoven 1 kun ser det yderste af forureningsfanen, når der måles høje værdier.
- Kilden til forureningen er ikke fundet. Recipienten eller området lige ved boringen er ikke kilden på grund af de små indhold. Kilden skal sandsynligvis findes opstrøms indvindingen, sandsynligvis fra byen. Forureningen bidrager desuden med forureningsafstrømning til recipienten.
- Tidligere steg koncentrationen markant i Skoven 2 efter at pumpen blev slukket. Det tyder ligeledes på en boringsnær kilde og eller lækage.

Samlet kan det konkluderes, at man ikke kan være sikker på, at forureningstransporten udelukkende er boringsbetinget, selv om der findes utætheder og skorstenseffekt. Der er højst sandsynligt bidrag via

boringskonstruktionen, men også tegn på en anden boringsnær lækage til magasinet opstrøms for boringen.

En undersøgelsesboring opstrøms for boringen til det sekundære og primære magasin om muligt tæt på den sløjfede boring vil kunne styrke konklusionerne mht. transportveje og kilder.

8.4.4 Københoved, Rødding

8.4.4.1 Forureningssituation

Københoved Vandværk er beliggende på Rødding Bakkeø i et område med overvejende tertiære aflejringer. Dæklaget består øverst af moræner til 10 m dybde, herunder findes øvre magasin bestående af smeltevandssand og -grus til ca. 25 m dybde, hvor prækvartæroverfladen findes. Vekslede, overvejende sandede, tertiære aflejringer (glimmer) ses ned til ca. 56 m dybde, hvorunder indvindingsmagasinet, bestående af kvarts-/glimmersand træffes, og afsluttes i sort glimmerler ca. 60-65 m. u. t.

Kildepladsen er fra 1951-52 og indvinder årligt ca. 35.000 m³ fra 2 indvindingsboringer (DGU 132.882 (B2) og 132.883 (B1)) er filtersatte i ovennævnte magasin. Boringerne er udført i 1986. Der blev i 1998 konstateret et indhold af BAM på 0,290 µg/l i B2. Siden hen er det konstateret, at den nærliggende B1 også er forurenet, dog i en lavere koncentration, senest under grænseværdien. Foreningskoncentrationen i B2 er fortsat høj og stigende, seneste analyse før nærværende undersøgelse 0,40 µg/l. De geologiske lag fremgår af figur 8.10.

Begge boringer er konstateret forurenede, men en boring (boring 2) kraftigt og en boring lettere forurenet (boring 1). Der er tidligere foretaget en del tiltag på vandværket bl.a. TV-inspektioner, renovering af boring, afværgepumpning på forurenet boring, samt etablering af ny råvandsstation mv..

8.4.4.2 Iværksatte undersøgelser

Undersøgelserne er udført i samarbejde med VandSchmidt A/S. Der er genfundet en sløjfet boring "spørgelsesboring". Boringen er opboret med henblik på at se et eksempel på sløjfningsmetodik. Derfor er tilfyldningsmaterialet kortlagt. Lige op af boringen er der etableret en ny undersøgelsesboring (G1), som er filtersat i samme øvre magasin til lokalisering af BAM.

Der blev udtaget jordprøver på vandværksgrunden, da der er vished om at der er benyttet prefix på grunden. Prøverne er udtaget i korte boringer, og analyseret som blandeprøver fra 0-1 m u. t.

Der blev udført en boring til det øvre magasin tæt på den opborede boring. Der er foretaget målinger af de hydrauliske forhold i øvre og nedre magasin med udtagning af vandprøver i ny boring og i forurenede indvindingsboring under 2 forsk. pumpescenarier (2 uger). Der blev pumpet med intervaldrift i første uge med skiftevis høj ydelse eller ingen pumpning. Herefter overgik man til mere harmonisk styring med kontinuert drift, således at den totale oppumpningsmængde var ens. Der blev udtaget vandprøver ved afslutningen af hvert pumpescenarie.

8.4.4.3 Data fra undersøgelserne

Den opborede boring, som blev sløjfet i 1980 bestod af en Ø-160 mm PVC boring med filtersætning fra 21,1-27,1 m u. t.. Boringen va sløjfet med 4 m lerspærre lige over filteret og herefter sandet tilbagefyldt fra 16,5 m u. t. til en gammel brønd i 1,6 m u. t.. Der er en cementstøbning på 0,2 m under den gamle brønd. Resultaterne af jordprøverne fremgår af tabel 8.9

Prøve identifikation	TOC %	Dichlobenil	2,6-dichloro-benzamid
Jord. Københoved Vandværk. K1-K5. 0-0,05m.	0,36	64	2,6
Jord. Københoved Vandværk. K1-K5. 0,05-0,1m.	0,75	24	11,4
Jord. Københoved Vandværk. K1-K5. 0,1-0,2m.	1,04	6,8	15,6
Jord. Københoved Vandværk. K1-K5. 0,2-0,7m.	0,86	<4	<1
Jord. Københoved Vandværk. K1-K5. 0,7-1,0m.	0,37	<4	<1

Tabel 8.9. Analyser af jordprøver. Enhed: µg/kg.

De overfladenære jordprøver viser kraftige indhold af BAM og dichlobenil. Efter 0,2 m registreres ingen forurening.

Resultaterne af vandprøverne fremgår af tabel 8.10.

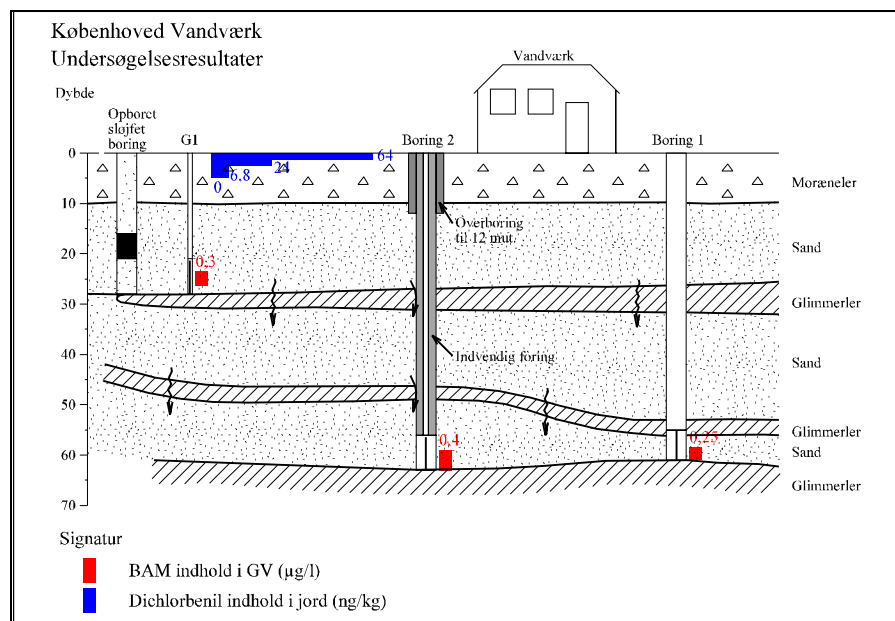
Prøve identifikation	2,6-dichlorobenzamid µg/l
Boring 1, 00-07-12	0,25
Boring 1, 00-07-20	0,22
Boring 2, 00-07-12	0,46
Boring 2, 00-07-20	0,45
G1, 00-03-10 (pumpescenarie 1)	0,32
G1, 00-09-10 (pumpescenarie 2)	0,32
Boring 2, 00-03-10	0,42
Boring 2, 00-09-10	0,40
boring 1, 00-03-10	0,33
boring 1, 00-09-10	0,32
Øvre brønd, 00-28-11	0,20

Tabel 8.10. Analyseresultater. Vandprøver

Der blev konstateret BAM i den nye boring (G1) i samme størrelsesorden som i boring 1. Der kan ikke umiddelbart konstateres nogen direkte hydraulisk kontakt mellem magasinerne ved pumpetesten. En eventuel påvirkning falder sammen med usikkerheden ved den korrigerede barometereffekt. Analyseresultaterne i forbindelse med volumenpumpningen viste samme størrelsesorden af forurening i borerne ved opstart og ved afslutning af pumpeforsøget.

8.4.4.4 Konklusion

Forureningssituationen er skitseret i figur 8.10.



