

Hydraulisk frakturering udført ved vandret boreteknik

- Statusrapport for 1. driftsår

Lisbeth Walsted og Anders G. Christensen
NIRAS

Miljøprojekt **Nr. 1113** 2006

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	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	12
1 INDLEDNING	17
1.1 BAGGRUND	17
1.2 FORMÅL MED AKTIVITETER I FORBINDELSE MED 1. ÅRS DRIFT	17
2 LOKALITET OG FORURENINGSSITUATION	19
2.1 BESKRIVELSE AF LOKALITETEN SAMT AFVÆRGETILTAGET	19
2.2 GEOLOGI OG HYDROGEOLOGI	20
2.3 FORURENINGSUDBREDELSE	22
3 MONITERING I UDVALGTE MONITERINGSBORINGER	25
3.1 OMFANG	25
3.2 POTENTIALEFORHOLD I MORÆNEN	25
3.2.1 Potentialeforhold uden for det forventede påvirkningsområde	27
3.2.2 Potentialeforhold inden for det forventede påvirkningsområde	27
3.2.3 Forureningsforholdene i grundvandet	28
3.2.3.1 Primærforureningskomponenter	30
3.2.3.2 Redox- relaterede parametre samt NVOC	33
4 DUAL PHASE TEST AF DRÆN A-A OG B-B	35
4.1 FORSØGSOPSTILLING	35
4.2 RESULTATER AF UDFØRTE DUAL-PHASE TEST	36
4.2.1 Observationer i monitoringsboringer beliggende uden for det forventede påvirkningsområde	36
4.2.2 Dræn A-A	37
4.2.3 Dræn B-B	39
5 DRIFT AF AFVÆRGETILTAGET	43
5.1 OPPUMPEDE VANDMÆNGDER	43
5.2 OPNÅET MASSEFJERNELSE	45
5.3 HJORTIDIGE DRIFTSERFARINGER	48
5.3.1 Afvægedræn	48
5.3.2 Behandlingsanlæg	48
5.3.3 Driftsøkonomi	49
6 REFERENCER	51

BILAG

Bilag A: Procesdiagram - behandlingsanlæg

Bilag B: Pejledata

Bilag C: Analysedata

Bilag D: Flowdata

Bilag E: Udsyring af dræn

Bilag F: Koncentrationsniveau på gasfasen

Forord

I nærværende projekt er hydraulisk frakturering udført ved vandret boreteknik, for første gang afprøvet på en morænelerslokalitet i Danmark.

Projektet er gennemført på Slagelsevej 190 i Næstved og med Storstrøms Amt som bygherre. Projektet, der er medfinansieret af Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening, er afviklet i perioden oktober 1999 - april 2002.

Formålet med projektet har dels været at beskrive hydraulisk frakturering udført ved vandret boreteknik og tilhørende design for denne teknik, dels at dokumentere fraktureringsteknikens egnethed i forbindelse med drift af et afværgetiltag (vandrette dræn etableret i fraktureret moræneler) baseret på dobbeltfase-ekstraktion (Dual-Phase-Extraction), efterfølgende benævnt DPE.

Projektets design- og anlægsfase, som blev gennemført i perioden oktober 1999 til december 2000, er tidligere afrapporteret i Miljøprojekt nr. 699.

I nærværende miljøprojekt præsenteres de væsentligste resultater opnået efter godt et års drift af det samlede afværgetiltag, som har omfattet vandrette dræn med et tilhørende behandlingsanlæg. Da det installerede behandlingsanlæg ikke er omfattet af selve Teknologiprojektet, er fokus i rapporten rettet mod de resultater der er opnået i forbindelse med afdræning af grundvand fra 2 vandrette dræn etableret i hydraulisk fraktureret moræneler.

Rapporten er udarbejdet af NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S.

Sammenfatning og konklusioner

På projektlokaliteten er der konstateret en kraftig forurening med de primære forureningskomponenter chlorbenzener, dichlorbenzener, diclornitrobenzener, aniliner, BTEX og ammonium/ammoniak. Desuden er der påvist en meget kraftig chloridforurening samt forurening med udvalgte tungmetaller.

Forureningen påtræffes overvejende fra terræn og til en dybde på ca. 5 m u.t., og den horisontale udbredelse af selve 'hot-spot' området skønnes til ca. 500 m².

Geologien udgøres øverst af 1-2 meter fyld og herunder moræneler til en dybde på ca. 23 m.u.t., hvor kalken (Danien) er anboret. Dybt i moræneleren (14 -16 m.u.t.) findes indslag af morænegrus. Dette gruslag er vandførende, men adskilt i forhold til det primære magasin (kalken) af et ca. 5-7 m tykt lerlag. De kvartære aflejringer af moræneler udgør et sammenhængende sekundært magasin.

I det primære magasin, der er spændt, er der registreret et hydraulisk trykniveau beliggende ca. 1,5-2 m.u.t. Før afværgetiltagets opstart, lå det hydrauliske trykniveau i toppen af moræneleren (2 m.u.t.) ca. 0,5-0,75 m højere end i kalken. På baggrund af gentagne pejlerunder af borerer filtersat i den øvre og nedre del af morænen, blev der før afværgetiltagets opstart dokumenteret en nedadrettet vertikal trykgradient på ca. 0,03 (m/m) inden for 'hot-spot' området.

Formålet med projektet har været at belyse, hvorvidt hydraulisk frakturering er en effektiv teknik til at afsænke trykniveauet i en lavpermeabel aflejring som moræneler. I forbindelse med detailprojekteringen af afværgetiltaget blev det derfor besluttet at etablere 2 vandrette dræn indskudt i hydraulisk fraktureret moræne, fremfor 3-5 traditionelle dræn indskudt i ufraktureret moræne. Drænene, der hver måler 35 m, er installeret ca. 5 m.u.t.

Ved valg af denne afværgeløsning forventedes den tilsigtede hydrauliske effekt opnået, dvs. at få skabt en opadrettet gradient mellem det primære og sekundære grundvandsmagasin inden for 'hot spot' området. Supplerende var det forventet, at der, grundet det lave antal dræn, kunne opnås en driftsøkonomisk besparelse.

Oppumpning af vand/luft fra drænene sker ved Dual Phase Extraction teknik, hvor vand og luft suges ind på behandlingsanlægget og undergår nødvendig oprensning før afledning til recipienten henholdsvis til atmosfæren.

I nærværende rapport beskrives de oprensnings- og driftsmæssige erfaringer indhentet efter godt et års drift. Grundet krav fra lodsejer om afpropning af et referencedræn, etableret i ufraktureret moræneler på lokaliteten, har det ikke været muligt at gennemføre en direkte sammenligning mellem den tidlige udvikling i effekten af dræn etableret i fraktureret henholdsvis ufraktureret moræneler, som ellers planlagt ved projektets opstart. Desuden medførte en forsinket afpropning af kalkboringen på grunden, at de hydrauliske forhold

igennem afværgetiltagets første ca. 12 måneder ikke har været som forudsat ved for projektets start.

De væsentligste erfaringer indhentet i driftsperioden ultimo november 2000 til primo april 2002 er beskrevet i det følgende.

Inden for den første ca. 9 måneders driftsperiode optræder der fortsat en overvejende nedadrettet trykgradient imellem den øvre og nedre del af morænen, og formentlig også imellem den nedre del af morænen og kalkmagasinet. Sidstnævnte forhold har i hele driftsfasen hverken kunnet be- eller afkræftes, idet der på grunden ikke findes pejlbare kalkboringer. Efter ca. 9 måneders drift ændres potentialebilledet inden for 'hot spot' området, således at der med undtagen i boring MB-4 og MB-8 kan påvises en overvejende opadrettet trykgradient i systemet og hermed den tilsigtede hydrauliske effekt af afværgetiltaget. Denne tendens er foreløbigt påvist over en ca. 6 måneders driftsperiode, regnet fra ultimo september 2001 til primo april 2002.

Påvirkningsområdet for de installerede dræn har været ca. 4,5 m regnet vinkelret ud for disse, hvilket er i god overensstemmelse med tidligere gennemførte modelberegninger og fastsatte designgrundlag /ref. 4/. Påvirkningsområdet langs den nordligste del af begge dræn er dog vurderes at være mindre. Dette forhold skønnes betinget af, at det i anlægsfasen ikke var muligt at udføre den nordligst placerede fraktur langs hvert dræn.

I driftsperioden er der gennemsnitligt indpumpet i alt ca. 1,3 m³/døgn fra de 2 dræn, og som funktion af driftstiden sker der, på trods af bl.a. en gennemført udsyring af dræne, ingen væsentlig ændring i drænenes hydrauliske kapacitet (ydelse). Denne tendens underbygges af resultatet af 2 Dual Phase Tests på dræn A-A, som er gennemført med ca. 20 måneders mellemrum. Resultaterne opnået for dræn B-B er derimod ikke direkte sammenlignelige, grundet forekomst af en markant nedbørshændelse i forbindelse med afviklingen af den seneste DPT på dette dræn.

På grundlag af en udført modellering, jf. /ref. 4, afsnit 3.4.2/, blev det før afværgetiltagets opstart vurderet, at ydelsen af et dræn etableret i fraktureret moræne ville være 3-5 gange større end ydelsen for et tilsvarende dræn etableret i ufraktureret moræne. Dette forhold har dog ikke kunnet dokumenteres, idet er der i driftsperioden reelt kun er oppumpet 20-40 % af den forventede vandmængde. Dette forhold kombineret med den sene afpropning af en kalkboring, som frem til december 2001 ydede 5-10 m³/døgn, skønnes at have medvirket til at forhindre en optimal hydraulisk effekt af det samlede afværgetiltag.

Med en påvirkningsradius for hvert dræn på op til ca. 4,5 m, skønnes det samlede påvirkningsområde for afværgetiltaget at være 600-800 m². Ud fra kendskabet til nedbørsmængden samt den aktuelle befæstigelse på lokaliteten skønnet, at ca. 5-15 % af det afdrænede vand hidrører fra infiltrationsbidraget, mens den resterende vandmængde afdrænes fra grundvandet. Fremtidige målinger af vand- og stofbidraget må nærmere verificere dette estimat, samt

eventuelt bidrage til en nærmere vurdering af, hvorfra i grundvandsmagasinet tilstrømningen til dræne mere præcist foregår.

Som funktion af driftstiden observeres der, med undtagelse af for stofferne anilin, ammonium/ammoniak og chlorid, ikke et entydigt fald i koncentrationsniveauet for forureningskomponenterne afdrænet fra den øvre del af morænen. Samtidig ses en overordnet tendens til, at forureningsniveauet for primærforureningskomponenterne samt chlorid stiger i 2 monitoringsboringer (MB-2(nedre) og MB-5(nedre)). Disse boringer er begge placeret 4,5 m fra dræne, regnet vandret ud for disse, og er her filtersat i samme niveau som dræne. De hidtidige resultater viser samtidigt, at der med undtagelse af for parametrene opløst ilt og pH, generelt sker et fald i indholdet af de redoxrelaterede parametre i den øvre del af morænen. Udviklingen i forureningsniveauet i denne del af morænen vurderes overvejende styret af de ændrede potentialeforhold samt den naturlige fortynding.

I den nedre del af morænen, her repræsenteret ved monitoringsboring B17(nedre, filtersat: 14-16 m.u.t.) genfindes det samme overordnede billede af udviklingen i forureningsniveauet henholdsvis i ændringer for de redoxrelaterede parametre, men de absolutte ændringer er små og vanskeliggør en entydig tolkning.

Efter ca. 14 måneders drift skønnes der oprenset ca. 25 kg primære forureningskomponenter og ca. 800 kg chlorid fra morænen. Den gennemsnitlige fjernelsesrate har ligget på ca. 0,08 kg/døgn, excl. chloridbidraget. Massefluxen var efter 10 dages drift ca. 0,1 kg/døgn, mens denne efter de første 310 driftsdøgn er faldet til ca. 0,03 kg/døgn.

Hvorvidt 3-5 dræn etableret i ufraktureret moræne ville have medført et mere optimalt afværgetiltag, kan på det foreliggende grundlag ikke vurderes. Den væsentligste årsag hertil er, at det ikke har været muligt at gennemføre DPT på et dræn (referencedræn) etableret i ufraktureret og direkte sammenlignelig geologi. Forudsat at driften af 3-5 almindelige dræn havde medført en øget hydraulisk kapacitet af afværgetiltaget, ville den hydrauliske effekt, alt andet lige, være øget og den samlede afværgeperiode herved formentlig kunne reduceres.

På behandlingsanlægget har der i driftsperioden været en del nedbrud af overvejende teknisk karakter, så som tilklogning af råvandpumpe og kulfiltre med jern, indpumpning af større luftmængder samt fejl i forbindelse med datakommunikationen mellem under- og hovedstationen. På trods af disse driftsforstyrrelser har anlægget kunnet oprense til niveauer fastsat i udledningstilladelsen, dog med undtagelse af for zink og cadmium. Der pågår derfor p.t. en driftsoptimering af anlægget med sigte på at få nedbragt koncentrationen af disse tungmetaller yderligere.

Driftsudgifterne har hidtil ligget på ca. 1000 kr. pr. m³ oprenset grundvand. Havde man alternativt valgt at etablere 3-5 almindelige dræn, vurderes driftsudgiften at ville være øget med ca. 15% pr. ekstra etableret dræn. Omvendt ville en eventuelt øget hydraulisk kapacitet, som funktion af et øget antal afværgedræn, måske kunne reducere den samlede afværgeperiode og hermed eventuelt også reducere de samlede driftsudgifter til et niveau, der ligger under eller som minimum på niveau med de forventede for det aktuelle afværgetiltag. Sdtnævnte forhold er dog en rent teoretisk betragtning, idet

den hydrauliske effekt af dræn etableret i ufraktureret og geologisk sammenlignelig moræner ikke har kunnet dokumenteres på den aktuelle lokalitet.

Sammenfattende viser de hidtidige drifterfaringer, at dræn etableret i fraktureret moræne ikke har den forventede hydrauliske kapacitet – men at der selv ved den faktisk opnåede kapacitet overvejende vurderes opnået den tilsigtede afsenkning af trykniveauet i den øvre del af morænen inden for 'hot spot' området. Længerevarende drift må be- eller afkræfte, om denne tendens fortsætter.

Summary and conclusions

At the test site, a heavy contamination with chlorobenzene, dichlorobenzene, dichloronitrobenzene, anilines, BTEX and ammonium/ammonia has been detected. Furthermore, chloride levels are high.

The contamination has been located from the soil surface to a depth of approx. 5 meter below ground level (bgl), whereas the horizontal distribution of the contamination is estimated to make up an areal of approx. 500 m².

The site geology comprises fill in the upper 1-2 meter bgl and beneath this moraine clay to a depth of approx. 23 meters bgl, where the "Danien" chalk layer is found. At a depth of 14-18 meter bgl, lenses of moraine gravel are located in the moraine clay. This layer is water-bearing, separated from the primary groundwater reservoir (in the chalk aquifer) by a 5-7 meter thick moraine clay layer. The quaternary moraine clay sediments comprise a continuous secondary water reservoir. The primary reservoir is artesian with a hydraulic pressure level 1.5-2 meter bgl.

Before the remediation action was initiated, the hydraulic pressure level in the top of the moraine clay (approx. 2 meters bgl) was approx. 0.5-0.75 meter higher than measured in the primary chalk reservoir. Repeated water table measurements of wells screened in the upper and lower part of the moraine clay formation demonstrated a downward vertical pressure gradient of approx. 0.03 m/m within the 'hot-spot' area.

The objective of this project is to verify whether hydraulic fracturing is a cost-effective remediation technique in a low permeable moraine clay deposit.

During the detailed system design phase, it was decided to install 2 horizontal drainpipes 5 meters bgl in fractured moraine clay in preference to 3-5 horizontal drainpipes installed in non fractured moraine clay deposit. Each drainpipe measures 35 meter.

Remedial pumping of water and soil gas from the drainpipes is carried out by a Dual Phase Extraction (DPE) technique. Both water and gas is thereby treated prior to discharge into the recipient and the atmosphere.

By choosing this remediation technique, it was expected that an upward gradient could be established between the primary and the secondary water reservoir within the 'hot-spot' area. Additionally, the fracturing technique was expected to be cost-effective, due to the reduced number of drainpipes needed.

In this report, the remedial and operational experiences achieved during the first year of remediation on the site are presented.

Due to a request from the site owner, a unfractured reference drain, originally installed to assess the hydraulic effect obtained by hydraulic fracturing of the 2 drains unfortunately had to be sealed off. Therefore, it has not been possible to state the time-related development of the hydraulic effect from drainpipes

installed in both fractured and non-fractured moraine clay deposits as originally planned. Additionally, the delayed sealing of a production well screened in the primary chalk aquifer meant that the conditions for the implemented remediation technique were not optimal during the first approx. 12 months of operation.

The primary experiences achieved in the operation period from late November, 2000 till early April, 2002 are summarized below:

During the first 9 months of operation, an overall downward pressure gradient is observed between the upper and the lower part of the moraine clay deposit and most possibly also between the secondary and the primary aquifer. The latter statement has not been possible to document, as no monitoring wells screened in the primary aquifer are present at the test site.

After approx. 9 months, an overall upward gradient develops as intended in the remedial design. This tendency is observed from ultimo September, 2001 until April, 2002, and only two monitoring wells (MB4 and MB5) deviates from this pattern.

The fractured drain system affects a zone on either side of each drain of up till approx. 4.5 meter, in accordance with the design parameters and results predicted by the modelling /4/. In the northernmost section of each drainpipe the affected zone is reduced due to the fact that no fractures were implemented here.

A total average of approx. 1.3 m³ water is drained per day from the 2 horizontal drainpipes and the hydraulic capacity of the drainpipes is very constant with time. An attempt to increase the hydraulic capacity by acidifying the drains did not succeed. The overall hydraulic tendency is positively supported by the results of 2 Dual Phase Extraction Test carried out on drainpipe A-A with intervals of 20 months. Unlike the test results obtained from drainpipe A-A, test results for drainpipe B-B are not directly comparative, due to the fact that heavy rainfall occurred during the 2nd test period using this drainpipe.

Prior to the implementation of the remediation technique, the hydraulic capacity of a fractured drain was estimated to be 3-5 times the capacity of a non-fractured drain on the basis of Groundwater modelling, see /ref. 4, chapter 3.4.2/. Unfortunately, this proportional relation has not been demonstrated in practice, as only 20-40% of the expected hydraulic capacity has been achieved as yet. This fact has caused a delayed hydraulic effect of the remediation technique. Furthermore, the delayed sealing of the production well screened in the primary aquifer has affected the technique in a negative way, too, since this well produced approx. 5-10 m³ per day until its closure in December 2001.

With an average zone of affect for each drain of up to 4.5 meters, the total influential area of the 2 drainpipes corresponds to an approx. area of 600-800 m². Based on the actual rainfall data and the present types of consolidation on the site, approx. 5-15% of the drained water volume is considered to be represented by infiltrated precipitation, whereas the remaining portion is assumed to originate from the ground water. A high degree of uncertainty is associated with this estimate – and future measurements will try to verify this

estimate, and possibly contribute to a more accurate quantification concerning the origination of the inflow to the drains.

Except from the concentration level of anilines, ammonium/ammonia and chloride, no clear drop in concentration is detected for the primary contaminants. Moreover, an overall tendency to increasing concentrations of primary contaminants and chloride is found in monitoring well no. MB-2 (lower screen section) and MB-5 (lower screen section). These wells are both located 4.5 m away from the drainpipes and both screened approx. 4.5 meter blg – which is identical with the installation depth for the horizontal drainpipes.

With the exception of dissolved oxygen and pH, concentrations of the redox related parameters decreased in both drainpipe samples and samples representing the level in adjacent monitoring wells.

The development measured in the upper part of the moraine clay deposit is found to be controlled by the change in the pressure conditions of the aquifer as well as by the natural dilution of the polluted water body. In the lower part of the moraine clay deposit, represented by the lower screen section of monitoring well no. B17 (screened 14-16 m blg), the same overall pattern is documented with respect to both development in the contamination levels of primary contaminants and redox related parameters. The absolute change in concentrations are small and makes it difficult to draw any conclusions.

After approx. 14 months of operation approx. 25 kg of primary contaminants and approx. 800 kg chloride are estimated to be remediated from the moraine clay. The average removal rate has been approx. 0.08 kg per day for the primary contaminants. The mass flux rate has dropped from 0.1 kg per day till 0.03 kg per day; the former value being measured 10 days after initiating the remediation, and the latter value representing the mass flux after 310 days of operation.

Whether or not 3-5 non-fractured horizontal drainpipes would have been more effective is hard to estimate. The main reason is that no DPT could be done on a drainpipe installed in a non-fractured and immediately comparable geological formation.

Assuming that the operation of 3-5 non-fractured horizontal drainpipes would have increased the hydraulic capacity of the remediation system the total operation period might have been reduced.

Various technical problems have occurred on the treatment plant, e.g. clogging of the raw water pump and adsorption of iron, presence of air in the vacuum tank, and errors in the data transmissions between the treatment facility and the client's monitoring system. Despite the operation problems, all primary contaminants have been treated to a level, which meets the discharge permit conditions, whereas heavy metals (zinc and cadmium) still causes problems.

At present, the treatment facility is therefore being optimised with regard to removal of zinc and cadmium. The operation costs per treated m³ of contaminated groundwater have been approx. 1,000 DKr. If alternatively, 3-5 non-fractured drainpipes had been installed, the operation costs per extra drainpipe is estimated to be approx. 15% higher than the present unit cost per

fractured drainpipe. On the other hand installation of extra drainpipes might have caused an increased hydraulic capacity of the remediation concept and lowered the total operation costs. There is, however, no information to confirm these aspects, as the effect of non-fractured drainpipes has not been tested on the site.

Based on the experiences obtained so far, it seems that hydraulic fractured drainpipes do not meet the hydraulic capacities as specified in the design base. However, even with the relatively low hydraulic capacity of the remediation system, data obtained strongly indicates that the intended hydraulic effect on the pressure level in the water reservoirs has been accomplished within the 'hot spot' area. Further operation of the system will verify whether this tendency will be continue.

1 Indledning

1.1 Baggrund

På Slagelsevej 190 i Næstved har der i perioden 1948-1955 været produktion af sødemidlet Dulcin samt udført varmtgalvanisering. Tidligere gennemførte undersøgelser har vist, at disse aktiviteter har medført en kraftig forurening af jord og terrænnært grundvand med primært chlorbenzener, chlornitrobenzen, dichlornitrobenzen, aniliner, BTEX, ammonium/ammoniak, udvalgte metaller samt chlorid, jf. /ref. 1, 2 og 3/. De anførte forureningskomponenter, excl. chlorid og udvalgte tungmetaller, benævnes efterfølgende primære forureningskomponenter.

Den påviste forurening skønnes aktuelt at bidrage til et uacceptabelt ude- og indeklime på lokaliteten, ligesom den på sigt vurderes at kunne medføre en uacceptabel påvirkning af det primære grundvandsmagasin.

På baggrund af ovenstående iværksatte Storstrøms Amt i 1999 et afværgeprojekt med sigte på dels at eliminere eller som minimum at nedsætte risikoen for en fortsat forureningsspredning mod det primære magasin, dels at reducere forureningsmængden og hermed kildestyrkekonzentrationen. Sidstnævnte med sigte på at reducere påvirkningen af ude- og indeklimaet på lokaliteten.

1.2 Formål med aktiviteter i forbindelse med 1. års drift

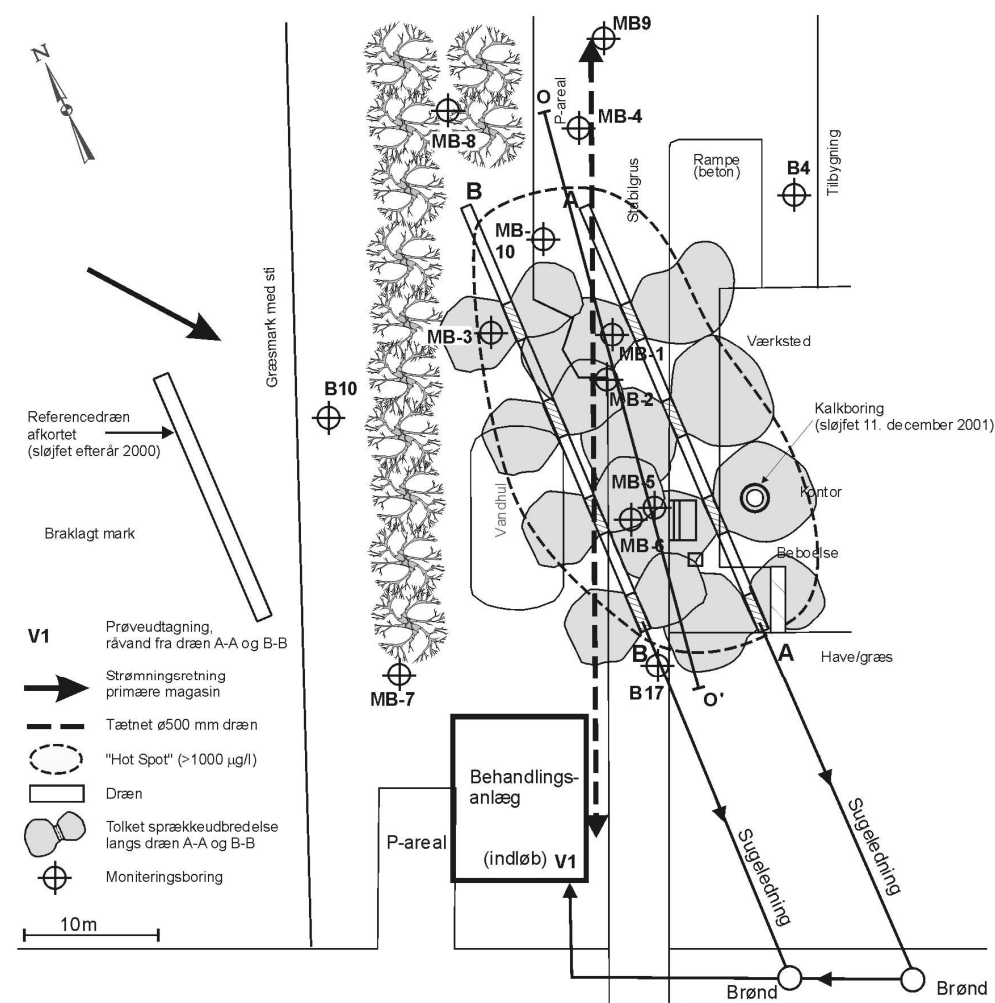
De væsentligste delformål med udarbejdelse af nærværende statusrapport er at vurdere følgende forhold:

- Hydrauliske langtidseffekter af vandrette dræn etableret i ufraktureret henholdsvis fraktureret moræneler (afsænkning, vandføring og oprensningseffekt)
- Driftsmæssige erfaringer med afværgetiltaget.
- Driftsøkonomien for afværgetiltaget set i forhold til den skønnede driftsudgift forbundet med at drive 3-5 vandrette dræn etableret i ufraktureret moræneler.

2 Lokalitet og forurenings-situation

2.1 Beskrivelse af lokaliteten samt afværgetil taget

Indretning af lokaliteten, herunder placeringen af det iværksatte afværgetiltag, dvs. dræn A-A og dræn B med tilhørende behandlingsanlæg, monitoringsboringer m.v. fremgår af figur 2.1.



Figur 2.1 Indretning af lokaliteten efter etablering af afværgetil taget i år 2000.

Som det fremgår af figur 2.1, blev der aldrig udført en sprække (fraktur) i den nordligste ende af dræn A-A og B-B, hvilket skyldtes tekniske problemer i anlægsfasen, jf. /ref. 4/. Hvert dræn er etableret i ø 110 mm PE-rør og har en samlet længde på 35 m.

På behandlingsanlægget oprenses forurenet grundvand på vand- henholdsvis luftfasen, også kaldet Dual-Phase oprensning.

De enkelte processtrin på behandlingsanlægget er illustreret på procesdiagrammet vedlagt i bilag A, samt nærmere beskrevet herunder:

Grundvand og luft opsuges vha. en vakumpumpe (P1) til en vakumtank. Efter passage af vakumtanken oprensnes vandfasen ved biologisk jernfiltrering (trykfilter), kulfiltrering (2 serieforbundne GAC-adsorbere) samt nitrifikation, før dette afledes via rentvandstanken til recipienten (Evergrøften), alternativt til lodsejerens vandtank (sekundavand anvendt til bilvask).

Prøveudtagningspunktet, benævnt V1, er placeret umiddelbart efter vakumtanken og repræsenterer således den resulterende råvandskvalitet indpumpet fra dræn A-A og dræn B-B.

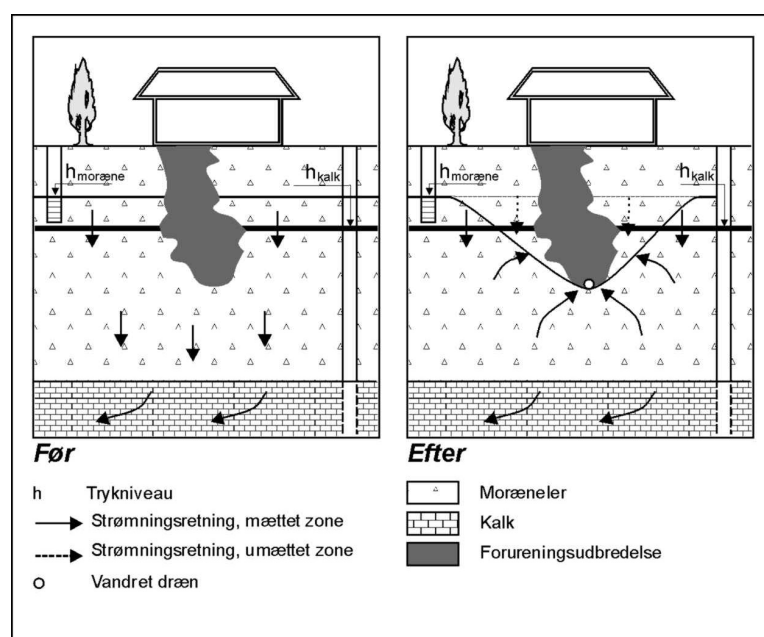
Luftfasen oprensnes ved kulfiltrering (GAC – adsorber), før afkast til atmosfæren.

Et ø 500 mm dræn gennemskar tidligere 'hot spot' området ca. 2-3 m.u.t. For at sikre dette dræn mod vandudveksling med den del af morænen, som forventes påvirket af det etablerede afværgetiltag, blev drænstrækningen vist på figur 2.1 relinet (tætnet), før tiltagets opstart.

2.2 Geologi og hydrogeologi

Terrænet på lokaliteten er beliggende i kote 14-15 meter, DNN. Efterfølgende angives kote i meter, DNN, som kote xx m.

Geologien udgøres øverst typisk af et fyldlag med en mægtighed på 1-2 meter. Fyldlaget består overvejende af fugtig sand/grus med en rødlig farve. Fyldlaget underlejres af kalkholdig moræneler, som til 4-5 meter under terræn (efterfølgende m.u.t.), og lokalt til større dybde, kan karakteriseres som opsprækket. I moræneleren træffes 16-18 m.u.t. (svarende til kote -1 m til -3 m) et lokalt indslag af morænegrus. Moræneleren underlejres ca. 23 m.u.t. af kalken (Danien), der regionalt udgør det primære grundvandsmagasin. Detailforhold vedrørende de geologiske og hydrogeologiske forhold på lokaliteten er nærmere beskrevet i /ref. 4/.



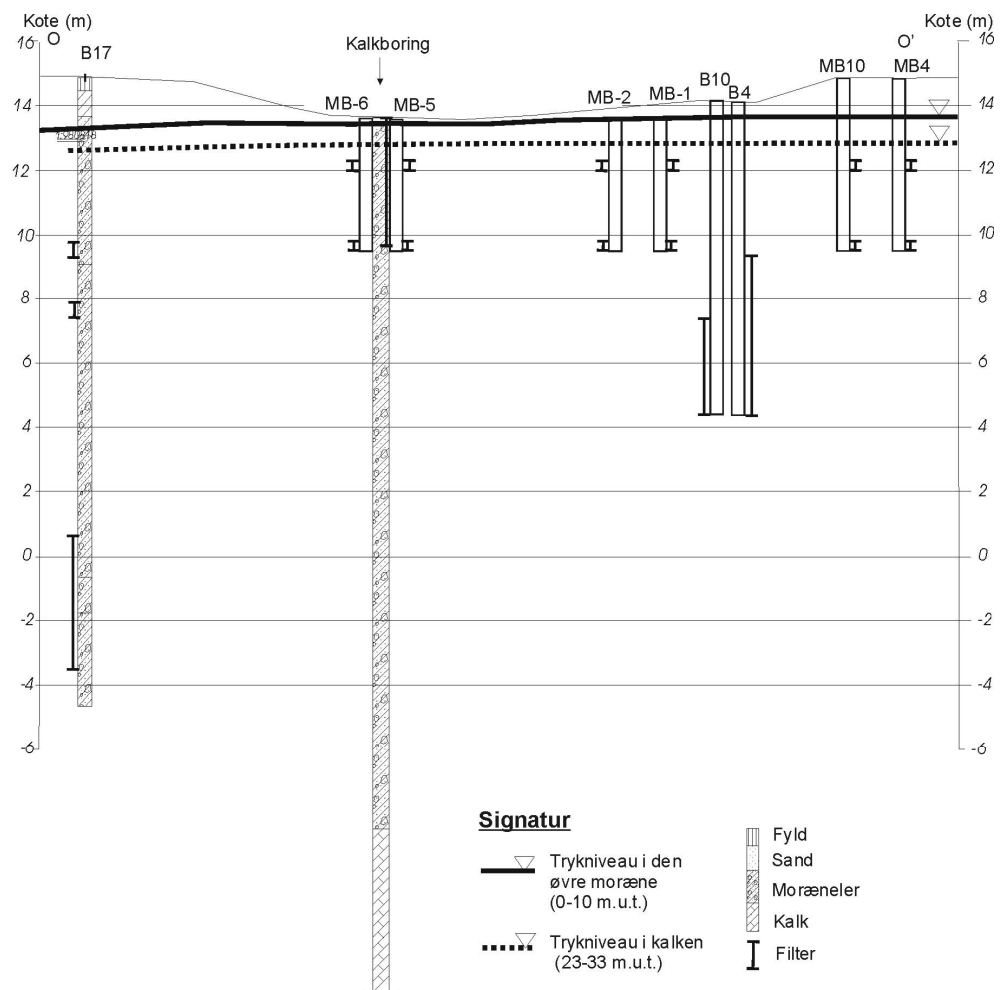
Figur 2.2 Forventet hydraulisk effekt af vandrette dræn etableret i fraktureret moræneler

Potentialet i det primære magasin ligger i ca. kote 13,0 m og strømningsretningen er her sydøstlig. Trykniveauet i det sekundære magasin, der udgøres af moræneleren, ligger ca. 0,5-0,75 m højere end i kalken, svarende til kote 13,5 m -13,75 m. Før afværgetiltagets opstart optrådte der regionalt en nedadrettet trykgradient i moræneleren på ca. 0,3 m/m, som søgt illustreret på figur 2.2.

Formålet med afværgetiltaget har derfor været at få afsænket trykniveauet i morænen så meget, at der resulterende sikres etablering af en opadrettet gradient mellem det primære og sekundære magasin inden for 'hot-spot' området, og hermed hindres en fortsat forureningsspredning mod det primære grundvandsmagasin (kalken).

Den ønskede effekt på de hydrauliske forhold uden ('før') henholdsvis med afsænkningen af trykniveauet i morænen ('efter') er skitseret på figur 2.2.

For fastlæggelse af udviklingen i trykniveauet i den øvre og nedre del af morænen er der gennemført monitoring i udvalgte borer. Boringerne er alle filtersat i moræneleren og såve filtersætningen som målte trykniveauer i den øvre del af morænen henholdsvis i kalken (før afværgetiltagers opstart) er vist på figur 2.3.



Figur 2.3 Trykniveauet før opstart samt fil tersætning i udvalgte monitoringsboringer. (placering af snit O – O' er vist i figur 2.1).