Figur 8.10 Forureningssituation og strømningsveje ved Københoved Vandværk

Ud fra undersøgelserne på Københoved Vandværk kan følgende konkluderes:

- Der er benyttet Prefix på vandværket, og der er fundet dichlorbenil og BAM-forurening i jordprøver på vandværket. Kilden til forureningen er derfor højst sandsynligt vandværket
- Tidligere udførte Tv-inspektioner viste utætte boringer. Den efterfølgende boringsrenovering har ikke haft nogen effekt. Den indvendige udforing har stoppet utæthederne i forerør, men den udvendige overboring er kun lavet til 12 m u. t., hvilket er for lidt, da der er konstateret andre transportveje til 20-30 m u. t. hvorfra forureningen (skorstenseffekten) kan fortsætte.
- Der konstateres forurening i alle boringer og der registreres forurening af samme størrelsesorden i sekundært og primært grundvand. Magasinerne er derfor kraftigt påvirkede til en dybde af over 60 m.
- Pumpetesten viste ingen forskydninger af koncentrationerne.
- Alt tyder på en magasinforurening, hvor det ikke kan udelukkes, at der sker en boringsbetinget transport, men der er også andre transportveje til magasinerne, evt. via sløjfede boringer de øverste 16-17 m og derefter videre blandt andet langs ydersiden af forerøret på boring 2 under overboringen.

Sammenfattende kan det konkluderes, at der er tale om en kompleks forureningssituation, sandsynligvis med mange transportveje. Det øverste magasin til 30 m u.t. er forurenet. Der er højst sandsynligt sket en transport via en sløjfet boring til 16,5 m u. t., og herfra videre ad sandede aflejringer. En konklusion på denne sag er, at det efter renovering af forurenet boring ikke er lykkedes at reducere forureningen. Der er fjernet en mulig lækage, men der er i dette tilfælde andre veje, som kan transportere forureningen.

8.4.5 Flakkebjerg, Sjælland

8.4.5.1 Forureningssituation

I en boring på Flakkebjerg Vandværk (DGU. nr. 215.843) er der konstateret utætheder i samlingerne på en forholdsvis nyetableret boring. Samlingerne

består af PVC-skruesamlinger. For at undersøge betydningen af utætheden er der foretaget en indsivningstest i forerøret.

8.4.5.2 Iværksatte undersøgelser

Der er udført TV-inspektion, som viste utætheder i samlinger, primært i toppen af boringen.

Der er herefter foretaget indsivningstest i en boring med utætte samlinger. Der er benyttet en packer, som er sat i forerøret 27,0 m u. t. for måling og opsamling af indstrømmet vand til boringen. Efter packeren er placeret, er vandet tømt af over packeren, og udviklingen er fulgt med pejlinger i ca. 2½ dag. Trykket i packeren er løbende målt for at sikre mod indsivning nedefra.

8.4.5.3 Data fra undersøgelserne

Der er i løbet af forsøget sket en indstrømning på 7,8 liter, svarende til 3 l/dag eller 1,1 m³/år.

Dato	Kl.	Rovandspejl mut	Bemærkninger
2000.12.05	10:00	17,22	Før montering af packer.
2000.12.05	12.05	27,35	Efter montering af packer.
2000.12.05	13:00	27,34	
2000.12.06	06:00	27,27	
2000.12.07	06:00	27,11	
2000.12.08	06:00	26,96	

Tabel 8.11. Indsivningstest

Der er efterfølgende foretaget en renovering med en indvendig udstøbning. Der er nedsat en Ø125 mm PVC-boring og efterfølgende bagstøbt.

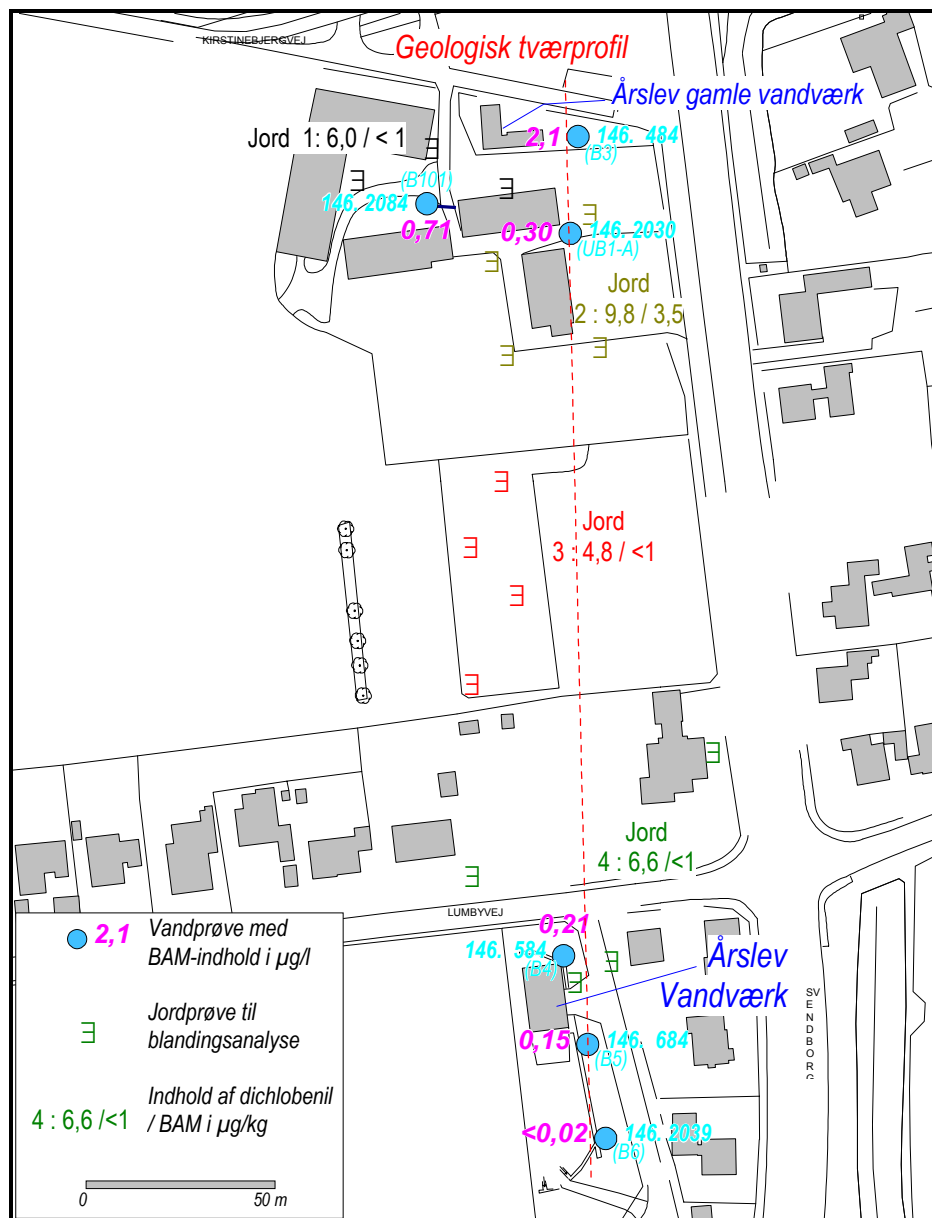
8.4.5.4 Konklusion

Forsøget viser, at indsivningen fra utætheden er begrænset.

8.4.6 Årslev, Fyn

8.4.6.1 Forureningssituation

Årslev Vandværk indvinder årligt ca. 125.000 m³ grundvand. Kildepladsen ligger på vandværksgrunden i den vestlige ende af byen og indbefatter 3 boringer, hvoraf 1 boring (B4) i 2000 er overgået til afværgepumpning på grund af et BAM-indhold på cirka 0,2 µg/l. Cirka 250 meter nord for vandværket afværgepumpes fra 2 boringer, - den ene B101 blev oprindeligt udført og idriftsat af Fyns Amt for en phenolforurening, men anvendes i dag overfor BAM-forurening og den anden B3 er en tidligere indvindingsboring til Årslev gamle Vandværk. På figur 8.11 er vist forureningssituationen med BAM i grundvandsmagasinet målt i november 2000.