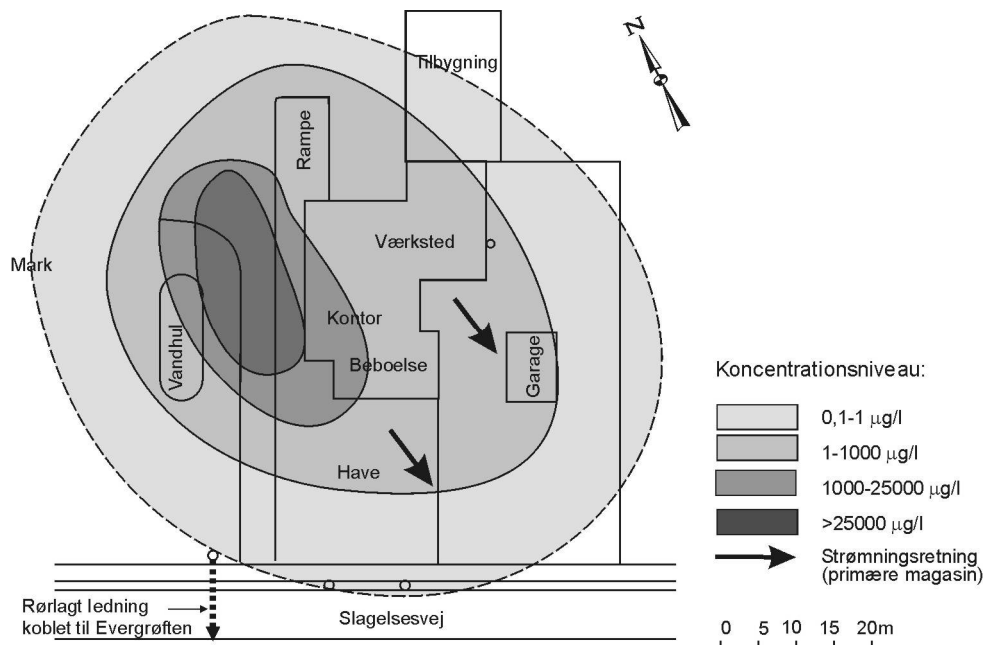
Den eneste kalkboring på lokaliteten har frem til december 2001, dvs. i afværgetiltagets først ca. 12 måneders driftsperiode, fungeret som indvindingsboring med en ydelse på 5-10 m³/døgn. I forbindelse med afpropringen kunne der desværre ikke gives tilladelse til at montere et pejlerør i kalkboringen, hvorfor det ikke har været muligt at følge den tidsmæssige udvikling i potentialeforholdene i kalkmagasinet, og hermed i det primære grundvandsmagasin på lokaliteten.

Efterfølgende tolkning af udviklingen i potentialeforholdene på lokaliteten er derfor alene baseret på en sammenstilling af de påviste trykforhold i den øvre og nedre del af morænen. Forholdene i den øvre del er her repræsenteret ved monitoringsboringerne MB-1 til MB-10, B4 og B10, mens monitoringsboring B17 (øvre, mellem og nedre filter) repræsenterer forholdene i den nedre del af morænen. Boringernes indbyrdes placering er vist i figur 2.1.

2.3 Forureningsudbredelse

Da moræneleren på lokaliteten er vurderet næsten 100% vandmættet, forventes forureningstransporten inden for 'hot-spot' området alene at foregå på opløst form eller som separat fri fase.

Den kraftigste grundvandsforurening er tidligere afgrænset til et ca. 500 m² stort 'hot spot' område, inden for hvilket forureningen overvejende er påvist i de øverste ca. 5 m af den vandmættede moræne, /ref.3/. Den tolkede forureningsudbredelse i planet er vist i figur 2.4.



Figur 2.4 Tolkede forureningsudbredelse i den øvre del af morænen

Før afværgetiltagets opstart blev der i boring B17 (nedre) dog påvist indhold af chlorbenzener og chloraniliner, som dokumenterer, at der er sket en forureningsspredning til mindst 14-16 m.u.t. Derimod kunne det før opstart dokumenteres, at der under 'hot spot' området ikke er trængt miljøfremmede stoffer ned til det primære grundvandsmagasin, ligesom vandkvaliteten her ikke udviser tegn på påvirkning med chloridholdige vandtyper. Analyseresultater fra drikkevandsboringer etableret i lokalområdet og nedstrøms for lokaliteten udviser samme tendens, /ref. 3/.

3 Monitering i udvalgte monitoringsboringer

3.1 Omfang

Udviklingen i potentiale- og forureningsforholdene uden såvel som inden for den del af morænen, som før afværgetiltagets opstart var skønnet at blive hydraulisk påvirket af afværgetiltaget, er nærmere beskrevet i dette kapitel.

3.2 Potentialeforhold i morænen

For fastlæggelse af ændringerne i potentialeforholdene i morænen er der i perioden fra d. 13.04.1999 og frem til d. 09.04.2002 gennemført i alt 15 manuelle pejlerunder i udvalgte monitoringsboringer. For understøtning af de manuelt indhentede data har der supplerende pågået on-line måling af trykniveauet i MB-3(nedre) og B17(nedre).

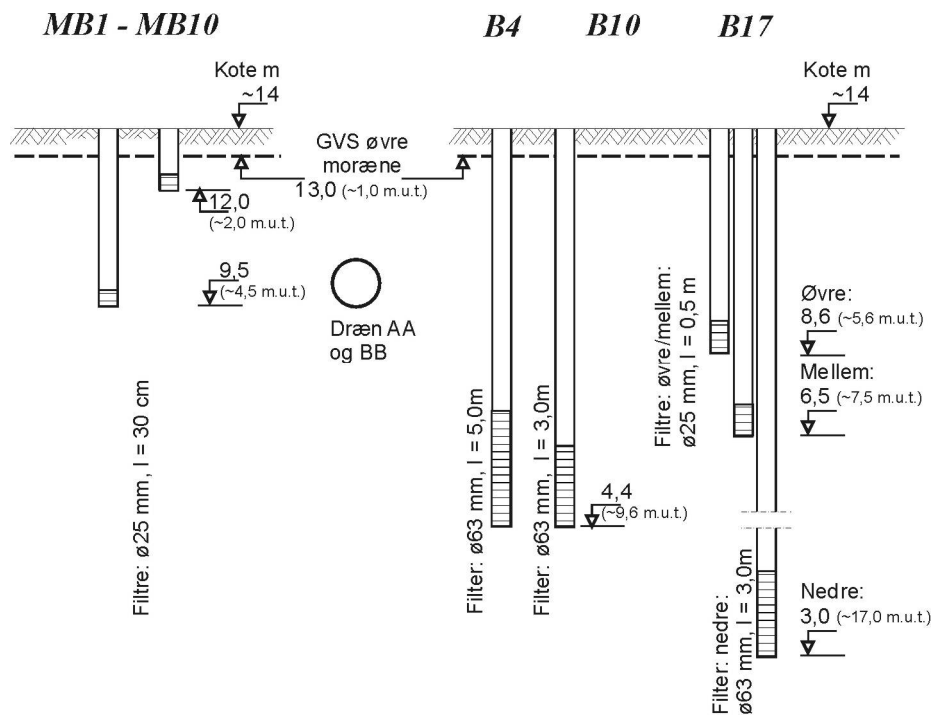
Boringerne B4, B10 og B17 har været omfattet af monitoringsprogrammet i hele perioden, mens MB-1 til MB-10 først blev etableret som led i Teknologiuudviklingsprojektet. Pejledata for disse boringer foreligger derfor først fra d. 26.6.2000, svarende til ca. 5 måneder før afværgetiltagets opstart d. 27.11.2001.

Placeringen af monitoringsboringerne fremgår af figur 2.1, mens opbygningen for hver af de 4 typer monitoringsboringer er illustreret i figur 3.1.

Som det fremgår af figur 3.1 er boringerne MB-1 til MB-10 identisk opbygget, og filtersat over 0,3 m i dybdeniveauerne fra ca. 2,0 m.u.t.henholdsvis fra ca.4,5 m.u.t. Disse boringer er generelt pejlet i det dybe filterniveau og repræsenterer således trykniveauet i samme dybdeniveau som de vandret installerede afværgedræn og hermed potentialeforholdene i den øvre del af morænen.

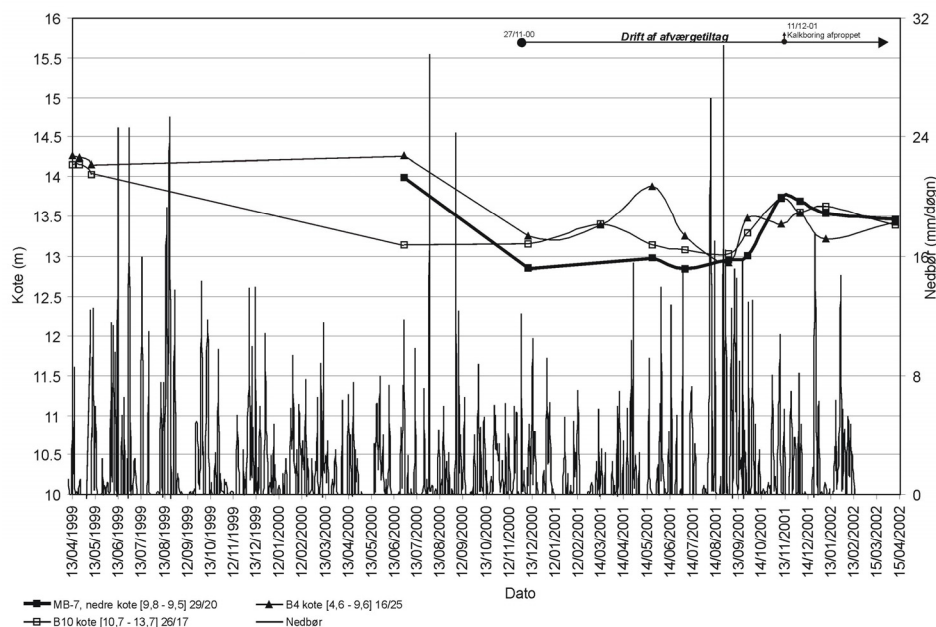
Boringerne B4, B10 og B17 er derimod pejlet i filterniveauer, der alle ligger dybere end de vandrette dræn og afspejler således udviklingen i trykniveauet i den dybere del af morænen.

Grundet lejlighedsvis forekomst af vand på terræn og i filterrør, samt hindret adgang til udvalgte boringer grundet parkerede biler m.v., har det ikke altid været muligt at gennemføre komplette pejlerunder. Ligeledes findes der ingen data for MB-3 efter d. 20.3.2002, idet den monterede tryktransducer her var defekt.



Figur 3.1 Opbygning af monitoringsboringerne

Resultatet af de gennemførte pejlerunder før/efter opstart af afværgetiltaget er præsenteret i figur 3.2 og figur 3.3. Pejledata såvel som en opskaleret version af disse figurer er desuden vedlagt i bilag B2 og B3. Supplerende er der i bilag B1 vedlagt en figur, hvorpå samtlige opnåede pejledata er indarbejdet. De på figurerne indarbejdede nedbørsdata er rekvireret fra DMI's målestation opstillet på Næstved Centralrenseanlæg, som er beliggende ca. 5 km fra lokaliteten.



NOTE:

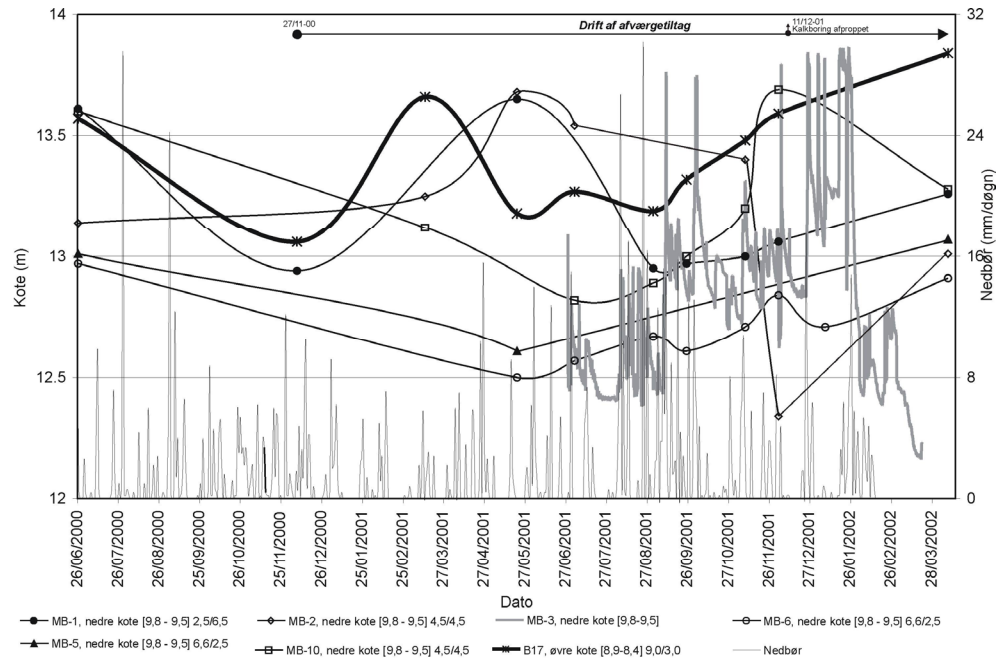
[xx,yy]: Fil tersætning, m

xx/xx : Horisontale afstand til dræn A-A/B-B, m

Dræn A-A og B-B er etableret i kote 9,5 m, svarende til ca. 4,5 m.u.t.

Figur 3.2 Pejledata for monitoringsboringer beliggende uden for det forventede påvirkningsområde

Figur 3.2 afspejler potentialeforholdene uden for den del af morænen, som før opstart var forventet at blive hydraulisk påvirket af afværgetiltaget, mens figur 3.3 repræsenterer forhold inden for det forventede påvirkningsområde.



NOTE:

[xx,yy]: Filtersætning, m
 xx/xx : Horisontale afstand til dræn A-A/B-B, m
 Dræn A-A og B-B er etableret i kote 9,5 m, svarende til ca. 4,5 m.u.t.

Figur 3.3 Pejledata for monitoringsboringer beliggende inden for det forventede påvirkningsområde.

3.2.1 Potentialeforhold uden for det forventede påvirkningsområde

Af figur 3.2 samt bilag B-2 ses, at trykniveauet i perioden 13.4.1999 til 9.4.2002 generelt falder med 0,5-0,7 m i de 3 aktuelle boringer. De laveste grundvandsspejl observeres i juli-august måned, mens de højeste vandspejlsniveauer er målt i november-februar. De målte fluktuationer vurderes overvejende styret af aktuelle nedbørshændelser og ikke af effekten af afværgetiltaget opstartet d. 27.11.2000.

3.2.2 Potentialeforhold inden for det forventede påvirkningsområde

I den nedre del af morænen, jf. figur 3.3 samt bilag B-3, ses, at trykniveauet i B17 (øvre, ca. 5,6 m.u.t.) i perioden frem til 25.9 2001 ligger 4-24 cm højere end trykniveauet målt i B17 (nedre, ca. 14-16 m.u.t.). I denne periode har der således pågået nedadrettet strømning mellem den øvre og nedre del af morænen og formodentlig også imellem morænen og kalkmagasinet.

Fra d. 25.9.2001 og driftsperioden ud ændres potentialeforholdene dog, således at trykniveauet i B17(øvre) nu ligger 8-11 cm under niveauet i

B17(nedre) – en udvikling, der pr. ultimo september 2001 indikerer at der er skabt en opadrettet trykgradient imellem den nedre og øvre del af morænen.

Trykniveauet målt i borerne, filtersat i samme niveau som afværgedrænene, ligger i perioden efter 25.9.2001 lavere end trykniveauet målt i såvel B17(øvre) som B17(nedre). Dette forhold underbygger yderligere formodningen om etablering af en opadrettet gradient i morænen inden for 'hot-spot' området. Pejledata for MB-4 og MB-8 afviger dog fra denne tendens.

Dog vanskeliggør det begrænsede antal monitoringsboringer, de forventede minimale afsænkninger i større afstand fra drænene, samt det forhold, at der ikke findes en pejlbar kalkboring på lokaliteten en entydig verifikation af den hidtidige effekt af afværgetiltaget. Desuden viser on-line pejledata for MB-3, at potentialebilledet i den øvre del af morænen er meget nedbørsbetinget og udviser meget hurtige fluktuationer.

Resultatet fra de udførte pejlerunder tyder dog på, at afværgetiltaget, specielt inden for driftsperiodens seneste 6 måneder, dvs. i perioden medio medio september 2001 til primo april 2002, har opnået den tilsigtede effekt inden for 'hot-spot' området. Der er således etableret en opadrettet gradient i den dybere del af morænen og mod drænene, inden for et horisontalt påvirkningsområde på ca. 4,5 m. Dog er denne tendens ikke dokumenteret entydigt i den nordlige ende af drænene, her repræsenteret ved data for monitoringsboring MB-4 og MB-8. Dette forhold vurderes overvejende betinget af, at der i dette område langs drænene aldrig blev etableret den sidste frakturerede zone, grundet anlægstekniske problemer, samt at disse borerer begge ligger i periferien af, eller helt udenfor drænenes forventede påvirkningsområde, jf. /ref. 4/.

På det foreliggende grundlag skønnes det samlede påvirkningsområde for afværgetiltaget at have en arealmæssig udbredelse på 600-800 m² og det tolkede 'hot-spot' område (ca. 500 m²) ligger inden for dette påvirkningsområde.

3.2.3 Forureningsforholdene i grundvandet

For fastlæggelse af udviklingen i forureningsniveauet i den øvre og nedre del af morænen, er der gennemført i alt 6 monitoringsrunder i henhold til monitoringsprogrammet præsenteret i tabel 3.1. Supplerende er der screenet for indhold af chlorid samt NVOC. Boringskontroller er udført primært med sigte på at vurdere ændringen i udvalgte redoxrelaterede parametre (pH, ledningsevne, nitrat, nitrit, sulfat, jern, mangan, kuldioxid samt bicarbonat).

Det bemærkes, at den første monitoringsrunde er gennemført ca. 5 måneder, før afværgetiltaget blev sat i kontinuerlig drift, mens de øvrige runder er udført i selve driftsperioden.

Moniteringsrunde nr.		1	2	3	4	5	6
Dato og år		26.06.00	07.12.00	13.03.01	20.08.01	03.10.01	04.12.01
Boring	Dræn m.v.						
	A-A				BX/CB/CA/B		BX/CB/CA/B
	B-B				BX/CB/CA/B		BX/CB/CA/B
MB-2 (øvre)							CB/CA
MB-2 (nedre)					BX/CB/CA/B		CB/CA
MB-5 (øvre)							CB/CA
MB-5 (nedre)					BX/CB/CA		CB/CA
B17 (nedre)				B	B	BX/CB/CA	BX/CB/CA/B
Indløb til behandlingsanlægget	V1	BX/CB/CA/B	BX/CB/CA/B	BX/CB/CA/B	BX/CB/CA/B	CB/CA/B	

NOTE:

BX:	BTEX
CB:	Sum chlorbenzen, chlornitrobenzener og dichlornitrobenzener
CA:	Sum chloraniliner og aniliner
B:	Boringskontrol
MB-X(øvre/nedre):	Øvre filter: kote 12,3 – 12,0 m, (ca. 1,7-2,0 m.u.t.) Nedre filter: kote 9,2 – 9,5 m (ca. 4,2-4,5 m.u.t.)
B17(nedre)	Nedre filter: kote 10,0 – 4,0 m (ca. 14-18 m.u.t.)
V1	Indløb til behandlingsanlægget, hvor det resulterende forureningsniveau fra dræn A-A og B-B måles, jf. bilag A.

Tabel 3.1 Monitoringsprogram for udtagne vandprøver.

De primære forureningskomponenter, der er analyseret for, er:

- chlorbenzener, dichlorbenzener og dichlornitrobenzener,
- aniliner
- BTEX
- ammonium/ammoniak.

Grundet en generel meget lav tilstrømning til boring MB-2 og MB-5, var det kun i forbindelse med 6. monitoringsrunde muligt at udtage vand fra disse borings øvre filter. Dog ikke tilstrækkeligt til at udføre en ellers planlagt boringskontrol. Med samme argument er der i 4. runde kun udført boringskontrol på prøve udtaget fra MB-2 's nedre filter, ligesom det ved 6. runde generelt ikke var muligt at udtage tilstrækkeligt vand til boringskontrol fra nogle af disse 2 borings filterniveauet.

En planlagt prøveudtagning fra dræn A-A og B-B i forbindelse med 1. runde måtte ligeledes opgives, da der var trængt overfladevand ned i de brønde, hvorfra prøverne skulle udtages. Som kompensation herfor blev der ved 1. runde udtaget en vandprøve ved indløb til behandlingsanlægget (V1), repræsenterende den resulterende koncentration i grundvandet afdrænet fra dræn A-A og B-B.

I bilag C er samtlige opnåede analyseresultater for de udvalgte stofparametre gengivet i tabelform henholdsvis ved grafisk præsentation.

En tolkning af den tidlige udvikling i forureningsniveauet i morænen er præsenteret i nærværende afsnit, mens udviklingen i forureningsniveauet, målt ved indløb til behandlingsanlægget, er kommenteret i afsnit 5.2.

3.2.3.1 Primærforureningskomponenter

På det foreliggende spinkle grundlag er tendensen i forureningsudviklingen for primærforureningskomponenter samt chlorid søgt tolket.

Dræn A-A og B-B

Forureningsudviklingen inden for påvirkningsområdet for dræn A-A og B-B i perioden 20.8 2001 (4.runde) til 4.12 2001 (6. runde) er vist i tabel 3.2.

Dræn	A-A		B-B		Detektionsgrænse
Moniteringsrunde nr. ³⁾	4	6	4	6	
Forureningskomponent:					
BTEX	49 ²⁾	33.356	2.479	1.276	0,05 – 0,1
Chlorbenzen	2.500	1.100	13.000	19.000	0,05
Chlornitrobenzener	19.000	1.811	130.000	134.200	0,05 – 1,0
Dichlornitrobenzener	250	18	14	1.100	0,05 – 1,0
Aniliner	6.920	610	11.230	6.059	0,05 – 1,0
Ammonium/ ammoniak ¹⁾	60	10	15	7	0,005
Chlorid ¹⁾	6.500	830	1.600	930	0,5

NOTE:

- 1) Koncentration anført i mg/l
- 2) Analyseresultatet vurderes fejlbehæftet
- 3) Afværgetiltaget er opstartet d. 27.11.2000

Tabel 3.2 Mål te koncentrationsniveauer i dræn A-A og B-B ved 4. og 6. moniteringsrunde (enhed: µg/l)

Overordnet ses, at der med undtagelse af aniliner, ammonium/ammoniak og chlorid ikke kan påvises et entydigt fald i koncentrationsniveauet som funktion af driftstiden. Ligeledes fremgår det, at koncentrationsniveauerne for primærforureningskomponenterne, målt inden for påvirkningsområdet til dræn B-B, overvejende er højere end målte niveauer i dræn A-A.

Boring MB-2 og MB-5

Forureningsudviklingen, registreret i MB-2's og MB-5's øvre og nedre filterniveauer i perioden 20.8 2001 (4.runde) til 4.12 2001 (6. runde), er vist i tabel 3.3.

Moniteringsboring nr.	MB-2 (øvre)		MB-2 (nedre)		MB-5 (øvre)		MB-5 (nedre)		Detek- tions- grænse
Analyserunde nr.	4	6	4	6	4	6	4	6	
Forureningskomponent:									
BTEX	i.a.	i.a.	i.a.	55	i.a.	i.a.	i.a.	835	0,05 – 0,1
Chlorbenzen	i.a.	5	29.000	37.000	i.a.	27.000	650	480	0,05
Chlornitrobenzener	i.a.	224	330.000	469.500	i.a.	1.385	8	27	0,05 – 1,0
Dichlornitrobenzener	i.a.	7	18	2.400	i.a.	i.p.	1	0,1	0,05 – 1,0
Aniliner	i.a.	24	33.290	46.531	i.a.	i.a.	260	272	0,05 – 1,0
Ammonium/ ammoniak ¹⁾	i.a.	i.a.	67	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	0,005
Chlorid ¹⁾	i.a.	i.a.	660	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	i.a.	0,5

NOTE:

1) Koncentration anført i mg/l.

2) Afværgetiltaget er opstartet d. 27.11.2000.

i.a. Ikke analyseret pga. utilstrækkelig prøvevolumen

i.p. Ikke påvist i koncentrationer over det. grænsen for anvendte målemetoder

Tabel 3.3 Målte koncentrationsniveauer i boring MB-2 og MB-5 ved 4. og 6. moniteringsrunde. (enhed: µg/l)

Af tabel 3.3 fremgår, at der sker en entydig stigning i koncentrationsniveauerne målt i MB-2(nedre). Med undtagelse af forureningsudviklingen for chlorbenzen og dichlornitrobenzen, kan denne tendens genfindes i MB-5(nedre). Desuden ses, at de målte koncentrationsniveauer generelt er markant højere i MB-2(nedre) i forhold til i MB-5(nedre). Disse resultater stemmer godt overens med, at de målte koncentrationsniveauer i dræn B-B generelt er højere end niveauerne i dræn A-A, samt det faktum, at der i forbindelse med udførte Dual Phase Test (efterfølgende DPT), jf. kapitel 4, er påvist, at MB-2(nedre) via en sprække står i direkte hydraulisk kontakt med dræn B-B, mens MB-5 har lignende kontaktforhold med dræn A-A.

Resultaterne fra de øvre filtre viser, at forureningsniveauet i MB-5(øvre), med undtagelse af diclornitrobenzener, generelt er markant højere i forhold til de målte niveauer i MB-2(øvre).

Boring B17(nedre)

For fastlæggelse af forureningsniveauet i den nedre del af morænen er der i perioden august 1998 og frem til december 2001 gennemført i alt 4 målerunder i B17(nedre), jf. tabel 3.4. Resultaterne viser, at forureningsniveauet for chlornitrobenzener samt ammonium/ammoniak er steget efter opstart, mens niveauet for de øvrige forureningskomponenter enten er faldet eller har ligget på et uændret niveau ('ikke påvist').

Forurenings- Komponent	Før opstart	Efter opstart ²⁾	Detektions- grænse
	August-september 1998 /ref. 5/	Udviklingen i perioden 13.3.01 – 4.12.01	
BTEX	i.p.	0,55 -> i.p	0,05 – 1,0
Chlorbenzen	i.p. - 0,45	i.p. -> i.p.	0,05
Chlornitrobenzener	i.p. - 0,1	i.p -> 0,46	0,05 – 1,0
Dichlornitrobenzener	i.p.	i.p -> i.p	0,05 – 1,0
Aniliner	0,2 – 1,5	i.p -> i.p.	0,05 – 1,0
Ammonium/ ammoniak ¹⁾	0,65	0,018 -> 0,86	0,005
Chlorid ¹⁾	34 – 38	45 -> 28	0,5

NOTE:

1) Koncentration anført i mg/l

2) Afværgetiltaget er opstartet d. 27.11.2000

i.p Ikke påvist i konc. over det.grænsen for anvendte målemetode

Tabel 3.4 Målte koncentrationsniveauer i boring B17(nedre) ved 4 monitoringsrunde (enhed: µg/l)

Sammenfattende kommentarer til de hidtil opnåede resultater

Før afværgetiltagets opstart vurderes den generelle udvikling i grundvandskvaliteten i den dybere del af morænen at være betinget af et komplekst samspil mellem naturlig fortynding, fortsat drift af kalkboringen samt fortynding grundet lækage fra et ø 500 mm dræn, som tidligere gennemskar 'hot spot' området i et trace orienteret NNØ/SSV, jf. figur 2.1.

Efter opstart vurderes udviklingen i forureningsniveauet i såvel den øvre som den nedre del af morænen overvejende styret af de ændrede potentialeforhold, den naturlige fortynding samt den fortsatte drift af kalkboringen. På det foreliggende grundlag skønnes det dog vanskeligt at vurdere, hvor stor en stofmængde, der er tilstrømmet dræne oppe- henholdsvis nedefra.

Den forventede tilstrømning af vand fra den dybere del af morænen og op til dræne kan skønnes ud fra følgende estimater på de hydrauliske parametre. Den hydrauliske ledningsevne er ved de indledende undersøgelser bestemt til at ligge i intervallet (10^{-6} - 10^{-8} m/s), mens den hydrauliske gradient er opadrettet og med en værdi i intervallet 0.1-0.5 (m/m), /ref. 4/. Antages denne gradient at være ensartet inden for hele det påvirkede område på 600 - 800 m², kan det samlede strømnings-bidrag ved hjælp af Darcy's lov beregnes til at ligge i intervallet 0,20-4,8 m³/d, mens tilhørende opadrettede Darcy-hastighed ligger i intervallet 0,12-3,2 m/år.

Med udgangspunkt i disse simple overslagsberegninger, kan følgende bemærkes:

- Den faktisk målte tilstrømning til dræne (ca. 1,3 m³/d) kan teoretisk set indeholde et bidrag fra den dybere del af morænen på mellem 10 og 100%, men usikkerhederne på parametrene bevirker, at der ikke kan drages nogen entydig konklusion. Dette interval er dog også i overensstemmelse med estimatet på den årlige nettoinfiltration til den øvre del af morænen, der er skønnet til 5-15% af den oppumpede mængde, jf. afsnit 5.1.

- Med den skønnede opadrettede Darcy-hastighed (0,1-2 m/år) og en effektiv periode med opadrettet gradient på ca. 1 år, vil en evt. stoffront teoretisk have trukket sig ca. 0,1-2 m tilbage. Det svage fald i chloridkoncentrationen i B17 (nedre) kunne således indikere, at der sker en opadrettet strømning af grundvand med et lavere indhold af chlorid – svarende til kloridindholdet i det dybere primære magasin på ca. 35 mg/l. Der er dog en relativt lav kontrast mellem udgangskoncentrationen i B17 (nedre, ca. 45 mg/l, jf. tabel 3.4) og koncentrationen i det primæremagasin, hvilket vanskeliggør en entydig tolkning.

3.2.3.2 Redox- relaterede parametre samt NVOC

Den tidlige udvikling i de redoxrelaterede parametre er målt i B17(nedre) samt idræn A-A og B-B, mens der kun foreligger et datasæt for MB-2(nedre), jf. tabel 3.5.

Komponent		Dræn A-A	Dræn B-B	MB-2 (nedre)	B17 (nedre)	Detektionsgrænse
		Udvikling i perioden 20.8-01 -> 4.12.01 (2 datasæt)		20.8.01 (1 datasæt) ¹⁾	Udvikling i perioden 13.3.01 -> 4.12.01 (3 datasæt) ²⁾	
Nitrat	[mg/l]	6,5 -> 1,8	1,5 -> <0,5	0,7	6,3 -> <0,05	0,5
Nitrit	[mg/l]	0,15 -> 0,17	0,15 -> 0,067	-	Uændret (~ 0,02)	0,001
Jern (II)	[mg/l]	60 -> <0,05	0,05 -> 0,005	0,2	2,9 -> 0,027	0,005
Opløst ilt	[mg/l]	1,8 -> 3,5	1,7 -> 2,9	0,2	1,4 -> 0,41	0,2
Hårdhed	[dh]	463 -> 72	140 -> 77,4	139	19 -> 15,6	0,005
pH	[-]	6,2 -> 6,9	6,6 -> 6,97	6,8	7,5 -> 7,1 (jævnt fald)	-
Konduktivitet	[mS/s]	1630 -> 294	545 -> 311	609	28,6 -> 66,8 (stiger)	1,0
Sulfat	[mg/l]	100 - 79	32 - 32	28	24 -> 12 (jævnt fald)	0,5
Mangan	[mg/l]	12 - 12	5,6 -> 1,6	4,3	0,9 -> 0,59	0,005
NVOC	[mg/l]	27 -> 6,6	97 -> 83	200	<0,005 -> 4,0 (stiger)	0,1

NOTE:

- 1) Der henvises til bilag C, hvor hver af de 3 datasæt er præsenteret
- 2) Boringskontrol er ikke udført i MB-5 (øvre/nedre) hhv. i MB-2 (øvre) grundet for lav ydelse i disse bornings filtre

Tabel 3.5 Resultatet af udførte målinger af redoxrelaterede parametre samt NVOC.

Baseret på det relativt spinkle datamateriale indhentet fra den øvre del af morænen, ses at såvel de redoxrelaterede parametre som NVOC generelt optræder i samme koncentrationsniveau i MB-2(nedre) som i dræn B-B. Et forhold, der yderligere underbygger resultatet af de gennemførte DPT i dræn

B-B (direkte hydraulisk kontakt mellem dræn B-B MB-2 (nedre) via en sprække, jf. afsnit 4.

Desuden ses, at målte parametre, med undtagelse af opløst ilt og pH, optræder i samme størrelsesorden i drænene såvel som i MB-2 (nedre), ligesom der, som funktion af driftstiden, sker en generel reduktion i niveauet for de målte parametre, herunder en væsentlig reduktion i indholdet af jern samt i hårdhed og konduktivitet.

I den nedre del af morænen, her repræsenteret ved B17 (nedre), tegner der sig for alle parametre, med undtagelse af NVOC og konduktiviteten, det samme overordnede billede som påvist i den øvre del af morænen. I absolutte tal er ændringerne dog relativt små, og det er vanskeligt at vurdere, om der er tale om naturlige variationer eller egentlige ændringer, forårsaget af afværgetiltaget. Stigningen i NVOC og konduktiviteten kan ikke umiddelbart forklares, og vanskeliggør en entydig tolkning af den konstaterede udvikling.

Sammenfattende vurderes det, at der inden for 'hot spot' området sker en ændring i den grundvandskemiske sammensætning, som vurderes at styres af de ændrede potentialeforhold samt naturlig fortynding. I den dybere del af morænen, vurderes udviklingen ikke at være entydig, og kun længere tids monitoring vil kunne afsløre en trend i de målte parametre.

4 Dual Phase Test af dræn A-A og B-B

4.1 Forsøgsopstilling

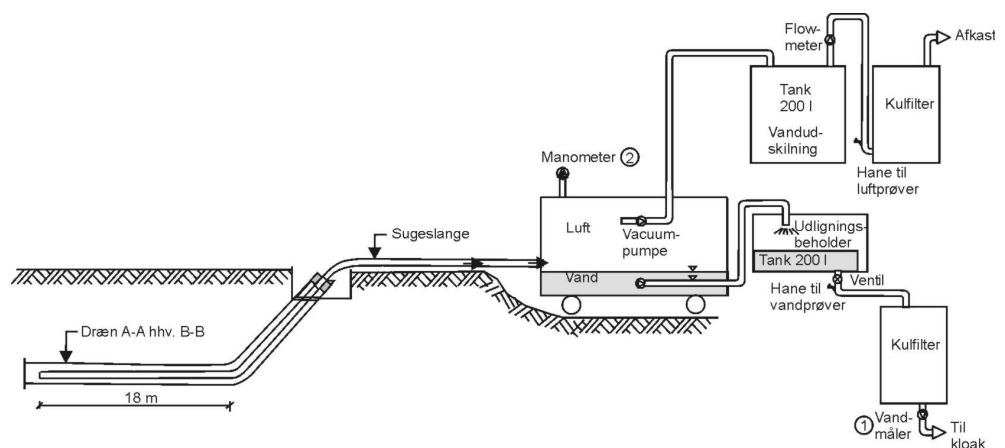
Før afværgetiltagets opstart, blev der i maj 2000 gennemført en Dual Phase Test, efterfølgende DPT, af dræn A-A og dræn B-B samt et referencedræn. I den forbindelse blev den hydrauliske kapacitet samt et estimat for påvirkningsområdet for drænen etableret i fraktureret henholdsvis ufraktureret moræneler fastlagt. Der henvises til /ref. 4, afsnit 4.4 samt kapitel 5 og 6/ for nærmere beskrivelse af denne test.

I perioden 7.-28. januar 2002 er der gennemført endnu en DPT af dræn A-A og B-B, med henblik på at vurdere den hydrauliske effekt samt påvirkningsradius for drænen efter godt et års drift. En planlagt gentagelse af test på referencedrænet (etableret i ufraktureret moræneler) kunne derimod ikke gennemføres, idet dette dræn, grundet lodsejers ønske, måtte sløjfes i efteråret 2000.

Forud for testafviklingen blev behandlingsanlægget stoppet, ligesom der imellem testene blev indlagt en retableringsfase af en uges varighed.

Selve DPT blev udført ved at påtrykke det testede dræn et vakum. I den samlede testperiode blev der gennemført monitoring af vandspejlsændringer i nærliggende monitoringsboringer, ligesom oppumpede luft- og vandmængder fra drænet blev registreret.

Forsøgsopstillingen er illustreret på figur 4.1, og består af et sugespidsanlæg, der indeholder en 2 m³ tank med indbygget vakum- og vandpumpe. Anlæggets max. kapacitet er ca. 60 m³ luft/time og 5 m³ vand/time. På afkastsiden er der monteret 2 kulfiltre til rensning af den afkastede luft og vand. Tilkoblingen til det testede dræn er udført via en ø 25 mm PE slange og tilhørende specialkobling.