Figur 8.11. Oversigtskort, Årslev Vandværk

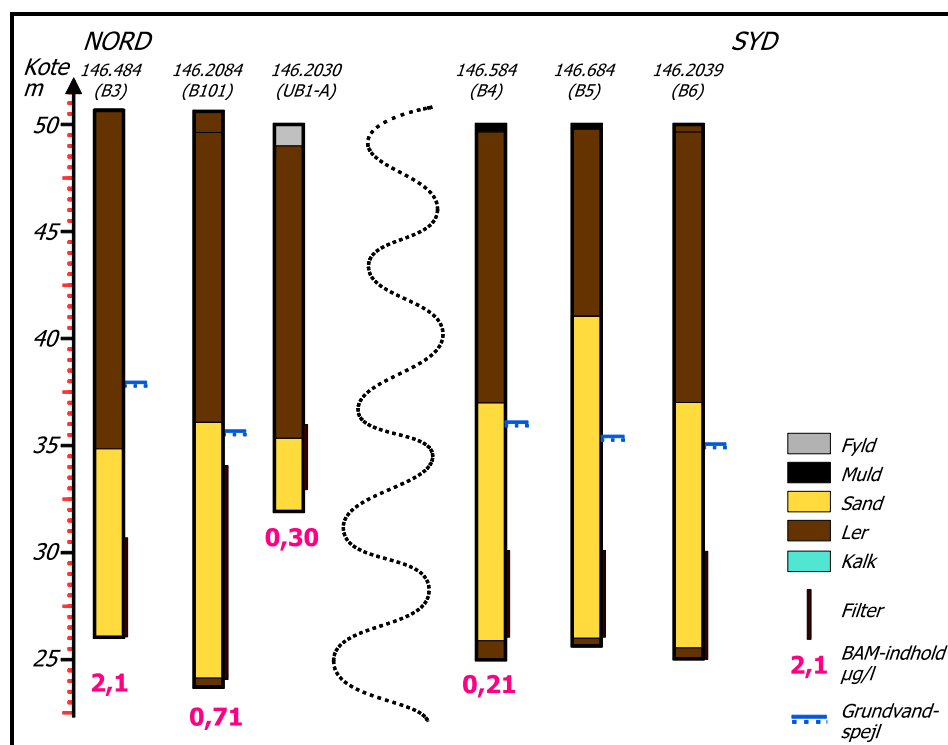
I 1995 blev der påvist BAM i vandet fra Årslev Vandværks indvindingsboring B4. Indtil udgangen af 1998 kunne indholdet af BAM i drikkevandet holdes under grænseværdien på 0,1 µg/l ved at blande med vand fra vandværkets to andre boringer. Forureningen havde i mellemtiden også bredt sig til naboboringen - B5. Embedslægen gav i februar 1999 vandværket en frist på ét

år til at vurdere, hvad der kunne gøres for at bringe koncentrationen i drikkevandet ned igen.

Undersøgelser af en phenol-forurening ved det gamle vandværk i Årslev tilbage i 1980'erne viste, at grundvandspotentialet i området er meget fladt, men at grundvandet i sandmagasinet - hvorfra Årslev Vandværk dengang og nu henter sit drikkevand fra - tilsyneladende strømmede fra øst mod vest. Fyns Amt har siden udlagt et indvindingsopland, som strækker sig fra det nuværende vandværk og syd på. En forurening ved det gamle vandværk burde således ikke - uanset det ene eller andet strømningsmønster - kunne nå den nuværende vandindvinding.

Syd for Årslev Vandværk er der åbne marker. Der foreligger ingen oplysninger herfra om afgrøder, hvor det har været relevant at anvende pesticider med aktivstofferne dichlobenil og chlorthiamid. Mod øst og nord er der beboelse, hvor pesticiderne i mindre omfang kan være anvendt i indkørslerne til totalukrudsbehandling. Den tidligere vandværkspasser oplyser, at der ikke har været brugt ukrudtsmidler på den nuværende vandværksgrund.

Årslev Vandværk indvinder grundvand fra et sandmagasin ca. 10-20 m u. t.. Sandmagasinet er højtydende med en specifik kapacitet på ca. 40 m³/t pr. meter sænkning og et grundvandspotentiale omkring kote 34 til 36. Der er frit vandspejl i borerne ved det nye vandværk, men ellers er magasinet overvejende spændt. Magasinet er dækket af cirka 10 meter moræneler. De geologiske forhold området er vist ved hjælp af det geologiske tværprofilsnit i figur 8.12.



Figur 8.12. Geologisk tværprofil, Årslev Vandværk

8.4.6.2 Tidligere undersøgelser

Årslev Vandværk har i november 2000 udført kildeopsporing med udtagning af en række jordprøve 0,2-0,5 m u. t. fra nærliggende gårdspladser, indkørsler

og en tidligere frugtplantage. I fire områder er der udtaget 3 - 4 jordprøver, som af laboratoriet blev blandet og analyseret. Resultater og prøvetagningssteder fremgår af figur 1. Der er fundet dichlobenil i alle fire områder i koncentrationsniveauet 4,8-9,8 µg/kg jord og BAM i koncentrationen 3,5 µg/kg jord i et enkelt af de fire områder. Koncentrationerne er ikke alarmerende, men giver billedet af en generel fladebelastning i området.

Årslev Vandværk har TV-inspiceret boring B4, der har små tegn på utætheder, men dog næppe kan være ansvarlig for nævneværdig indsivning af BAM-forurennet vand til boringen.

8.4.6.3 Iværksatte undersøgelser:

Formålet med drifts- og afværgeoptimeringen var at undersøge, hvordan variationer i afværgepumpningen fra boring B4, B101 og B3 influerer på koncentrationen af BAM, dels i afværgeboringerne og dels i indvindingsboringerne B5 og B6. Boringernes placering fremgår af figur 8.11. Tabel 8.12 viser de forskellige pumpescenarier. Som det fremgår af tabellen er det ønsket at belyse konsekvenserne af en alternerede afværgepumpning over døgnet i forhold til jævn.

Periode	Oppumpning B4	Oppumpning B101	Oppumpning B3
Marts – maj 2000	40 m ³ /t - 4 t/døgn	18 m ³ /t - 8 t/døgn	-
Maj - juli 2000	20 m ³ /t - 8 t/døgn	18 m ³ /t - 8 t/døgn	-
Juli 2000 - november 2001	20 m ³ /t - 24 t/døgn	18 m ³ /t - 8 t/døgn	-
November – januar 2001	20 m ³ /t - 24 t/døgn	18 m ³ /t - 24 t/døgn	-
Februar – marts 2001	Pumpestop	18 m ³ /t - 24 t/døgn	-
April - august 2001	13 m ³ /t - 24 t/døgn	18 m ³ /t - 24 t/døgn	10,4 m ³ /t - 24 t/døgn

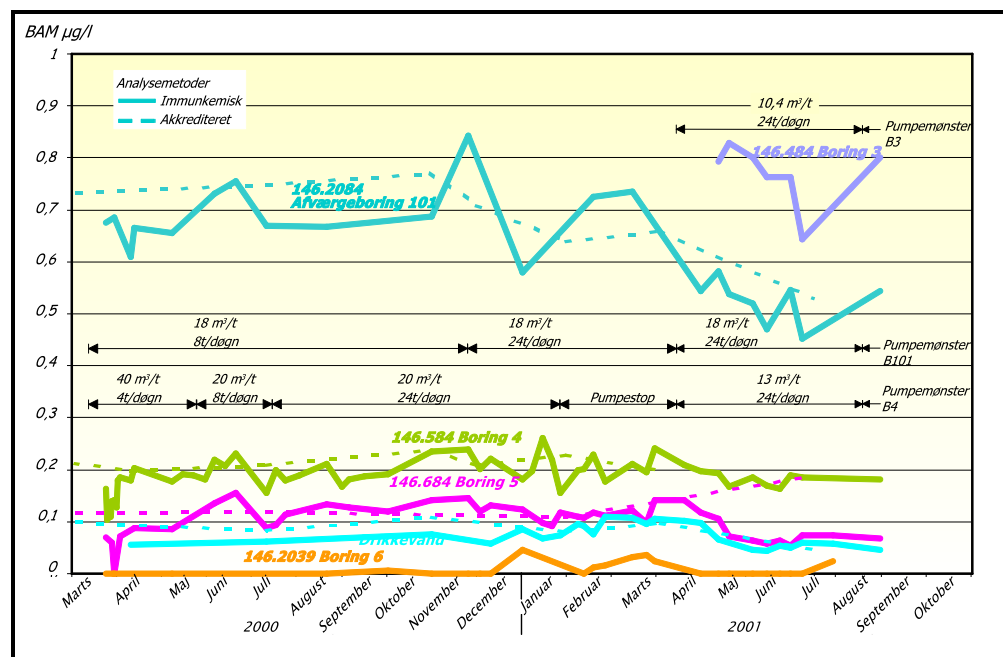
Tabel 8.12. Pumpescenarier

Generelt er der udtaget vandprøver til analyse for BAM ved immunkemisk metode hos GEUS en gang om ugen fra B4 og med mindre hyppighed fra B5, B6 og B101. Indholdet af BAM i B3 er analyseret siden afværgepumpningens begyndelse i april 2001. I starten af hvert nye pumpescenarium er hyppigheden øget i et forsøg på at spore en effekt af den ændrede oppumpning.

Derudover er der udtaget vandprøver til akkrediterede analyser af Steins Laboratorium ca. hver tredje måned fra boringerne B4 og B101 samt af drikkevandet.

8.4.6.4 Data fra undersøgelserne

Udviklingen i indholdet af BAM fra vandet i borerne B3, B4, B5, B6, og B101 samt i drikkevandet er sammenstillet i figur 8.13.



Figur 8.13. Udvikling i indholdet af BAM, Årslev Vandværk

Det fremgår heraf, at ændringer i pumpemønsteret i B4 og B101 tilsyneladende ikke har haft nogen markant effekt på BAM-indholdet, hverken i afværgeboringerne eller i de to indvindingsboringer B5 eller B6. Figur 3 viser tilsyneladende, at indholdet af BAM i B101 reduceres fra 0,7 µg/l i marts 2001 til omkring 0,5 µg/l i august 2001, men det skyldes formentlig, at der iværksættes afværgepumpning fra B3 i april 2001. BAM-indholdet i B3 er omkring 0,7-0,8 µg/l.

BAM-indholdet i B4 og B5 reduceres umiddelbart efter start af afværgepumpningen i marts 2000 for derefter at være svagt stigende frem til november 2001 og stagnere i perioden november 2000 til marts 2001. Efter marts/april 2001 ses en tendens til, at indholdet af BAM i de to borer reduceres. På samme tidspunkt påbegyndes afværgepumpning fra B4 igen efter 3 måneders pumpestop og yderligere iværksættes afværgepumpning fra B3. BAM-koncentrationen i B4 og B5 er ved udgangen af august 2001 nedbragt til samme niveau som før afværgepumpningens begyndelse – 0,18 µg/l i B4 og 0,07 µg/l i B5.

Indholdet af BAM i B6 ligger omkring detektionsgrænsen for BAM med enkelte fluktuationer.

8.4.6.5 Konklusion

Resultaterne fra pumpeforsøget viser ikke den store effekt på BAM-koncentrationen afhængig af pumpemønsteret, dvs. om afværgepumpningen foretages alternerede eller jævn over døgnet.

Der observeres effekt af afværgepumpningen ved det gamle vandværk, når der både afværgepumpes fra B3 og B101 – indholdet af BAM i B101 nedbringes fra 0,7 µg/l til 0,5 µg/l. Efter iværksættelse af afværgepumpningen fra både B3 og B101 observeres en mindre reduktion i BAM-indholdet i

boringerne ved det nye vandværk. Dette tyder på, at BAM trækkes til indvindingsboringerne ved det nye vandværk fra en mere fjerntliggende kilde, eventuelt fra et område omkring det gamle vandværk. Der kan dog ikke ved kildeporingen peges på en egentlig kilde til BAM-forurening. Undersøgelse af jordprøver giver billedet af en generel fladebelastning med dichlobenil i området, der ikke er alarmerende høj.

Vandværket vil udskifte de eksisterende pumper i indvindingsboringerne B5 og B6 med nogle mindre, dels af driftsmæssige årsager og dels for at undersøge, om det har effekt på indholdet af BAM at oppumpe jævnt fra alle tre boringer ved vandværket. I øjeblikket indvindes med momentvise ydelser op til 60 m³/t.

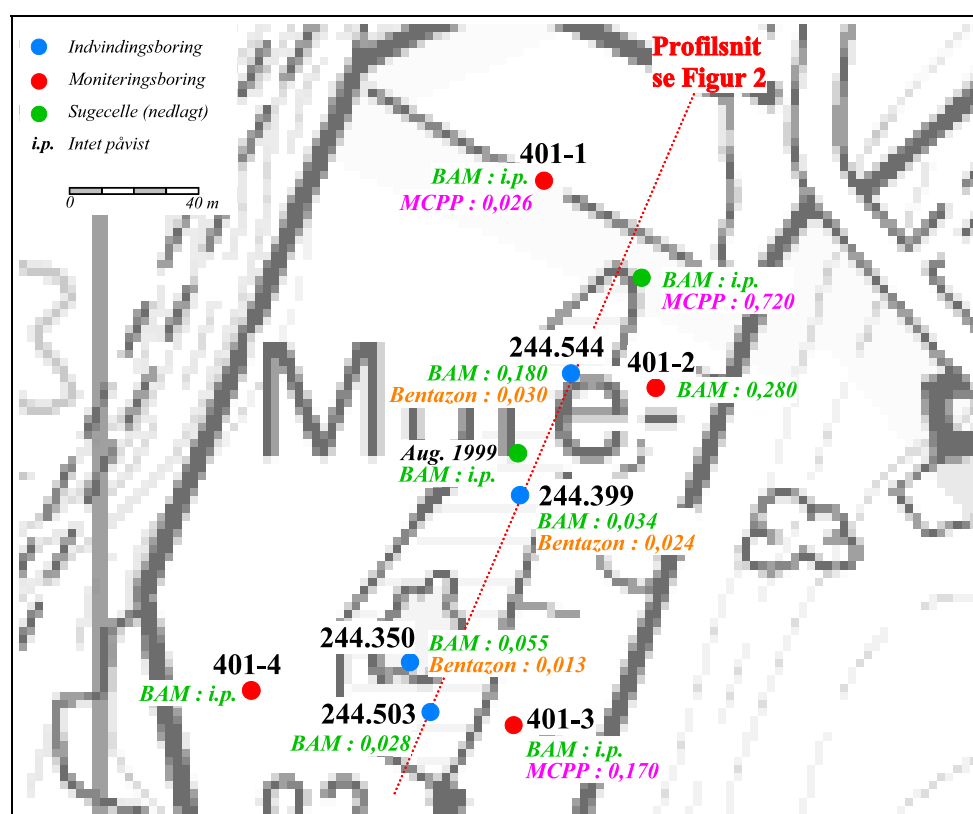
8.4.7 Tejn, Bornholm

8.4.7.1 Forureningssituation

Tejn Vandværk indvinder årligt ca. 90.000 m³ grundvand. I alle fire indvindingsboringer på Tejn Vandværks kildeplads i Muredam er der påvist indhold af BAM. Drikkevandsproduktionen er derfor flyttet til andre kildepladser, mens der afværgepumpes på Muredam. Det højeste indhold - 0,180 µg/l BAM - er påvist i boring DGU-nr. 244.544 i en vandprøve udtaget den 10. august 1999. De øvrige tre indvindingsboringer havde indhold af BAM under grænseværdien. Der er desuden påvist mindre indhold af andre pesticider; Bentazon og MCP.

I efterfølgende vandprøver fra 244.544 - udtaget den 31. januar og den 29. februar 2000 - er der påvist et BAM-indhold på henholdsvis 0,023 µg/l og 0,120 µg/l samt et Bentazon-indhold på henholdsvis 0,100 µg/l og 0,051 µg/l. På figur 1 er vist forureningssituationen med BAM i grundvandsmagasinet målt i efteråret 1999.

Ved en besigtigelse af kildepladsen i vintersæsonen var grundvandsstanden ca. én meter over terræn. Indvindingen fra kildepladsen havde på grund af forureningen været ekstraordinær lille den pågældende vinter. Om sommeren sænkes grundvandsstanden normalt til flere meter under terræn. Tejn Vandværk oplyste, at jorden i Muredam tørrer ud i sommermånederne, så der opstår dybe synlige sprækker i jord- og tørvelagene på kildepladsen. Grundvandsstanden falder så meget om sommeren, at den kommer under vandspejlet i Muredambæk. Derved sker der nedsivning fra bækken til grundvandsmagasinet i stedet for opsvining fra grundvandsmagasinet, som det sker om vinteren. Ved nedbørsrige perioder om sommeren er der risiko for, at der trænger vand fra åen ud i udtørringssprækkerne og ned i grundvandsmagasinet.



Figur 8.14. Placering af boringer og sugeceller samt fund af pesticider, efterår 1999

Vandindvindingen sker fra et lag af sand og grus i den nedre del af de kvartære aflejringer, jf. figur 8.15, som viser boreprofilerne fra indvindings- og monitoringsboringer. Filtersætningsinterval, kapacitet samt ro- og driftsvandspejl ved boringernes etablering fremgår ligeledes af profilsnittet. Mod nord og syd er den faste klippe truffet 25 - 30 m u. t., mens de kvartære aflejringer er mere end 35 meter tykke i den centrale del af området; jf. boring 244.399 og 244.350. Det vandførende sandlag er overlejret af lerede aflejringer samt af tørvejord. Tørvejorden øges i tykkelse mod syd, hvor den når op på en mægtighed af ni meter.