Figur 4.1 Principskitse af forsøgsopstillingen ved DPT

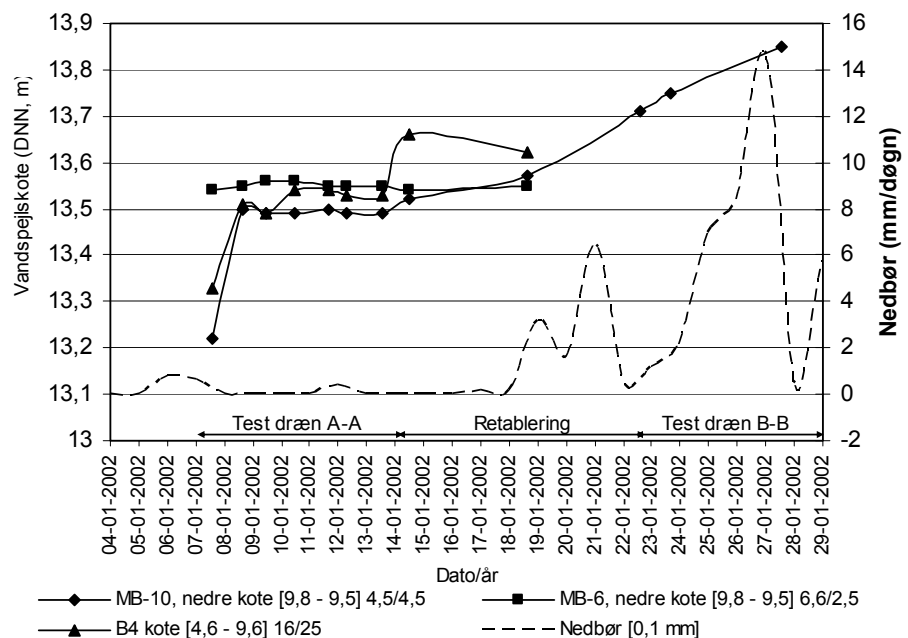
Boringerne omfattet af monitoringsprogrammet var MB-2 til MB-10 samt B4 og B10. Supplerende blev der i forbindelse med testen af dræn B-B også pejlet i B17's øvre og mellemste filter, idet det teoretisk var skønnet, at disse filtre kunne blive hydraulisk påvirket af disse, jf. den indbyrdes placering i figur 2.1. For boringer med index MB-xx er der pejlet i det nedre filter (4,5 m.u.t = kote 9,5 m), svarende til det dybdeniveau, hvori de testede dræn er installeret. Boring B4 og B10 er kun filtersat i et niveau, som er placeret dybere end dræne, jf. figur 3.1.

Som led i tolkningen af testresultaterne er der indhentet nedbørsdata fra DMI's nærmeste observationspunkt etableret ca. 5 km fra lokaliteten.

4.2 Resultater af udførte Dual-Phase Test

4.2.1 Observationer i monitoringsboringer beliggende uden for det forventede påvirkningsområde

I forbindelse med gennemførelse af DPT på dræn A-A og B-B blev der bl.a. udført pejlinger i boringerne MB-7, B4 og B10, som alle er placeret i en afstand af 15-30 m, regnet horisontalt ud fra dræn A-A og B-B. Boringerne vurderes derfor alle beliggende uden for testens forventede påvirkningsområde, hvorfor de opnåede resultater, jf. figur 4.2, skønnes at afspejle naturligt forekommende variationer i trykniveauet i morænen.



NOTE:

xx/xx: Horisontale afstand til dræn A-A/B-B, m
 [xx,yy]: Filtersætning, m

Figur 4.2 Vandstandsvariationer målt i boringer placeret uden for det forventede påvirkningsområde.

Af figur 4.2 ses, at der i forbindelse med DPT af dræn A-A ikke sker væsentlige ændringer i trykniveauet i de 3 boringer. Ændringen i trykniveauet, som led i afviklingen af DPT på dræn B-B, er alene dokumenteret ved pejledata for B4, idet de 2 øvrige boringer blev oversvømmet, grundet den store nedbørshændelse i testperioden. Pejledata for B4 viser, at der mod testperiodens slutning sker en stigning i trykniveauet på op til ca. 0,15 m, et forhold der alt overvejende skønnes nedbørsbetinget.

Observerede forhold i de monitoringsboringer, som hydraulisk forventedes påvirket i forbindelse med testafviklingen, er nærmere beskrevet i afsnit 4.2.2 og 4.2.3.

4.2.2 Dræn A-A

Den seneste DPT er afviklet i perioden d. 7.-14. januar 2002. På baggrund af denne samt tidligere udførte test af dræn A-A, er udarbejdet de i tabel 4.1 anførte nøgleparametre.

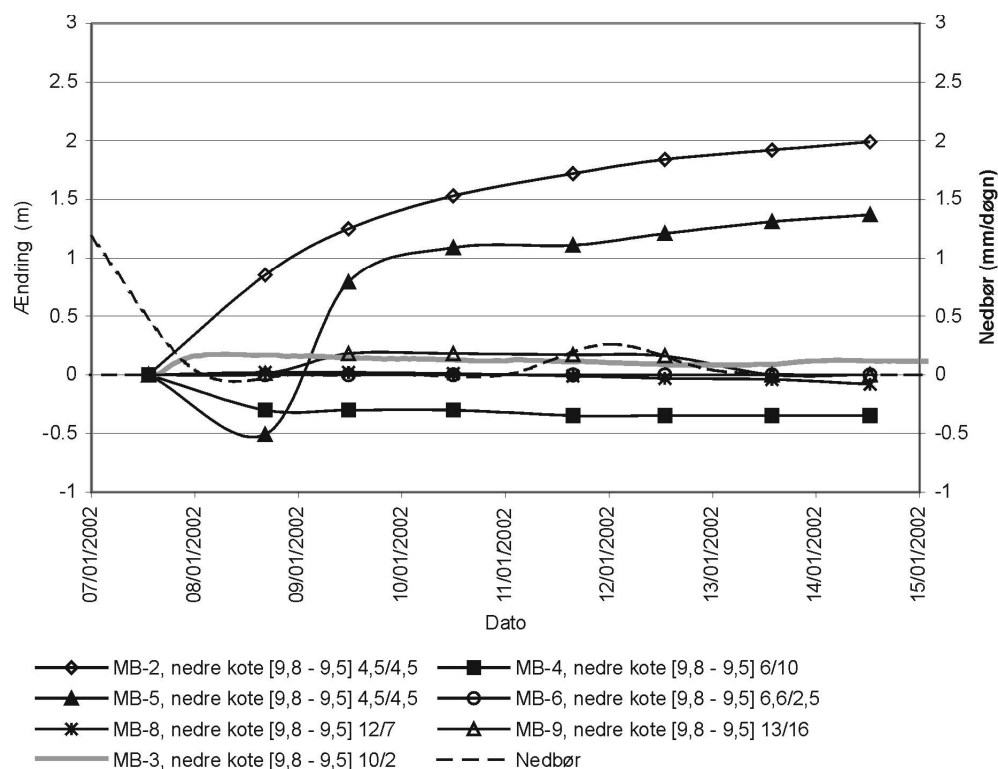
Dræn A-A (længde= 35m)	Hydraulisk kapacitet		Luftflow		Vakum [bar]
	[m ³ /døgn]	[m ³ /lbm filter/døgn]	[m ³ /døgn]	[m ³ /lbm filter/døgn]	
1. test, maj 2000 (0 mm regn)	2,78	0,089	380-500	10,9 -14,3	0,52-0,60
2.test, jan. 2002 (1 mm regn)	2,11	0,060	0-144	0-4,1	0,60-0,74

Tabel 4.1 Nøgleparametre for DPT test på dræn A-A

Det fremgår af tabel 4.1, at den hydrauliske kapacitet ved 1. og 2. test er tilnærmelsesvis identisk. Dette vurderes overvejende styret af de sammenlignelige nedbørshændelser i testperioderne samt det forhold, at der, grundet den lave permeabilitet i morænen, ikke opnås stabile trykforhold (Steady State) i matrixen. At luftflowet ved 2. test er mindre end ved den først udførte, skyldes, at testopstillingens luftskruer her var næsten lukket, mens luftskruen ved første test skulle være mere åben for at kunne drive mest muligt vand ud af drænet. At der ved 2. testrunder reelt var behov for mindre luft for at sikre den maximale oppumpning, kunne indikere, at vandspejlet i formationen naturligt er afsænket og herved har skabt flere luftfyldte kanalstrukturer i formationen.

I forbindelse med den seneste test er der gennemført i alt 8 pejlerunder i MB-2 samt MB-4 til MB-10, mens trykniveauet i MB-3 er logget.

De resulterende ændringer i vandspejlet ved 2. test er afbilledet i figur 4.3. For orientering er resultaterne opnået ved den 1. test ligeledes gengivet i figur 4.4. Der henvises til /ref. 4/ for yderligere drøftelse af de i figur 4.4 opnåede data.



NOTE:

[xx.yy]: Filtersætning, m

xx/xx: Horisontale afstand til dræn A-A/B-B, m

Stigning i trykniveauet i MB-5 skyl des at der løber overfladevand til boringen.

Figur 4.3 Vandspejlændring ifht. startniveau målt i forbindelse med **2. Dual-phase Test** på dræn A-A (udført januar 2002)

Grundet parkerede biler var det ved 2. test kun muligt at gennemføre en pejlerunde i MB-10 (d. 12.1.2002), hvor potentialet i boringen blev målt til kote 12,94 m.

De observerede potentialeforhold i borerne vurderes generelt styret af et komplekst samspil mellem trykudbredelse i morænenes naturligt forekommende sprækker og de kunstigt inducerede højpermeable sprækker samt selve matrixen af lavpermeabelt moræneler. Dette forhold, samt det faktum, at der kun har været et beskedent antal monitoringsboringer til rådighed for fastlæggelse af ændringerne i potentialet, gør, at tolkningen af de opnåede resultater er behæftet med en vis usikkerhed.

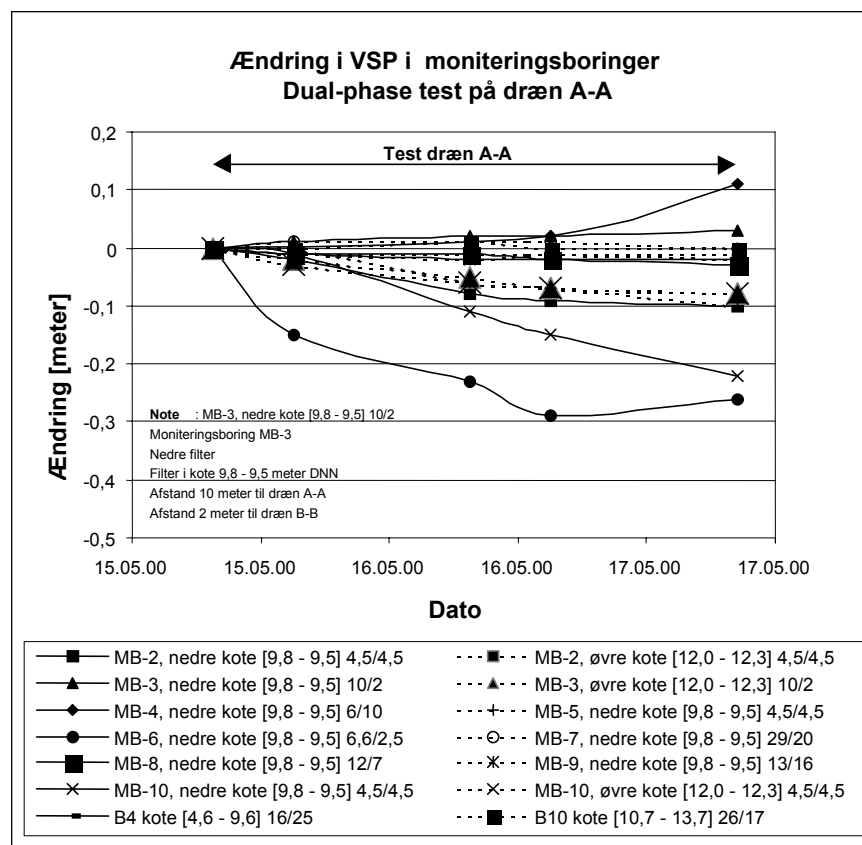
Overordnet kan de påviste sænkingsforløb i figur 4.3 dog inddeles i følgende 3 typer:

Den første type (A) er karakteriseret ved en afsenkning på ca. 0,25-0,5 m i løbet af det første døgn. Denne type er repræsenteret ved MB-4 og MB-5. Herefter ses i MB-4 et stabilt trykniveau i den resterende testperiode, hvilket vurderes betinget af dræningseffekten fra tidligere omtalte ø500 mm dræn. Forholdene ved MB-5 vurderes derimod at repræsentere et filter, der har direkte hydraulisk kontakt til en eller flere af de kunstigt etablerede sprækker langs dræn A-A.

Type (B) udviser ændringer i form af et øget trykniveau på 0,02-0,2 m, som observeret i MB-2, MB-3 og MB-9. Grundlæggende er de registrerede forhold for disse boringer identiske med de påviste ved den første test, jf. figur

4.4. Hverken MB-3 eller MB-9 vurderes, via kunstige sprækker, at stå i direkte hydraulisk kontakt med dræn A-A. Forholdene registreret i MB-2 skønnes væsentligst styret af, at behandlingsanlægget først blev stoppet 4-5 timer før opstart af DFT, hvorved de målte trykniveauer således repræsenterer retableringskurven for et filter, der ligger uden for påvirkningsradius for dræn A-A.

Type (C) udviser ingen signifikant ændring i trykniveauet og repræsenteres ved MB-6 og MB-8.



NOTE:

[xx,yy]. Filtersætning, m

xx/xx: Horisontale afstand til dræn A-A/B-B, m

Figur 4.4 Vandspejlsændring ifht. startniveau målt i forbindelse med 1. Dual-phase Test på dræn A-A. (udført maj 2000, /ref. 4/)

4.2.3 Dræn B-B

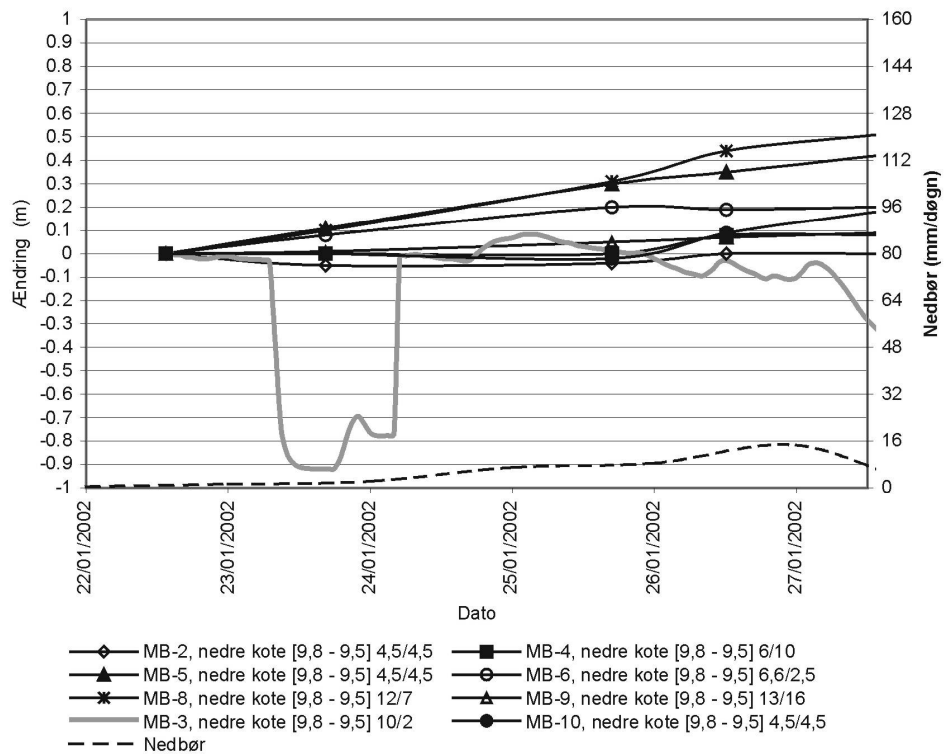
Den seneste DPT er afviklet i perioden d. 22.- 28. januar 2002. På baggrund af denne samt tidligere udførte test af dræn B-B, er fastsat de i tabel 4.2 anførte nøgleparametre.

Dræn B-B (længde = 35 m)	Hydraulisk kapacitet		Luftflow		Vakuum [bar]
	[m ³ /døgn]	[m ³ /lbn filter/døgn]	[m ³ /døgn]	[m ³ /lbn filter/døgn]	
1. test, maj 2000 (0 mm regn)	1,25	0,036	570-720	16,3-20,6	0,55-0,60
2. test, jan. 2002 (45,2 mm regn)	2,50	0,072	0-144	0-4,1	0,50-0,70

Tabel 4.2 Nøgleparametre for DPT test på dræn B-B

Af tabel 4.2 fremgår, at den hydrauliske kapacitet ved 2. test er ca. dobbelt så stor som ved den 1. test, hvilket overvejende vurderes betinget af den megen nedbør (45,2 mm), som faldt i den seneste testperiode. Forskellen i målte luftflow skønnes igen begrundet i, at luftskruen har været indstillet forskelligt ved de 2 tests.

I alt 5 pejlerunder er gennemført i MB-2 samt MB-4 til MB-10, mens trykniveauet i MB-3 er logget. Resultatet er vist i figur 4.5, mens pejledata opnået i forbindelse med den første test af dræn B-B er gengivet ukommenteret i figur 4.6.

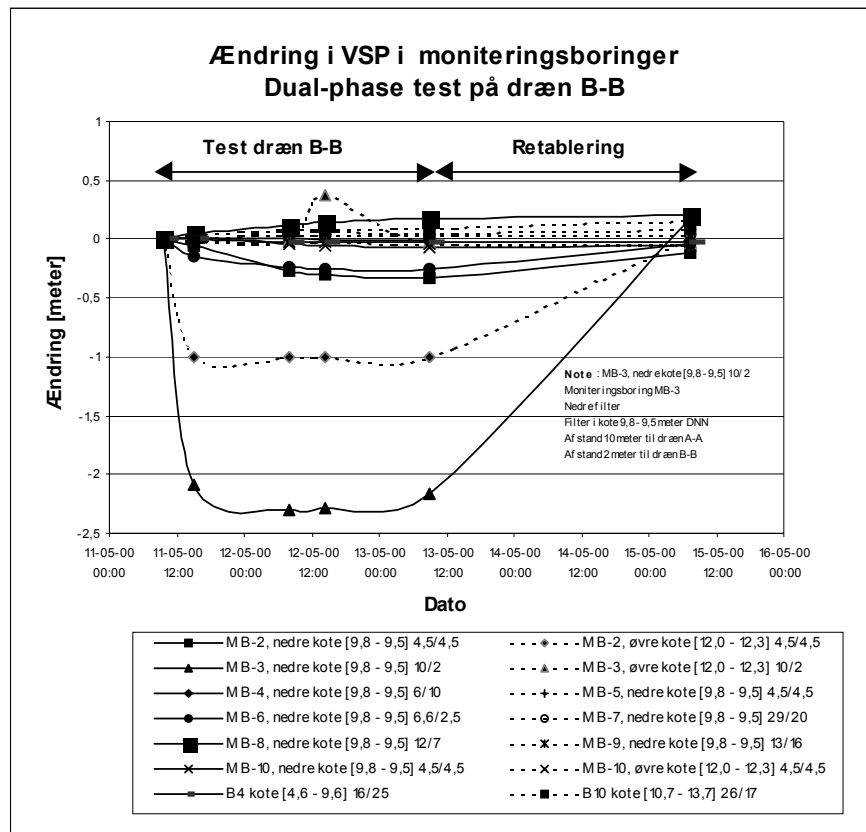


NOTE:

[xx,yy]: Filtersætning, m

xx/xx : Horisontale afstand til dræn A-A/B-B,m

Figur 4.5 Vandspejlsændring ifht. startniveau målt i forbindelse med 2. Dual-PhaseTest på dræn B-B (udført januar 2002)



NOTE:

[xx,yy]: Filtersætning, m

xx/xx: Horisontale afstand til dræn A-A/B-B, m

Figur 4.6 Vandspejlsændring ifht. startniveau målt i forbindelse med 1. Dual-Phase Test på dræn B-B (udført maj 2000, /ref. 4/)

De påviste sænkingsforløb, gengivet i figur 4.5, kan overordnet inddeles i følgende 2 typer:

Den første type (A) er karakteriseret ved en hurtig afsænkning på ca. 0,05–0,9 m i løbet af det første døgn og herfra ved et stabilt niveau frem til 3. testdøgn, hvor en større nedbørshændelse indtræder og trykniveauet stiger. Denne type er repræsenteret ved MB-3 og vurderes at afspejle forholdene i et filter, der har direkte kontakt til en eller flere af de kunstigt etablerede sprækker langs dræn B-B.

Årsagen til de fluktuierende vandspejlsniveauer registreret i MB-3 skønnes betinget af, at der i forbindelse med nedbøren drænes et ekstra vandbidrag, grundet sprækkekontakten mod MB-3; et bidrag, som drænen ikke kan aflede i samme takt, som dette tilledes.

Den anden type (B) udviser ændringer i form af et overvejende øget trykniveau på 0,1–0,5 m og omfatter de øvrige monitoringsboringer, med undtagelse af MB-4 og MB-8. Den påviste max. stigning målt i MB-8 (ca. 0,5 m) vurderes ikke signifikant i forhold til den naturlige vandspejlsvariation (jf. effekten påvist i figur 4.3), og det kan generelt konstateres, at stigningen i trykniveauet i disse boringer øges som funktion af voksende horisontal afstand til dræn B-B. Den forholdsvis beskedne stigning i trykniveauet i MB-10, vurderes at indikere, at også denne boring står i hydraulisk kontakt med dræn B-B. De moderate vandspejlshævninger registreret i MB-4 og MB-8 kan skyldes det forhold, at der ikke blev udført de påtænkte frakturer i drænenes

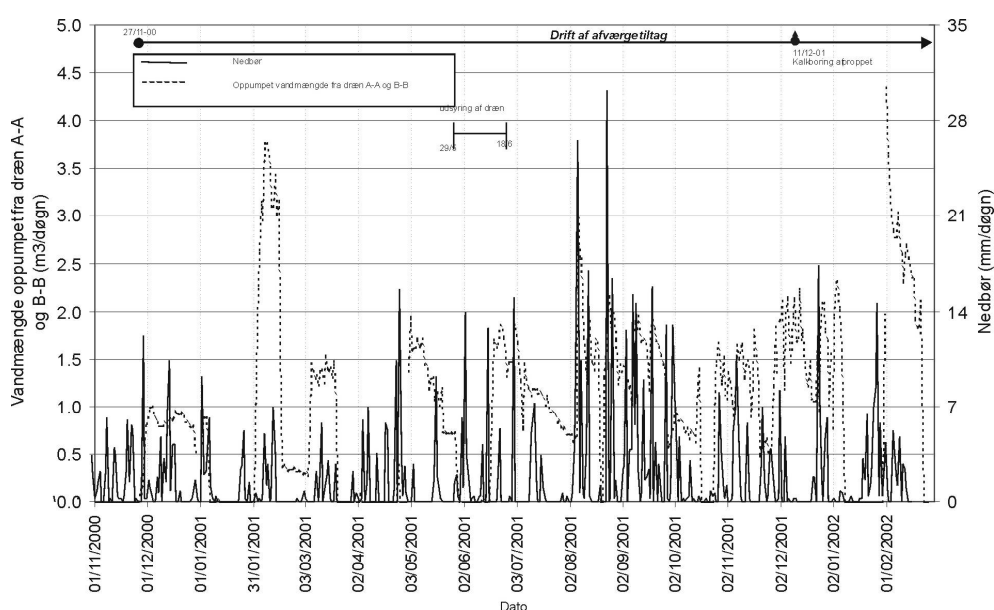
nordlige ende, kombineret med det forhold, at disse boringer vurderes placeret i periferien af drænenes forventede påvirkningsområde, jf. figur 2.1.

Testresultaterne indikerer dog generelt, at MB-2, MB-3, MB-6 og MB-10 har hydraulisk kontakt til dræn B-B, mens data for MB-5 hverken be- eller afkræfter dette forhold. Det overordnede billede er i god overensstemmelse med observationer fra den 1. DPT, jf. figur 4.6, og dokumenterer, at påvirkningsradius for dræn B-B fortsat er min. 2-4,5 m, regnet vinkelret ud fra dræn B-B.

5 Drift af afværgetiltaget

5.1 Oppumpede vandmængder

Fra driftsperiodens opstart d. 27.11.2000 og frem til medio februar 2002 er der på behandlingsanlægget udført on-line registrering af den totale vandmængde oppumpet fra dræn A-A og B-B. Resultatet heraf samt nedbørsdata for perioden er præsenteret i figur 5.1, samt i opskaleret version i bilag D. Nedbørsdata er rekvireret fra DMI's målestation, placeret 5 km fra lokaliteten.



Figur 5.1 Oppumpede vandmængder fra afværge-dræne samt registreret nedbør

En detaljeret opgørelse af de afdrænedede vandmængder m.v. er sammenfattet i tabel 5.1. Heraf fremgår bl.a., at der i driftsperioden er afdrænet ca. 400 m^3 forurenede vand fra de 2 dræn ved en gennemsnitlig ydelse på i alt ca. $1,30 \text{ m}^3$ pr. døgn.

Sammenholdes denne gennemsnitsydelse med ydelserne opnået ved de udførte DPT på dræne, ses, at der i den kontinuerlige driftssituation reelt kun afdrænes ca. 25–50 % af den mængde som opnås ved DPT, jf. tabel 4.1 og 4.2. (Flow pr. dræn blev ved DPT fundet til min. $1,25 \text{ m}^3/\text{døgn}$ henholdsvis. max $2,78 \text{ m}^3/\text{døgn}$). Dette forhold vurderes væsentligst betinget af, at trykudviklingen ud i selve matrixen omkring dræne endnu ikke er fuldt udviklet i den kontinuerlige driftssituation, mens stabile trykforhold allerede efter 7 døgn DPT kunne påvises i borer, der skønnes at stå i direkte hydraulisk kontakt med dræne via sprækkesystemer o.a. højpermeable zoner i morænen.

Driftsperiode	Antal døgn	Nedbør [mm] a)	Total oppumpet vandmængde fra dræn A-A og dræn B-B			Totalt oppumpet fra begge dræn i aktuelle perioder [m ³]
			Gns. [m ³ /døgn]	Min. [m ³ /døgn]	Max. [m ³ /døgn]	
27/11-00 → 6/1-01	40	80	0,75	0,08	1,0	~ 30
7/1-01 → 1/2-01	25	13,6	Stop af anlæg pga. fejl i datatransmission til amtets hovedstation			0
2/2-01 → 20/3-01	46	40,8	1,52	0,3	3,8	~ 70
21/3-01 → 30/4-01	40	65,6	Stop af anlæg pga. fejl i datatransmission til amtets hovedstation			0
1/5-01 → 29/5-01	29	19,8	1,21	0,7	1,9	~ 35
30/5-01 → 17/6-01	19	45,2	Stop af anlæg pga. udsyring af dræn samt udskiftning af råvandspumpe (P1)			0
18/6-01 → 16/10-01	120	322,2	1,30	0,6	2,6	~ 155
17/10-01 → 23/10-01	6	0,1	Stop af anlæg pga. udskiftning af kompressor			0
24/10-01 → 27/11-01	35	68,6	1,46	0,5	2,4	~ 50
28/11-01 → 7/1-02	41	58,6	1,46	0,5	2,4	~ 60
8/1-02 → 31/1-02	24	11,2	Stop af anlæg pga. DPT af dræn A-A og B-B			0
I 1. driftsår : 27/11-00 → 27/11-01	270	655,9	1,26 b)	0,44 b)	2,34 b)	~ 340
I den samlede driftsperiode: 27/11-00 → 31/1-02	311	725,7	1,29 b)	0,45 b)	2,35 b)	~ 400

NOTE:

Kalkboring under 'hot-spot' blev afproppet d. 11.12.2001

a) Registreret ved DMI's målestation placeret ca. 5 km fra lokaliteten

b) Gennemsnitsværdi for aktuelle periode er angivet

Tabel 5.1 Oppumpede vandmængder fra afværgedrænene

Parallelt med on-line flow registreringen af de totalt oppumpede vandmængder, er der udført manuel aflæsning af flowmåleren tilkoblet dræn A-A. Resultatet heraf viser, at der i driftsperioden er afdrænet i alt ca. 240 m³ via dræn A.-A, svarende til, at indpumpningen fra dræn A-A og B-B sker i forholdet 60% : 40%.

Erfaringsmæssigt vil der, afhængig af arealdisponeringen på lokaliteten, infiltrere 50-200 mm årligt til grundvandszonen. Inden for det 600-800 m² store påvirknings- område udgøres ca. 300 m² af beboelse med tilhørende betonrampe, mens det resterende areal tilnærmelsesvist er ligeligt disponeret mellem stabilgrus og have-/græsarealer. Den gennemsnitlige årlige infiltration inden for påvirkningsområdet skønnes herved til ca. 50-100 mm pr. år. Teoretisk infiltreres således 15-50 m³ nedbør årligt til grundvandszonen. Sammenholdes dette med den faktisk oppumpede drænmængde, i alt ca. 340 m³ pr. år, svarer dette til, at 5-15 % af det afdræned vand hidrører fra infiltrationsbidraget, mens den resterende del afdrænes horisontalt, fra siderne eller fra den dybere del af morænen. Der henvises til tidligere afsnit 3.2.2, hvor der mere uddybende er redegjort for forhold vedrørende strømningsforholdene til drænene.

Det samlede jordvolumen, hvorfra der oprenses, skønnes til ca. 3.-4.000 m³ (600 - 800 m² x 5,0 m dybde). Med en porøsitet af jordmatricen på 0,3, skønnes der at være 900-1200 m³ porevand i matricen, svarende til, at der igennem det første driftsår er gennemført ca. 0,25-0,4 porevolumen udskiftning (340 m³ : 900 -1200 m³).

5.2 Opnået massefjernelse

Den resulterende stofkoncentration for primære forureningskomponenter samt chlorid oppumpet fra dræn A-A og B-B er vist i tabel 5.2.

Moniteringsrunde nr.	1 a)	2	3	4	5	6
Dato og år	26.06. 00	7. 12. 00	1303. 01	20.08. 01	3. 10. 01	4. 12. 01
Primær forureningskomponenter						
BTEX [µg/l]	2.174	883	900	1.293	i.a.	i.a.
Chlorbenzen [µg/l]	16.000	5.300	4.200	170	4.000	i.a.
Chlornitrobenzener [µg/l]	120.000	33.000	34.000	9.400	58.000	i.a.
Dichlornitrobenzener [µg/l]	1.200	510	160	340	1,8	i.a.
Aniliner [µg/l]	17.000	8.700	5.200	1.884	4.760	i.a.
Ammoniak + ammonium [µg/l]	17.000	35.000	31.000	46.000	5.400	i.a.
Sum af primærforureningskomponenter [mg/l]	~ 75.000	~ 85.000	~ 75.000	~ 60.000	~ 72.500	-
Øvrige forureningskomponenter						
Chlorid (filtreret) [mg/l]	2.800	3.100	3.400	820	990	-

NOTE:

a) Runde 1 er gennemført ca. 5 måneder før afværgetiltagets opstart d. 27.11.2000

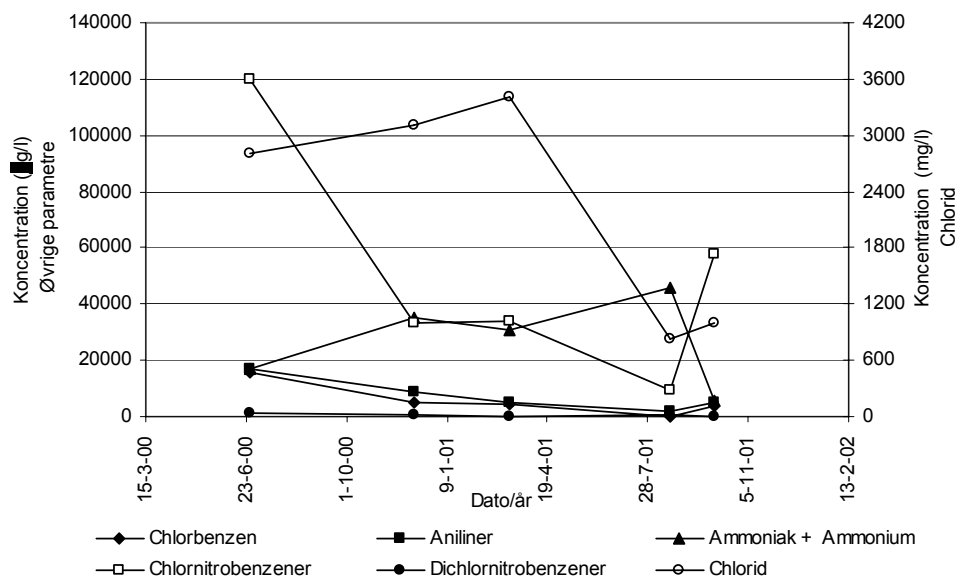
i.a. Ikke analyseret

- Ikke målt

Tabel 5.2 Koncentrationen i grundvand til ledt ved indløb til behandlingsanlægget.

Resultatet fra 1. monitoringsrunde repræsenterer forureningsniveauet afdrænet fra morænen ca. 5 måneder før afværgetiltaget blev sat i permanent drift, mens de øvrige data afspejler udviklingen i selve driftsperioden.

Som det fremgår af tabel 5.2 samt figur 5.2, er der i driftsperioden sket et næsten entydigt fald i koncentrationsniveauet afdrænet fra morænen. Dog afviger udviklingen i chlornitrobenzener markant fra denne tendens, et forhold som ikke umiddelbart kan forklares.



Figur 5.2 Koncentrationen i råvand til ledt ved indløb til behandlingsanlægget.

I tabel 5.3 er det på baggrund af analysedataene, indhentet ved monitoringsrunde 2 til 5, jf. tabel 5.2, søgt at opstille et estimat for den opnåede massefjernelse i vandfasen.

Forureningskomponent	Vejl. gns. koncentration [µg/l]	Vejl. gns. massefjernelse [g/døgn] 3)
BTEX	1.000	~ 1,3
Chlorbenzener	4.500 1)	~ 6,0
Chlornitrobenzener	20.000	~ 25
Dichlornitrobenzener	350 2)	~ 0,5
Aniliner	5.000	~ 6,5
Ammonium/ammoniak	30.000	~ 40
Sum, primær forureningskomponent	~ 61.000	~ 80
Total massefjernelse i perioden 27.11.00 til 31.1-02 (svarende til 311 effektive driftsdøgn) [kg]		25

NOTE:

- 1) Data fra 4. runde, jf. tabel 5.2, er udeladt ved fastlæggelse af anførte værdi
- 2) Data fra 5. runde, jf. tabel 5.2, er udeladt ved fastlæggelse af anførte værdi
- 3) Beregninger er vedlagt i bilag F

Tabel 5.3 Estimeret massefjernelse for primære forureningskomponenter oprenset fra morænen

Da der ikke er udført analyser, som dokumenterer forureningsniveauet i den luft, som stripes i forbindelse med råvandets passage af vakumtanken, er koncentrationsniveauet oprenset på luftfasen fastlagt på baggrund af kendskabet til følgende parametre:

- Henrys konstanter
- koncentrationsniveauet på vandfasen

- Årlige luftflow

I bilag F er detailberegning samt forudsætninger herfor opstillet. Der er i bilaget anført Henrys konstanter for følgende 3 anilinforbindelser: Anilin, chloranilin og dichloranilin. Disse 3 anilinforbindelser skønnes ved indløb til behandlings-anlægget at udgøre henholdsvis 6 %, 4 % og 90 % af den samlede tilledte mængde aniliner. Anvendelsen af Henrys konstanter forudsætter generelt, at der er ligevægt i det betragtede system – hvilket dog vurderes tvivlsomt i den aktuelle sammenhæng, hvorfor anvendelsen af de i bilag F anførte Henrys konstanter generelt skal tages med forbehold.

Det årlige luftflow på behandlingsanlægget er estimeret til ca. 35 m³, idet blæseren (B1, jf. bilag A) har kørt i 7 timer ved en ydelse på ca. 5 m³/time. Ud fra disse betragtninger skønnes der fjernet i størrelsesordenen ca. 25 g primærforureningskomponenter på luftfasen, svarende til, at ca. 1 promille af den tilledte forurening er oprenset på luftfasen.

Totalt er der i driftsperioden således oprenset ca. 25 kg primærforureningskomponenter på vand- og luftfasen samt ca. 800 kg chlorid (gns. chloridconc. ca. 2 g/l) fra vandfasen.

Den gennemsnitlige fjernelsesrate, set over de ca. 311 effektive driftsdøgn, har i driftsperioden således ligget på ca. 0,08 kg/døgn, excl. chloridbidraget.

Ved at sammenholde koncentrationsniveauer målt ved 2. og 5. runde, jf. tabel 5.4, kan det samtidig konstateres, at massefluxen for primærforureningskomponenterne på vandfasen er faldet fra ca. 0,1 kg/døgn til ca. 0,03 kg/døgn, mens der på det foreliggende grundlag ikke kan vurderes nærmere med hensyn til ændringer i massefluxen på luftfasen.

Moniteringsrunde nr.	2 ²⁾	5 ³⁾
Dato og år	7.12.00	3.10.01
Forureningskomponent	Konc. [µg/l]	
BTEX ¹⁾	883	1.293
Chlorbenzen	5.300	4.000
Chlornitrobenzen	33.000	5.800
Dichlornitrobenzen	510	1,8
Anilin	8.700	4.760
Ammonium/ammoniak	35.000	5.400
Total koncentration målt på vandfasen [g/l]	0,08	0,02
Masseflux på vandfasen [kg/døgn]	~0,1	~ 0,03

NOTE:

- 1) Værdier for 4. runde er anvendt
- 2) Målt 10 døgn efter opstart
- 3) Målt 310 døgn efter opstart

Tabel 5.4 Estimeret ændring i masseflux for primær forureningskomponenter oprenset på vandfasen

5.3 Hittidige driftserfaringer

5.3.1 Afværge dræn

I driftsperioden er der oppumpet gennemsnitligt ca. 1,3 m³/døgn mod forventet 3,5-7,0 m³ pr. døgn, jf. /ref. 5, afsnit 3.4.2./.