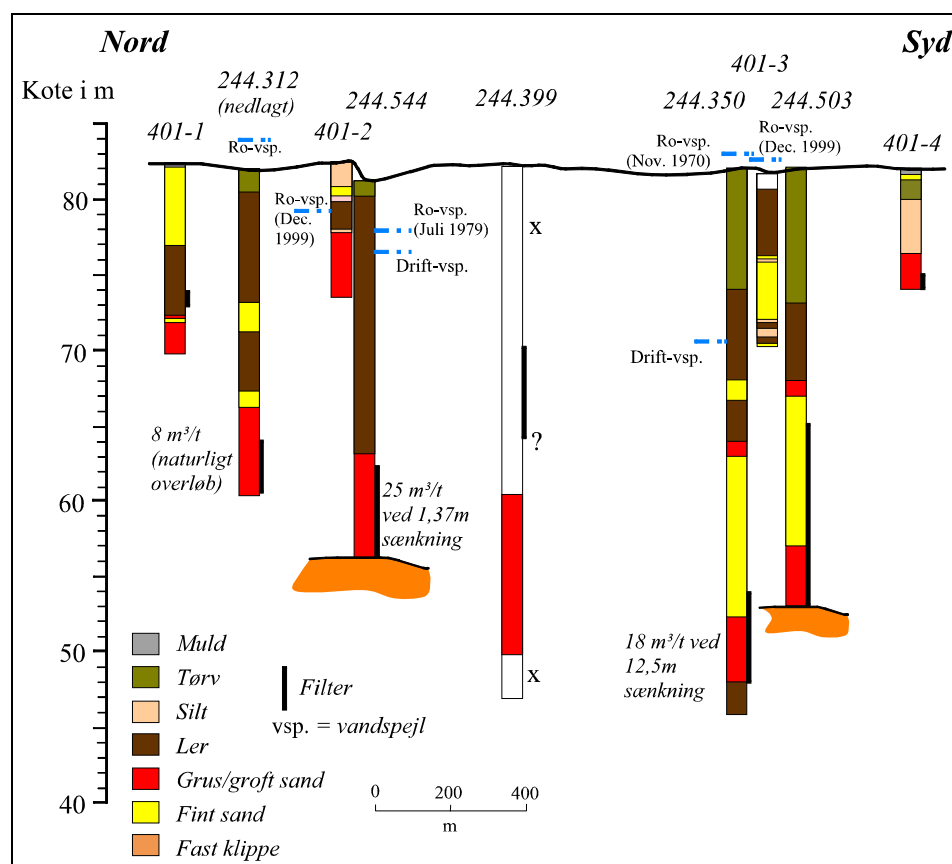
8.4.7.2 Udførte undersøgelser

Bornholms Amt har fået udført en borehulslogning og en TV-inspektion af 244.544. Borehulslogningen viste, at boringens ydeevne er god - 25 m³/t ved en vandspejlssænkning på 1,2 meter. Grund-vandsmagasinet er dækket af ca. 17 meter ler og er dermed rimelig godt beskyttet mod overfladeforurening. Vandindstrømningen sker i næsten hele filterintervallet - fra 20 til 24 m u.t. - ved en pumpekapacitet på 25 m³/t. TV-inspektionen var af ringe kvalitet, men viste dog ingen tegn på defekte forerør.

Allinge-Gudhjem Kommune har gennemført en interview-undersøgelse med henblik på at spore eventuelle kilder til BAM-forureningen i oplandet. Resultaterne giver kort fortalt ingen forklaring på, hvorfor der er påvist BAM i Tejn Vandværks boring ved Muredam. Kun en enkelt adspurgt beboer i området har oplyst at have anvendt Casoron - hvori indgår moderstoffet til BAM, dichlobenil - men ikke alle har svaret på spørgsmålet om deres pesticidforbrug. Generelt må det imidlertid forventes, at der - i hvert fald på en del gårdspladser - er blevet sprøjtet, men at dette forbrug nu er ophørt.

Bornholms Amt fik i 1999 analyseret vandet fra to sugeceller placeret i den umættede zone samt fra fire monitoringsboringer placeret i 10 - 12 meters dybde. Placeringen af sugeceller og boringer er vist sammen med resultaterne på detailkortet i figur 1. Derudover er resultatet af de første analyser af vandet fra indvindingsboringerne vist.

Ud over BAM blev der påvist bentazon i vandet fra tre af indvindingsboringerne samt mechlorprop - MCP - i vandet fra en sugecelle og to monitoringsboringer. Det højeste BAM-indhold på 0,280 µg/l blev påvist i vandet fra monite-ringsboring 401-2. Sugecellerne er siden blevet sløjfet, mens monitoringsboringerne er blevet anvendt som pejleboringer; jf. figur 8.14.



Figur 8.15. Geologisk snit gennem Muredam Kildeplads

8.4.7.3 Iværksatte undersøgelser

Det primære formål med undersøgelsen i boring 244.544 er at afklare:

1. Om BAM-indholdet varierer efter årstiden - for eksempel om indholdet er størst, når grundvandstanden er lavest på kildepladsen.
2. Om driftsformen influerer på BAM-indholdet (konstant versus alternerende drift).
3. Om nedbøren influerer på BAM-indholdet, f.eks. ved nedsivning via udtør-ringssprækker eller utætheder langs foringsrør.

Med henblik på at opfylde ovenstående formål er der i perioden april 2000 - januar 2001 gennemført følgende arbejdsprogram på den nævnte boring:

Periode	Oppumpning DGU-nr. 244.544	Vanding
April-maj 2000	10 m ³ /t - 24 t/døgn	Ingen
Juni-juli 2000	30 m ³ /t - 20 min. drift og 40 minutters stilstand pr. time	Ingen
August-september 2000	30 m ³ /t - 20 min. drift og 40 minutters stilstand pr. time	Vanding af boringsnære areal ved udledning af 2-3 m ³ /t, når pumpen er i drift. Overskydende vand er afledt til Muredambæk
Oktober.-januar 2001	10 m ³ /t - 24 t/døgn	Ingen

Tabel 8.13. Pumpescenarium, Muredam Kildeplads

På Tejn vandværk har projektet finansieret en række BAM-analyser, vandværket har selv udført afværgeoptimeringen, jf. tabel 8.13.

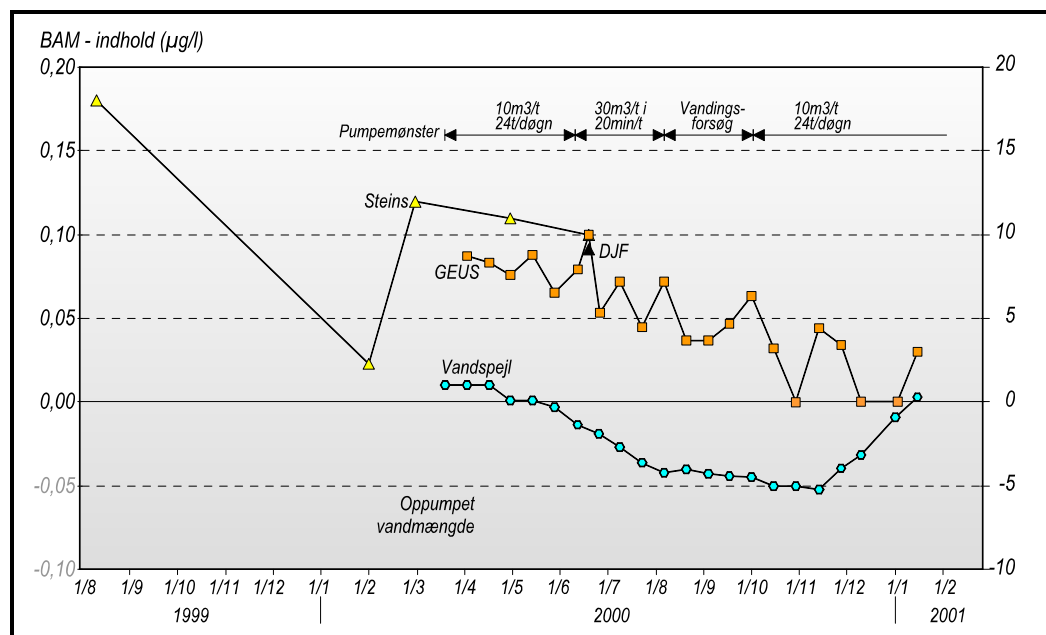
I hele perioden er der udtaget vandprøver til BAM-analyse fra 244.544 hver 14. dag. Første vandprøve blev udtaget den 3. marts 2000 og er - i lighed med de efterfølgende prøver - sendt til GEUS til immunkemisk analyse for BAM.

Derudover er der den 1. maj og 20. juni udtaget vandprøver til akkrediteret analyse på Steins Laboratorium og den 20. juni til analyse på Danmarks JordbrugsForskning, Forskningscenter Flakkebjerg med henblik på korrelering af analyseresultaterne.

Vandstanden i 244.544 samt i 244.503 og monitoringsboringerne 401-1, 401-2, 401-3 og 401-4 blev generelt pejlet i forbindelse med vandprøvetagningerne.

8.4.7.4 Data fra undersøgelserne

Analyseresultaterne fra 244.544 er sammenholdt med oppumpningsmønstre, vandspejlsvariationer og oppumpede vandmængder i figur 8.16.



Figur 8.16. Udviklingen i indhold af BAM i boring, DGU nr. 244.544, Muredam Kildeplads

1. scenarium

Det første oppumpningsscenario med droslet oppumpning og 10 m³/t har tilsyneladende ingen indflydelse på vandets indhold af BAM. Vandspejlet i boringen står i det meste af perioden over terræn. BAM-indholdet varierer generelt omkring 0,08 µg/l, om end med en svagt faldende tendens.

2. scenarium

I det andet scenarium ændres oppumpningen til 30 m³ i timen i 20 minutter efterfulgt af 40 minutters stilstand. Hvis BAM-indholdet bliver "hængende" i den umættede zone over driftsvandspejlet, må man forvente, at den alternerende drift og det deraf følgende varierende vandspejl vil udvaske denne pulje af BAM. Den forventede stigning i BAM-indholdet udebliver imidlertid - tværtimod varierer indholdet i det meste af perioden - juni-juli - mellem 0,05 og 0,1 µg/l med en svagt faldende tendens. Samtidige analyseresultater fra Steins og Danmarks JordbrugsForskning viser god korrelation indbyrdes og med resultaterne fra GEUS' immunkemiske metode. Vandspejlet i boringen falder jævnt i hele perioden - fra 1,4 til 4,2 m u.t.

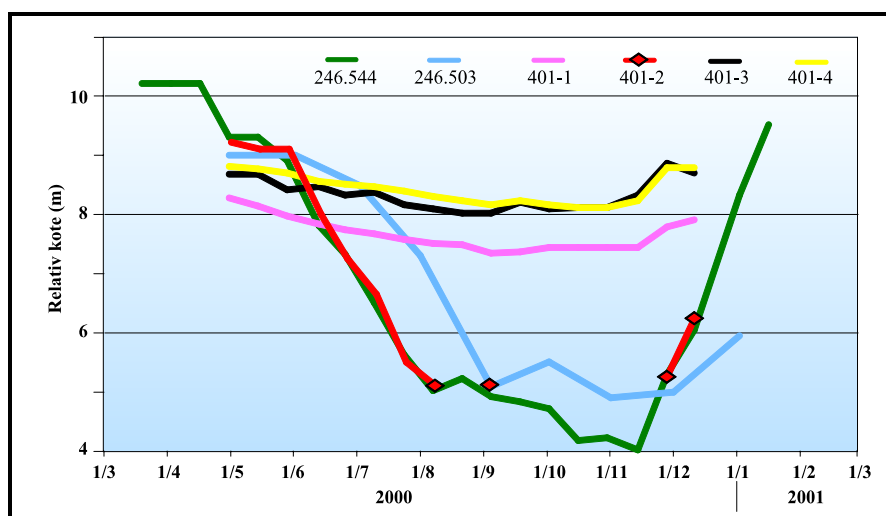
3. scenarium

I forbindelse med det tredje scenarium - vanding omkring boringen - må der i lighed med det foregående scenarium forventes en stigning i BAM-indholdet, hvis der ligger en pulje af BAM/dichlobenil omkring boringen, som kan vaskes

ned via en utæt borerørsforsegling - den såkaldte skorstenseffekt - eller via naturlige sprækker i jorden. Denne effekt kan muligvis spores i den sidste del af perioden, hvor der sker en stigning i BAM-indholdet fra ca. 0,04 µg/l til ca. 0,06 µg/l. Stigningen er ikke markant og holder sig inden for de naturlige variationer, som kan ses siden marts 2000. Vandspejlet har i perioden - august-september - været næsten stabilt omkring 4,5 m u. t..

Indholdet af BAM fortsætter sin faldende tendens i forbindelse med den konstante droslede oppumpning - som svarer til 1. scenarium - og kunne ikke påvises over detektionsgrænsen i perioden fra november til januar. Vandspejlet har været stigende siden midten af november 2000 og stod primo 2001 over terræn.

På figur 8.17 er vandstandsvariationerne i indvindingsboringerne 244.544 og 244.503 samt i monitoringsboringerne 401-1, 401-2, 401-3 og 401-4 sammenstillet. I det omfang at filterintervallet er kendt, er det vist på det geologiske profilsnit i figur 2. De målte nedstik er omregnet til en relativ kote i forhold til boring 244.503. Det fremgår af figur 4, at vandstanden i 244.544 og 244.503 samt i monitoringsboringen 401-2 har samme forløb hen over året. I 244.544 og 401-2 er forløbet synkront, mens det i 244.503 er forskudt ca. en måned i forhold til de to andre boringer. Variationen må primært henføres til varierende grundvandsdannelse over året, da oppumpningen har været næsten konstant i hele perioden. Monitoringsboringen har tilsyneladende - trods sin ringe boredybde - hydraulisk kontakt med det dybere vandførende sandlag, som 244.544 henter grundvand fra. Sårbarheden må derfor være større, end først antaget ud fra de 17 meter lerdække i selve boringen; jf. det geologisk profilsnit i figur 8.15.



Figur 8.17. Vandspejlsvariationer i boringer, Muredam Kildeplads

Vandspejlsvariationerne i de tre resterende monitoringsboringer - 401-1, 401-3 og 401-4 - udviser en tilsvarende årstidsvariation, men variationen er væsentlig mindre end i de førstnævnte boringer. Vandspejlet står generelt en halv meter lavere i 401-1 end i de to andre monitoringsboringer. Boringen er - uvist af hvilken grund - filtersat i moræneleren, hvilket må forventes at dæmpe effekten af et trykfald i det underliggende sandlag.

8.4.7.5 Konklusion

Resultaterne fra pumpeforsøget i 244.544 viser ikke den store effekt på indholdet af BAM afhængig af pumpemønstret, dvs. om afværgepumpningen foretages alternerede eller jævnt over døgnet. Selvom de forskellige

Der kan ikke peges på en egentlig kilde til BAM-forureningen. Trods det negative resultat af interviewundersøgelsen blandt lodsejerne i oplandet må der ikke desto mindre have været et forbrug af Prefix og Casoron på en del af ejendommene, hvis belastningen i grundvandet skal kunne forklares.

Figur 8.18: Oversigtskort over forurenede og ikke forurenede boringer på kildeplads.

Boringerne på Lerpøtvej Kildeplads er filtersat i samme magasin, og de geologiske og geokemiske forhold tyder på, at magasinet er sårbart, og at grundvandsstanden i området med tiden er sænket som følge af vandværkets indvinding /1/.

Der er ingen umiddelbar sammenhæng mellem i hvilke boringer, der findes henholdsvis høje og lave koncentrationer af BAM, og hvor der findes forurenede og uforurenede boringer (figur 1). Der er ingen sammenhæng mellem boringens alder og forureningsgraden. Ved tidligere analyser for pesticider er der ikke påvist et indhold af BAM over detektionsgrænsen på kildepladsen (1996).

Ovennævnte forhold tyder på, at der ikke er tale om en generel grundvandsmagasinforurening af kildepladsen, men at punktformige pesticidforureninger omkring eller tæt på indvindingsboringerne er årsag til de høje BAM-koncentrationer i enkelte boringer. Det er ud fra antagelsen, at forureningen nedsiver lokalt omkring boringen fra punktforureninger, at undersøgelserne af kildepladsen er udført.

Der kan være flere årsager til, at punktformige forureninger påvirker vandkvaliteten i boringerne. Boringens forerør kan have revner, utætte samlinger, huller fra borttærede skruer m.v. Bentonitforseglingen kan være dårlig, eller helt mangle. Disse forhold, kombineret med brug af pesticider i oplandet, samt en stor pumpekapacitet og dermed store nedadrettede trykgradienter omkring forerøret, kan give anledning til, at der før eller siden siver pesticider eller nedbrydningsprodukter heraf ned i filtersektionen.