I et forsøg på at øge den hydrauliske effekt af afværgetiltaget blev der i perioden 29.5-01-18.6.01 gennemført udsyring af drænene iht. proceduren beskrevet i bilag E. Samtidig med udsyringen blev råvandspumpen (vakumpumpe P1, jf. bilag A) udskiftet. Som det fremgår af tabel 5.1, vurderes ingen af disse tiltag at have haft nogen særlig positiv hydraulisk effekt, hvilket kunne indikere, at der forud for udsyringen reelt ikke var sket nogen nævneværdig udfældning af metaller til drænene og/eller at biofilmforekomsten i drænene er begrænset.

Baseret på de hittidige driftserfaringer, vurderes det for tidligt at vurdere, hvorvidt den etablerede drænløsning, på trods af den reducerede hydrauliske kapacitet, har haft en tilfredsstillende hydraulisk effekt, endsige om 3-5 vandrette dræn etableret i ufraktureret moræne ville have sikret et mere optimalt afværgetiltag.

Førstnævnte forhold begrundes med, at der først medio december 2001, dvs. godt et år efter afværgetiltagets opstart, blev stoppet for indpumpning fra kalkboringen placeret direkte under 'hot-spot'. Den fortsatte afsenkning af potentialet i det primære magasin har herved bevirket, at kravet til afsenkningen i den øvre del af morænen har været større end antaget i designfasen.

Pejledata for boringer, der forventes påvirket af afværgetiltaget viser dog, med undtagelse af MB-4 og MB-8, at den tilsigtede hydrauliske effekt vurderes opnået inden for de sidste ca. 6 måneder af aktuelle driftsperiode, jf. afsnit 3.2.2.

Disse observationer indikerer, at der selv ved den reducerede hydrauliske kapacitet for de etablerede dræn kan være opnået den tilsigtede effekt i systemet – dvs. at der er skabt en nedadrettet gradient mellem nedre og øvre del af morænen, og formentligt også imellem den nedre del af morænen og det primære magasin.

Sidstnævnte forhold kan hverken be- eller afkræftes, idet det ikke har været muligt at gennemføre Dual Phase Test på et identisk opbygget referencedræn, etableret i ufraktureret og direkte sammenlignelig geologi.

5.3.2 Behandlingsanlæg

I driftsperioden er der afdrænet en væsentlig mindre vandmængde med et markant højere forureningsindhold end det, der var fastsat i designgrundlaget.

Specielt fjernelsen af det ekstreme jernindhold i råvandet (gns. konc. ca. 50 mg Fe(II)/l, jf. bilag C) har givet anledning til jernudfældning i bl.a. råvandspumpen og kulfiltre. Sidstnævnte er sket, idet trykfilteret, placeret umiddelbart foran kulfiltrene, ikke har haft en tilstrækkelig kapacitet til at tilbageholde den tilledte jernmængde. Konsekvensen heraf har været, at kullenes adsorbtionsevne over for primærforureningskomponenterne har været reduceret og derfor krævet hyppigere kulskifte. Mod driftsperiodens

afslutning aftager jernindholdet dog væsentligt, jf. bilag C, en tendens der naturligt vil bidrage til at reducere omtalte driftsforstyrrelser.

Desuden har der været problemer med at overholde udledningskravet for zink (0,11 mg/l) og cadmium (0,005 mg/l), /ref. 6/. På trods af anlæggets komplekse procesopbygning, jf. bilag A, henholdsvis den komplekse råvandskvalitet er øvrige udledningskrav for anlægget dog overholdt.

I driftsperioden har der været forskellige driftsstop, væsentligts grundet udskiftning af div. komponenter, ligesom der i indkøringsperioden var betydelige problemer med datatransmission mellem anlæggets understation og Amtets hovedstation, samt problemer med indpumpning af større luftmængder til anlægget.

Der pågår p.t. en driftsoptimering af anlægget, hvor fokus er rettet mod optimering af jernfjernelsen før tilledning til kulfiltrene hhv. nedbringelse af zink og cadmium koncentrationen i udløbet. Ligeledes søges energiforbruget reduceret.

5.3.3 Driftsøkonomi

I det første driftsår er der afholdt udgifter på ca. 325.000 kr., excl. moms samt rådgiverhonorar. Den vejledende udgiftsfordeling er vist i tabel 5.5.

Aktivitet	Estimeret driftsudgift (kr., excl. moms)
Tilsyn og monitoring i dræn, boringer og på behandlingsanlæg	175.000 ¹⁾
Udskiftning af defekte komponenter	30.000
Kulskifte (1 stk.)	25.000
Påfyldning af filtermateriale til nitrifikationstank (1 stk.)	15.000
Udsyring af dræn (1 stk.)	65.000
El og telefon	15.000 ²⁾
Samlet estimeret driftsudgift, 1. driftsår	325.000

NOTE:

- 1) Incl. analyseudgifter for vandprøver udtaget fra dræn og boringer (ca. kr. 85.000) henholdsvis fra behandlingsanlægget (ca. kr. 30.000)
- 2) Fordelt med kr. 13.500 til el og kr. 1.500 til telefon.

Tabel 5.5 Estimeret driftsudgift for 1. driftsår anført i prisniveau 2001.

Sammenfattende kan det heraf konkluderes, at oprensning af 1 m³ forurennet grundvand til dato har kostet ca. kr. 1.000, excl. moms, idet der i alt er oppumpet ca. 340 m³ i aktuelle periode.

Driftsudgiften forbundet med alternativt at have etableret et afværgetiltag omfattende 3-5 almindelige dræn med tilhørende behandlingsanlæg vurderes umiddelbart at være blevet dyrere, set i forhold til udgiften for den faktisk implementerede løsning.

Dette begrundes grundlæggende med, at installation af ekstra dræn vil kræve yderligere udsyring (merudgift på ca. kr. 20.000 pr. dræn) samt ekstra analyseudgifter (merudgift på ca. kr. 15.000 pr. dræn, forudsat der udføres monitoring i henhold til det aktuelt gældende omfang). Forudsat at installation af 3-5 almindelige dræn desuden ville have medført en øget hydraulisk og stofmæssig belastning af behandlingsanlægget, ville dette resultere i et årligt

merforbrug af el, kul samt filtermateriale (nitrifikationstanken), som skønnes til kr. 5.- 10.000 pr. dræn.

Et estimat for merudgiften pr. ekstra etableret dræn skønnes således til kr. 40.- 45.000 pr. år, excl. moms. Hvorvidt denne merudgift reelt ville kunne opvejes af en afkortet driftstid, kan på det foreliggende grundlag ikke vurderes nærmere. Dog vurderes, alt andet lige, at en eventuel øget hydraulisk kapacitet af drænsystemet vil medføre en vis reduktion af den samlede driftsperiode.

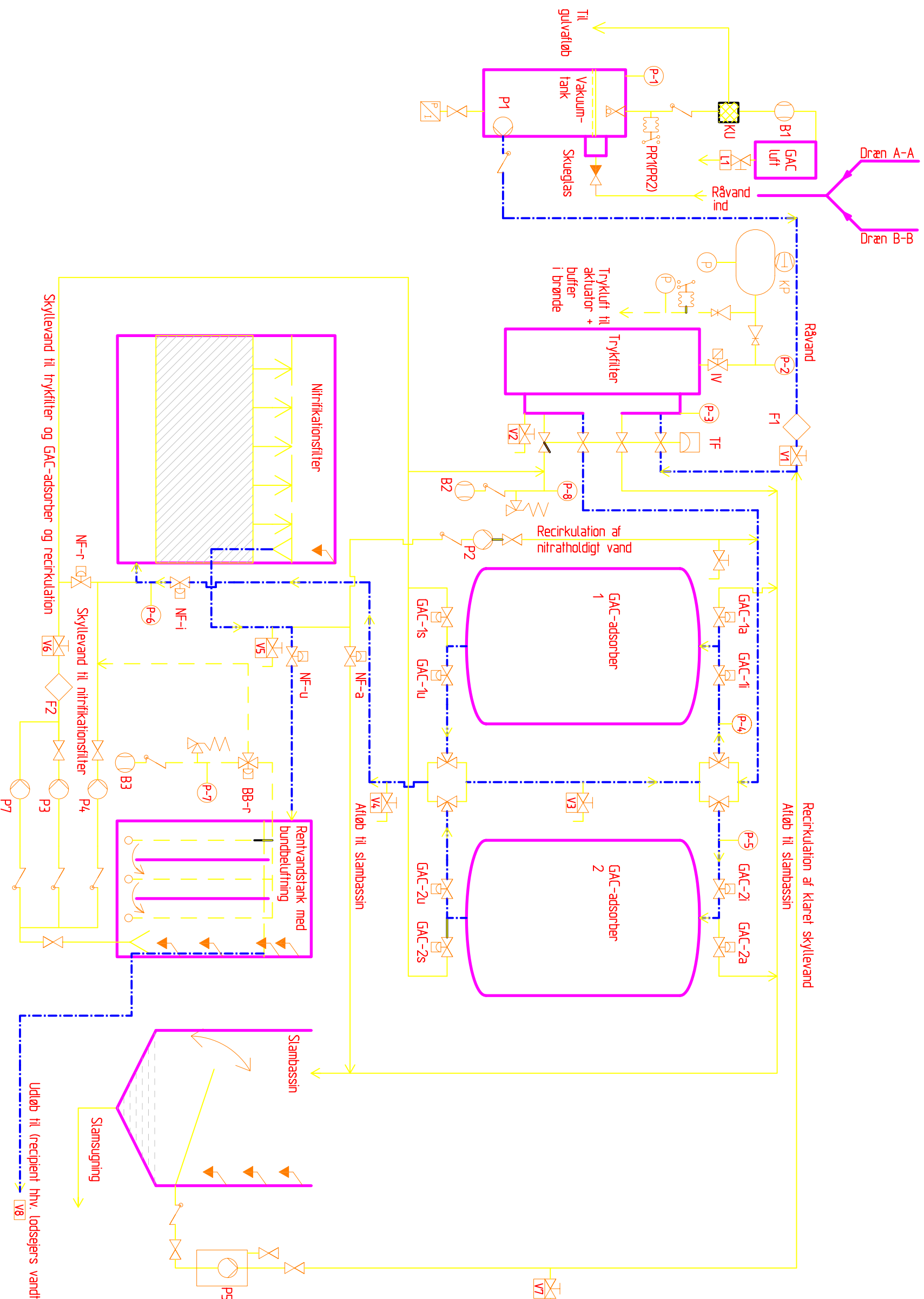
Før afværgetiltagets opstart blev det vurderet, at hovedparten af forureningen inden for 'hot spot' området skulle fjernes på opløst form (væske og gas), idet det i forbindelse med tidligere udførte test ikke kunne dokumenteres muligt at mobilisere fri fase DNAPL. Tidshorisonten for oprensningen blev dengang skønnet til mindst 5-50 år, måske mere /ref. 5/. Sammenholdes dette skøn med resultaterne fra det første driftsår, vurderes det endnu for tidligt at revurdere estimatet på den forventede restdriftstid.

6 Referencer

- /ref. 1/ : Storstrøms Amt. Registreringsundersøgelse. Historik og forslag til undersøgelsesprogram. Depot nr. 373-92 galvaniseringsanstalten GESA, Slagelsevej 190, Næstved. 1996.
- /ref. 2/ : Storstrøms Amt. Afgrænsende forureningsundersøgelse på Slagelsevej 190, Næstved. Kampsax Geodan, december 1997.
- /ref. 3/ : Storstrøms Amt. Depot nr. 373-92 Slagelsevej 190, Næstved. Supplerende undersøgelser og skitsering af mulige afværgeforanstaltninger. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. December 1998.
- /ref. 4/ : Miljøprojekt nr. 699. Hydraulisk frakturering udført ved vandret boreteknik - Design og anlæg. Miljøstyrelsen 2002.
- /ref. 5/ : Supplerende undersøgelser og skitsering af mulige afværgeforanstaltninger. Afrapportering af fase 1-3. December 1998. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S.
- /ref. 6/ : Tilladelse til udledning af rensset grundvand i forbindelse med afværgepumpning fra depot på Slagelsevej 190, Næstved Kommune. Storstrøms Amt, Vandmiljøkontoret. Dateret 25. september 2000.
- /ref. 7/ : Optimering af behandlingsanlæg. Notat dateret 18.oktober 2002. Aktor Innovation. "Foreløbigt tryk"
- /ref. 8/ : Verschueren, 1996. Handbook of Environmental Experimental Data on Organic Chemicals, 3rd Edition. Von Nostrand Reinhold, New York.
- /ref. 9/ : Indsatskort for kemikalieuheld. www.kemikalieberedskab.dk.
- /ref. 10/ : Reference Handbook. Soil Vapor Extraction Technology. EPA/540/2-91/003, 1991.
- /ref. 11/ : Soil Screening Guidance. EPA /540/R-95/128. July 1996. <http://www.epa.gov/superfund/resources/soil/toc.htm#p7>

Bilag A

Procesdiagram



- SIGNATUR:**
- Pumpe
 - Blæser
 - Kompressor
 - Prøvetane med nummerering (vand)
 - Prøvetane med nummerering (luft)
 - Kontravenitil
 - Sikkerhedsventil
 - Ventil med pneumatiske aktuator
 - Magnetventil
 - Luftudlader
 - reduktionsventil
 - Flowmåler
 - Manometer med nummerering
 - Pressostat
 - Niveauføler
 - Niveauføler
 - Kondensudsukiller
 - Ventil
 - Kontravenitil
 - Flow gennem anlæg v. normal drift

Skyllevand til trykfilter og GAC-adsorber og recirkulation

Skyllevand til nitritifikationsfilter

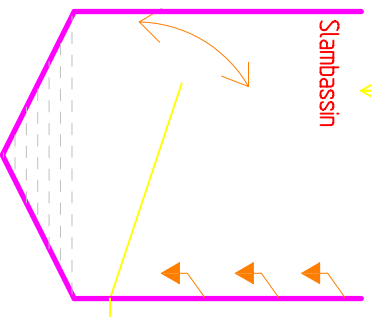
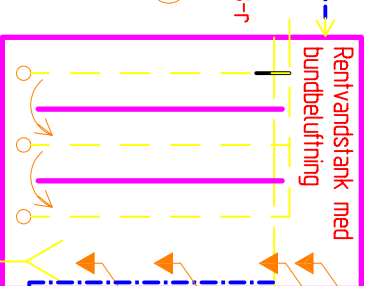
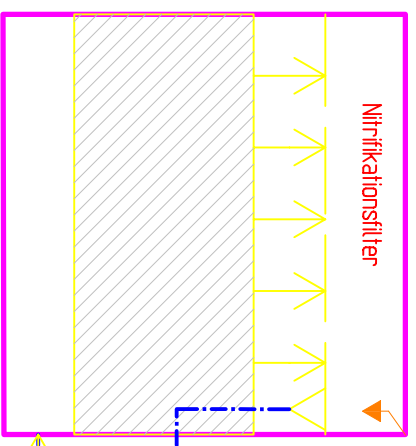
Skyllevand til nitritifikationsfilter

Udløb til recipient hhv. lodsejers vandtank (P6)

Dræn A-A

Dræn B-B

Nitritifikationsfilter



Bilag B
Pejledata

Pejledata for udvalgte boringer beliggende uden for det forventede påvirkningsområde (Pejledata er plottet på bilag B2)																
Boring	Dato år, kl. (9.8 - 9.5)	13-04-1999 10:20	22-04-1999 14:00	07-05-1999 13:00	27-05-1999 10:30	13-03-2001 10:00	21-05-2001 10:00	03-07-2001 10:00	31-08-2001 10:00	25-09-2001 10:00	08-11-2001 10:00	03-12-2001 10:00	07-01-2002 10:00	09-04-2002 10:00		
MB-7, nedre	Filersætning, kote (m) Afstand (m) *	13,99	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86	12,86		
B4	(4,6 - 9,6)	14,24	14,27	14,27	14,27	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26	13,26		
B10	(10,7 - 13,7)	14,15	14,15	14,03	14,03	13,15	13,41	13,14	13,08	13,03	13,29	13,73	13,56	13,39		
Pejledata for boringer beliggende inden for det forventede påvirkningsområde (Pejledata er plottet i bilag B3)																
Boring	Dato og år	13-04-1999	22-04-1999	07-05-1999	09-05-2000	26-06-2000	07-12-2000	13-03-2001	21-05-2001	03-07-2001	31-08-2001	25-09-2001	08-11-2001	03-12-2001	07-01-2002	09-04-2002
MB-1, nedre	Filersætning, kote (m) Afstand (m) *	13,61	12,94	12,94	12,94	12,94	12,94	12,94	12,94	12,94	12,94	12,94	12,94	12,94	12,94	12,94
MB-2, nedre	(9,8 - 9,5)	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14	13,14
MB-4, nedre	(9,8 - 9,5)	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39	13,39
MB-5, nedre	(9,8 - 9,5)	13,01	12,97	12,97	12,97	12,97	12,97	12,97	12,97	12,97	12,97	12,97	12,97	12,97	12,97	12,97
MB-6, nedre	(9,8 - 9,5)	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72	12,72
MB-8, nedre	(9,8 - 9,5)	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16	13,16
MB-9, nedre	(9,8 - 9,5)	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60	13,60
MB-10, nedre	(9,8 - 9,5)	13,79	13,79	13,79	13,79	13,79	13,79	13,79	13,79	13,79	13,79	13,79	13,79	13,79	13,79	13,79
B17, øvre	(6,9-8,4)	13,83	13,83	13,83	13,83	13,83	13,83	13,83	13,83	13,83	13,83	13,83	13,83	13,83	13,83	13,83
B17, mellem	(6,5-6,8)	13,88	13,88	13,88	13,88	13,88	13,88	13,88	13,88	13,88	13,88	13,88	13,88	13,88	13,88	13,88
B17, nedre	(6-4)	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86	13,86