8.4.8.2 Udførte undersøgelser

Vurdering af årsagen/årsagerne til forurening påvist på kildepladsen i Varde er indledningsvis baseret på en karakteristik og tilstandsvurdering af de enkelte boringer, derpå er der udført en undersøgelse af, om boringerne er forseglede, eller der er lækage i boringerne. På baggrund heraf er der foretaget en udvælgelse af boringerne, så den efterfølgende renovering er koncentreret om de utætte, ikke forseglede og pesticidforurenede boringer.

8.4.8.3 Boringskarakteristik

På grundlag af eksisterende materiale er der udført en karakteristik af de 12 boringer på kildepladsen. Hver enkelt boring er detaljeret beskrevet i forhold til geologiske forhold, udførelse og udbygning, vandkvalitet, driftsforhold og arealanvendelse omkring boringerne /2/. Der er i forbindelse med udarbejdelse af boringskarakteristikken foretaget en besigtigelse af boringerne. Boringernes data er sammenfattet i en datarapport indeholdende dels en skriftlig karakteristik og dels en tabel (tabel 1).

På baggrund af boringskarakteristikken er boringerne inddelt i 3 prioriteringsgrupper for hvilke boringer, der skal nøjere undersøges:

Gruppe 1 indeholder de boringer, der er prioriteret højest i forhold til den fremtidige indsats, hvilket vil sige de boringer, hvor der er konstateret en forurening, eller der er mistanke om, at boringen er defekt.

Gruppe 2 indeholder de boringer, hvor det vurderes, at der er en stor risiko for, at der i den nærmeste fremtid kan opstå en forurening med pesticider eller andre komponenter, primært pga. boringernes tilstand.

Gruppe 3 indeholder de borer, hvor det vurderes, at der kun er en risiko for en fremtidig forurening fra opstrømsliggende kilder, der ikke kan afhjælpes med en indsats omkring boringen.

Vandværk: Varde Vandforsyning		Dato: 22-11-1998
Boring: B11	DGU nr. 121.439	Udførelsesår: 1973
Boreddybde (m.u.t.): 37,5 m	Boringsdimension: 300 mm	Boremetode:
Borejournal: se bilag	Boringens stand: acceptabel	
Filterinterval : 26 – 37,5 m u.t.		Filterdimension (mm): Ø225 PVC
Pumpetype: BPD 165-3	Pumpe stand: god	
Vandspejl ro (m.u.t.): 13,68 (22-11-1998)	Vandspejl drift (m.u.t.): 16,67 (22-11-1998)	Ydelse (m³/t): 60,0
Sænkning efter 60 min (m): 2,99 m	Specifik kapacitet: 20 m³/t/m sænkning (målt den 12/2-97).	
Nitrat (mg/l): 14 (Vejl.værdi: 25)	Sulfat (mg/l): 59 (Vejl.værdi: 50)	Nikkel (mg/l): 0,050 (Højst till.værdi:0,020)
Grundvandskemi: se analyseresultater i bilag		
Transmissivitet (m²/s): 0,015	Virkningsgrad (%): 55	

Tabel 8.14: Boringsdata for DGU nr. 121.439.

8.4.8.4 Gammalogging og TV-inspektion

Gammalogging er i denne sammenhæng udført med henblik på undersøgelse af om borerne er lerforseglet forskriftsmæssigt. Gammalogging udføres ved, at der føres en gammasonde, i dette tilfælde forsynet med en NaI-krystal, ned i forerøret, som registrerer den naturlige forekommende gammastråling fra de gennemborede lag. Gammaintensiteten beskrives ved antal tælleletal per minut. Da lerminerale indeholder radioaktivt kalium, kan gammaloggen bruges til at skelne mellem ler- og sandaflejringer. Gammaintensiteten i ler er langt højere end i sand. Noget af det ler, som er brugt til lerforsegling af borer, har et højt gammatælleletal, og i disse tilfælde er det muligt at skelne forseglingsler fra formationsler.

TV-inspektion er udført som et led i undersøgelse af utætheder/lækager i forerør. Før TV-inspektionen igangsættes, fjernes alle installationer, og forerøret renses. TV-inspektion foregår ved, at et kamera med 2 projektører langsomt hejses ned i boringen. TV-inspektionen optages på videobånd.

Ved undersøgelse af borerne på Lerpøtvej Kilfdeplads i Varde er der udført gammalogging og TV-inspektion i borerne prioriteret i gruppe 1 og 2. Resultaterne af undersøgelseerne er skitseret i tabel 8.15.

Gammaloggen har påvist lerforseglinger i boring B3, B5, B8, B12 og B13 og tegn på forsegling i boring B1 og B11. De udførte undersøgelser har vist, at der ikke findes lerforseglinger i borer etableret før 1977, hvilket er B2, B9 og B10 (tabel 8.15).

Ved TV-inspektionen er påvist et tydeligt hul i boring B9, 18,9 m u.t. TV-inspektionen har vist, at jernboringerne er stærkt nedbrudte (tabel 8.15).

DGU nr.	Borings nr.	Forerørs-materiale	Oplyst filterinterval	Prioriterings-gruppe	BAM ng/l	Gammalog dybde	TV-inspektion
Lerpøtvej Kildeplads							
121.0183	B2	Jern	21,5-30,5	2		28,5	
121.0437	B 9	Jern	21-31	1	14	30,5	+ Hul 18,9m u.t.
121.0438	B 10	Jern	27-37	2		36	+
121.0439	B11	PVC	26-38	1	1300	35,5 (x)	+
121.0441	B 3	PVC	?-43,5	1	20	42 x	+
121.0589	B 1	PVC	22-32	2		31 (x)	+
121.0644	B13	PVC	21-39,5	1	240	36,5 x	+
121.0906	B 5	PVC	76-82	3		82 x	
121.0947	B 8	PVC	52-61	1	25	59 x	+
121.0977	B 4	PVC	65-89	3			
121.1015	B12	PVC	24-36	1	27	34,2 x	+
121.1046	B 6	PVC	53-59,65-71	3			

X= Påvist lerforsegling i boringen

+= Udført TV-inspektion i boringen efter rensuling

Tabel 8.15: Boringerne på Lerpøtvej, Bakkevej og Bastrup Plantage kildepladser. Indhold af BAM, resultater af gammalog og TV-inspektion.

På baggrund af gammalloggen og TV-inspektionen koncentreredes de videre undersøgelser om Gruppe 1 boringerne B9, B11 og B13.

Ved TV-inspektion er påvist en utæthed i jernforerøret i boring B9 og desuden har boringen ingen påviselig lerforsegling. Boringens BAM-indhold var 14 ng/l (1998). Et forsøg på at rede denne boring kunne være at overbore det eksisterende forerør, og derefter bore til større dybde i håbet om at finde et dybereliggende magasin med en tilfredsstillende vandkvalitet.

Råvandet i B11 havde en BAM-koncentration på 1300 ng/l. Der er ved gammalogging påvist et lag af ca. 15 m's tykkelse med et vist lerindhold. Gammatællertallet er ikke så højt, at det med sikkerhed kan siges om boringen er lerforseglet. Det vurderes, at der er et perspektiv i at renovere denne boring ved en overboring, idet der er muligheder for at forsegle boringen i det 15 m tykke lag.

I B13 er ligeledes fundet høje BAM-koncentrationer i råvandet. Boringen har været kildepladsens mest højtydende, og der er mistanke om at BAM-forureningen skyldes "skorstenseffekt". Til undersøgelse heraf kunne foretages en separationspumpning, hvor det verificeres, om BAM-koncentrationen er den samme øverst og nederst i det 18,5 m lange filter i boringen.

8.4.8.5 Flowlogging og separationspumpning

Til undersøgelse af "skorstenseffekt" omkring boringerne blev der udført en separationspumpning til bestemmelse af, om der er forskel i pesticidkoncentration mellem den øverste og nederste del af filtersektionen.

For at bestemme hvor i filtersektionen indstrømningen fra formationen er størst, blev boringen først logget med en flowlog. I det niveau i filtret, hvor indstrømningen var størst, blev der placeret en råvandspumpe. Før separationspumpningen blev igangsat, blev derudtaget en vandprøve fra indvindingsboringen. Derpå blev en MP1-pumpe anbragt i toppen af filteret, og der blev pumpet på begge pumper samtidig. Efter 2 timer blev der udtaget en vandprøve fra både den øvre og den nedre Pumpe. Der blev analyseret for pesticider i de 3 vandprøver.

På Lerpøtvej kildeplads ved Varde blev der udført separationspumpning i boring B13, hvor der er påvist ”skorstenseffekt”.

8.4.8.6 Kildeopsporing

I et forsøg på at finde kilden til BAM-forureningen er der omkring B11 og B13 udført 2 boringer, 4 boringer i alt, henholdsvis 2 m og 8 m fra B11 og B13. Der er udtaget jordprøver fra topjorden og fra hver halve meter, samt fra toppen af lerlag og organiske lag. Der er så udvalgt 11 prøver til analyse for dichlobenil og BAM. Kun i overfladeprøven 2 m fra B11 blev der fundet spor af BAM, som analyselaboratoriet vurderede til at være imellem 1 og 3 µg/kg. På grundlag af dette resultat blev der ikke analyseret flere jordprøver.

Efterfølgende er der lavet kildeopsporing i et større opland til boringerne end de 10 m, der som udgangspunkt var valgt ud fra antagelsen om at kunne være sprøjtet omkring nærzonen til boringen. Omkring B11 og B13 blev der taget blandingsprøver fra stier, hegn, plæner, bede og sportsplads. Omkring Brorsonsolen hvor B11 ligger blev der fundet små mængder af dichlobenil og BAM, henholdsvis 25 µg/kg og 0,3 µg/kg.

Undersøgelserne viser at der har været brugt dichlobenilholdige bekæmpelsesmidler tæt ved B11 og i oplandet til boringen. Det er ikke lykkedes at påvise større puljer. Det tyder på at det ud over antagelsen om at det er brugt boringsnært også er brugt i nærområdet.

8.4.8.7 Overboring

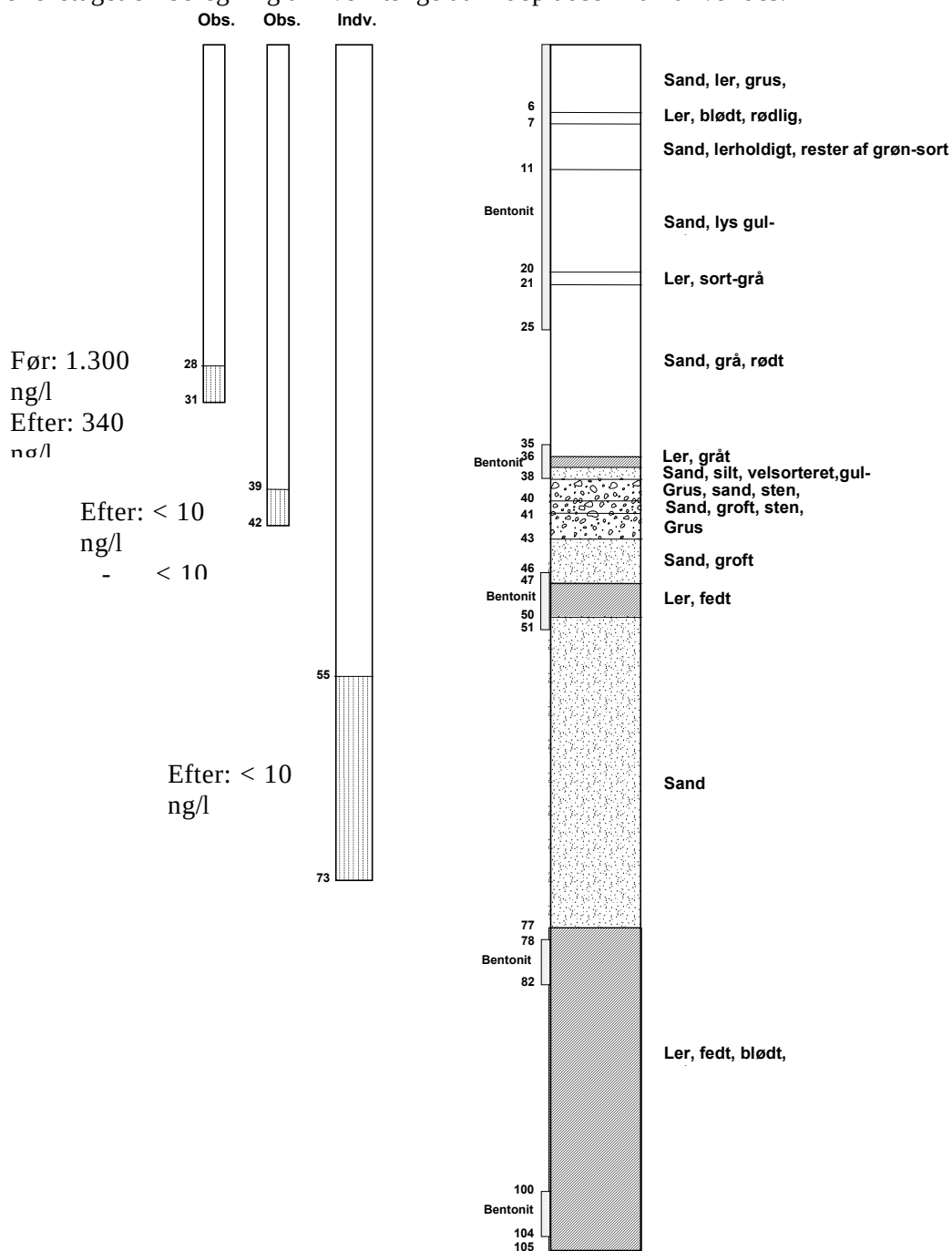
På baggrund af de indledende undersøgelser af boringerne på Lerpøtvej Kildeplads blev der arbejdet videre med renovering af boringerne B9 og B11 med henblik på forlængelse af boringernes og dermed kildepladsens levetid. Overboringen af B11 blev foretaget i oktober 1999.

Overboring af B11 er foregået på den måde, at der ved hjælp af direkte skylleboring er boret uden om det eksisterende forerør med en større dimension, hvor forerøret bruges som styr under borearbejdet. Da den eksisterende boring var overboret ca. 1 m under niveauet for filteret, blev forerøret trukket op, ca. 3 m af gangen. Der skiftedes så til indirekte skylleboring (luft-hæve metoden), og der blev boret til større dybde, hvorefter boringen forsegledes forskriftsmæssigt. Der blev påvist gunstige grundvandsmagasinformål i større dybde, hvor et nyt indvindingsfilter blev sat. Efter renpumpning er der udtaget vandprøver, som har vist tilfredsstillende grundvandskvalitet, og der er ikke påvist BAM i niveauet for indvindingsfiltret (figur 8.19).

8.4.8.8 Kildepladsstyring

Efter overboringen er der søgt indvindingstilladelse til oppumpning fra den dybereliggende del af magasinet. Indvindingen fra B11 er igangsat og magasinet overvåges. Der pumpes med en ydelse på 10 m³/t 24 timer i

døgnet. Tidligere blev der pumpet 40 m³/t i 6 timer i døgnet. Trykforholdene følges og der vil blive udtaget vandprøver til analyse for at følge udviklingen. Der er således foretaget en levetidsforlængelse af kildepladsen. Der er endnu ikke foretaget en beregning af hvor længe at kildepladsen kan anvendes.



Figur 8.19: Overboringen af B11 (DGU 121.439), med BAM-koncentrationer før og efter overboringen. Lithologien beskrevet fra 0 til 36 m u.t. udgør blandet formations og forseglingsmateriale.

8.4.8.9 Konklusion

Der er i forbindelse med undersøgelse af mulighederne for levetidsforlængelse af Lerpøtvej Kildeplads, Varde Vandforsyning, udført følgende:

- undersøgelse af arealanvendelse og sprøjtemidler anvendt i miljøet omkring borerne
- undersøgelse af de geologiske forhold

- boringskarakteristik af hver enkel boring på kildepladsen
- inddeling af boringerne i 3 prioriteringsgrupper på baggrund af boringskarakteristikken
- gammaloggning
- TV-inspektion
- flowlogging
- separationspumpning
- renovering af boring ved overboring

Ved undersøgelse af boringerne på Lerpøtvej kildeplads er der påvist manglende forseglinger i boringer etableret før 1977 og utætheder i forerør. Efter prioritering af boringerne er der foretaget en overboring af 1 boring B11, hvor der er påvist gunstige magasinforhold i større dybde. BAM-koncentrationen for det gamle filter er gået fra 1300 - <10 ng/l). I det nye magasin er der ikke fundet BAM over detektionsgrænsen, figur 8.19.