Note: * Til dren A-A/B-B

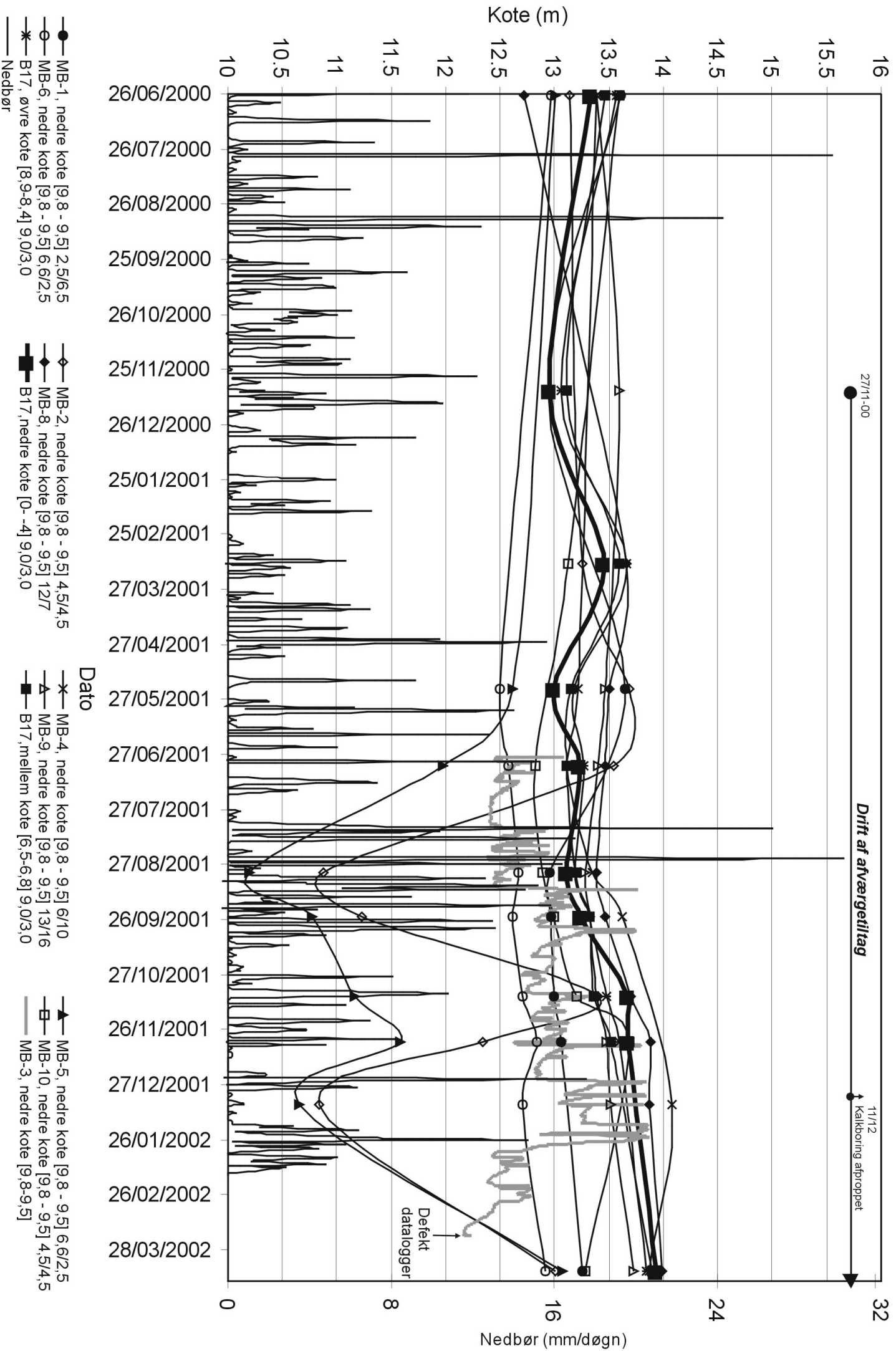
DUAL PHASE TEST FOR DRÆN A-A - PEJLEDATA I UDVALGTE MONITERINGSBORINGER

Boring	Dato, år, kl. Filtersætning, kote	07-01-2002 13:15	08-01-2002 16:15	09-01-2002 11:35	10-01-2002 11:55	11-01-2002 15:40	12-01-2002 12:55	13-01-2002 13:45	14-01-2002 12:30
		Kote (m)	Kote (m)	Kote (m)	Kote (m)	Kote (m)	Kote (m)	Kote (m)	Kote (m)
MB-2, nedre	[9,8 - 9,5]	10,84	11,69	12,09	12,37	12,56	12,68	12,76	12,83
MB-3, nedre	[9,8 - 9,5]								
MB-4, nedre	[9,8 - 9,5]	14,08	13,78	13,75	13,74	13,73	13,73	13,71	13,72
MB-5, nedre	[9,8 - 9,5]	10,66	10,15	11,45	11,75	11,77	11,87	11,97	12,03
MB-6, nedre	[9,8 - 9,5]	12,71	12,79	12,79	12,79	12,72	12,71	12,7	12,69
MB-7, nedre	[9,8 - 9,5]	13,54	13,55	13,56	13,56	13,55	13,55	13,55	13,54
MB-8, nedre	[9,8 - 9,5]	13,87	13,89	13,89	13,88	13,86	13,84	13,83	13,79
MB-9, nedre	[9,8 - 9,5]	13,51	13,52	13,59	13,69	13,68	13,67		13,66
MB-10, nedre	[9,8 - 9,5]						12,94		
B4	[4,6 - 9,6]	13,22	13,5	13,49	13,49	13,5	13,49	13,49	13,52
B10	[10,7 - 13,7]	13,63	13,51	13,49	13,54	13,54	13,53	13,53	13,66

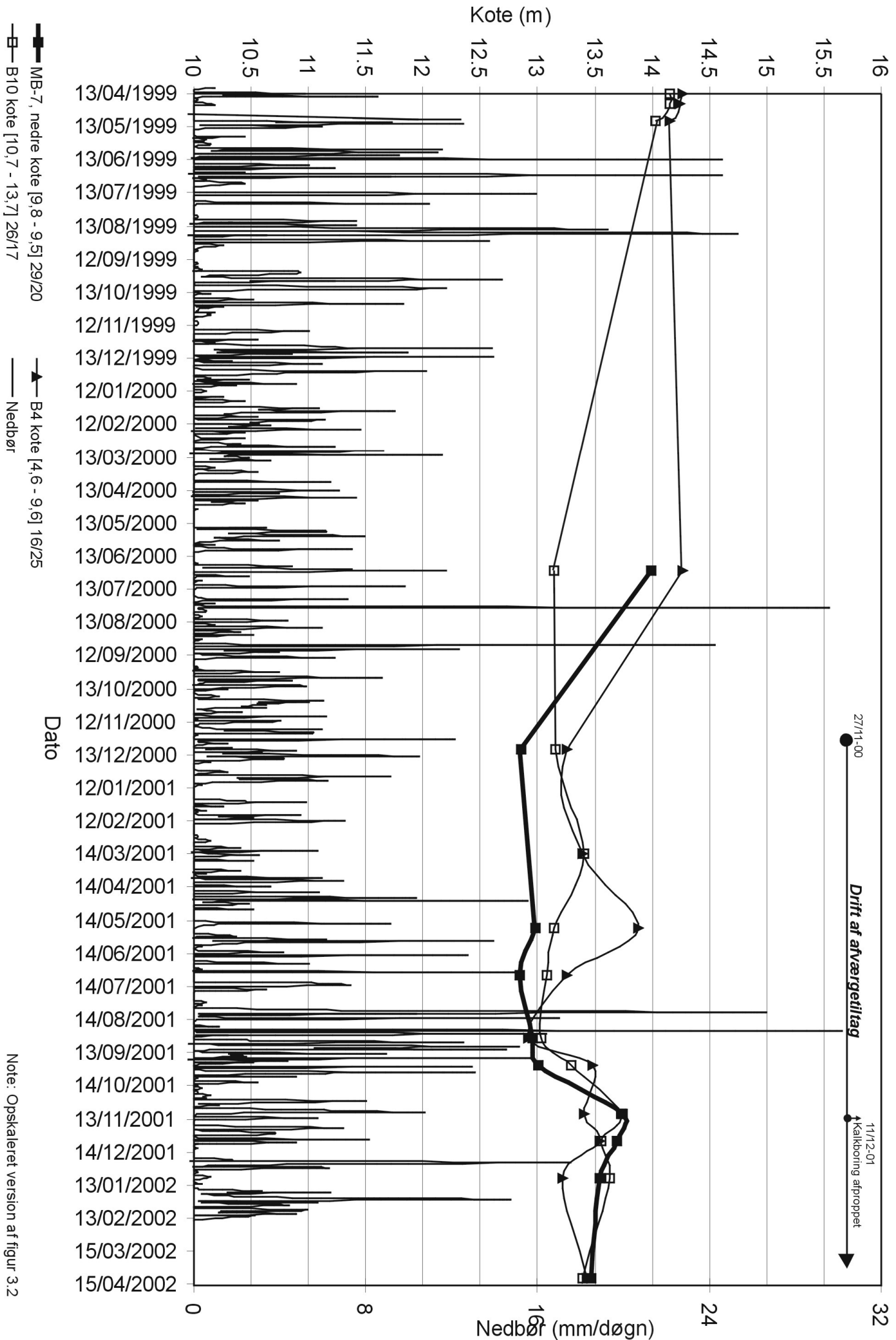
DUAL PHASE TEST FOR DRÆN B-B - PEJLEDATA I UDVALGTE MONITERINGSBORINGER

Boring	Dato, år, kl. Filtersætning, kote	18-01-2002 14:45	22-01-2002 13:30	23-01-2002 16:26	25-01-2002 16:49	26-01-2002 12:10	27-01-2002 13:34
		kote (m)	kote (m)	kote (m)	kote (m)	kote (m)	kote (m)
MB-2, nedre	[9,8 - 9,5]	12,96	13,06	13,01	13,02		13,03
MB-3, nedre	[9,8 - 9,5]						
MB-4, nedre	[9,8 - 9,5]	13,79	13,79		13,92	13,87	13,96
MB-5, nedre	[9,8 - 9,5]	12,26	12,33	12,44	12,63	12,68	12,75
MB-6, nedre	[9,8 - 9,5]	12,75	12,79	12,87	12,99	12,98	12,99
MB-7, nedre	[9,8 - 9,5]	13,55					
MB-8, nedre	[9,8 - 9,5]	13,82	13,86	13,96	14,17	14,3	14,37
MB-9, nedre	[9,8 - 9,5]	13,65	13,65	13,66	13,7	13,72	13,74
MB-10, nedre	[9,8 - 9,5]	13,13	13,13	13,13	13,11	13,22	13,31
B4	[4,6 - 9,6]	13,57	13,71	13,75			13,85
B10	[10,7 - 13,7]	13,62					

Pejledata registreret i samtlige monteringsboringer

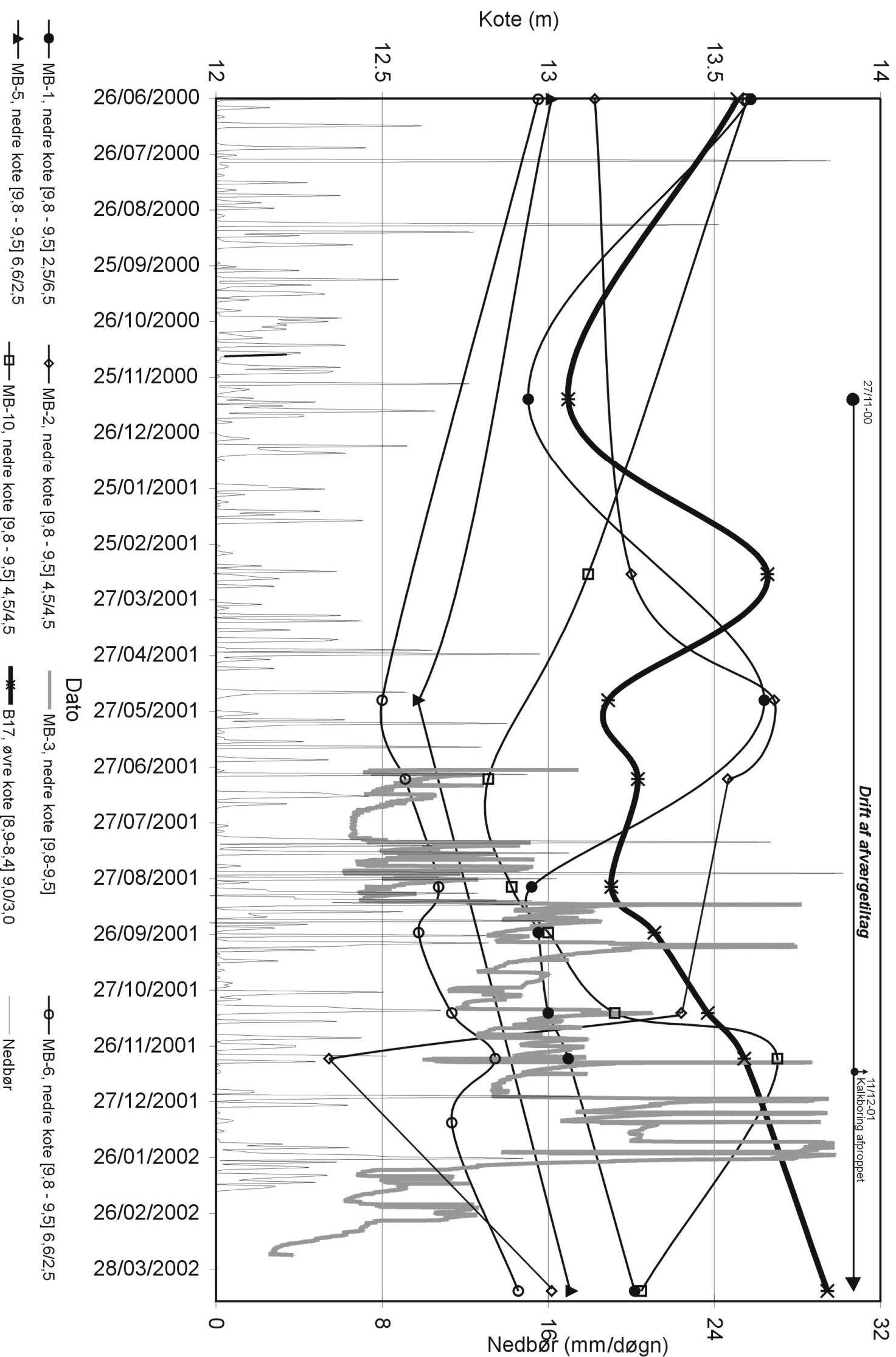


Pejledata for monteringsboringer beliggende udenfor det forventede påvirkningsområde



Note: Opskaleret version af figur 3.2

Pejledata for monteringsboringer beliggende indenfor det forventede påvirkningsområde



Bilag C
Analysedata

Slagelsevej 190, Næstved
1.års drift

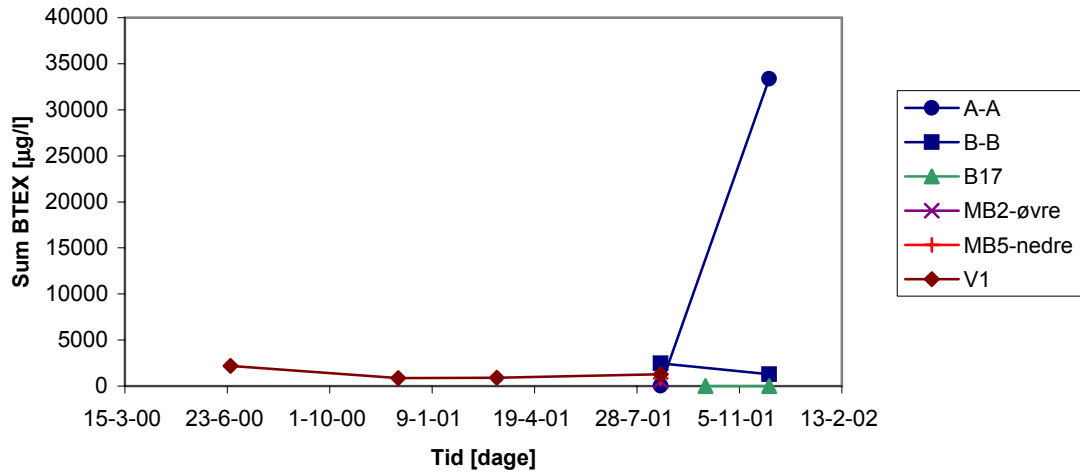
Komponent:							
Sum BTEX [$\mu\text{g/l}$]							
Runde	1	2	3	4	5	6	
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01	
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01	
Boring/dræn							
A-A				49		33.356 ²⁾	
B-B				2479		1275,98	
B17					0.55	0	
MB2-øvre							
MB2-nedre				555		1) ¹⁾	
MB5-øvre							
MB5-nedre				835			
V1	2174	883	900	1293			

1) Kun sum af benzen og toluen (gælder dog ikke for V1, runde 4)

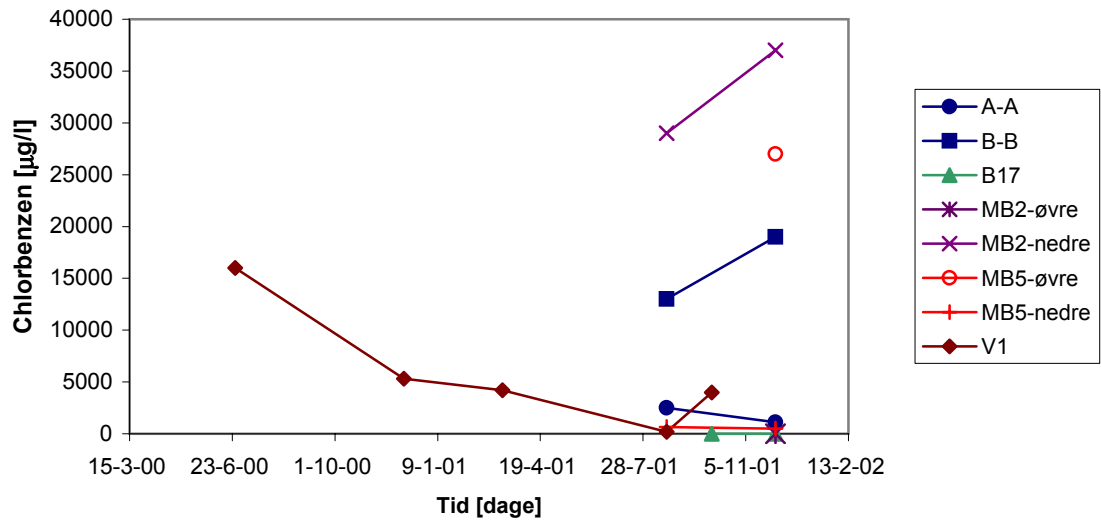
2) Analyseresultatet for runde 4 vurderes fejlbehæftet

Komponent:							
Chlorbenzen [$\mu\text{g/l}$]							
Runde	1	2	3	4	5	6	
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01	
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01	
Boring/dræn							
A-A				2500		1100	
B-B				13000		19000	
B17					0,1	0	
MB2-øvre						5,4	
MB2-nedre				29000		37000	
MB5-øvre						27000	
MB5-nedre				650		480	
V1	16000	5300	4200	170	4000		

BTEX



Chlorbenzen

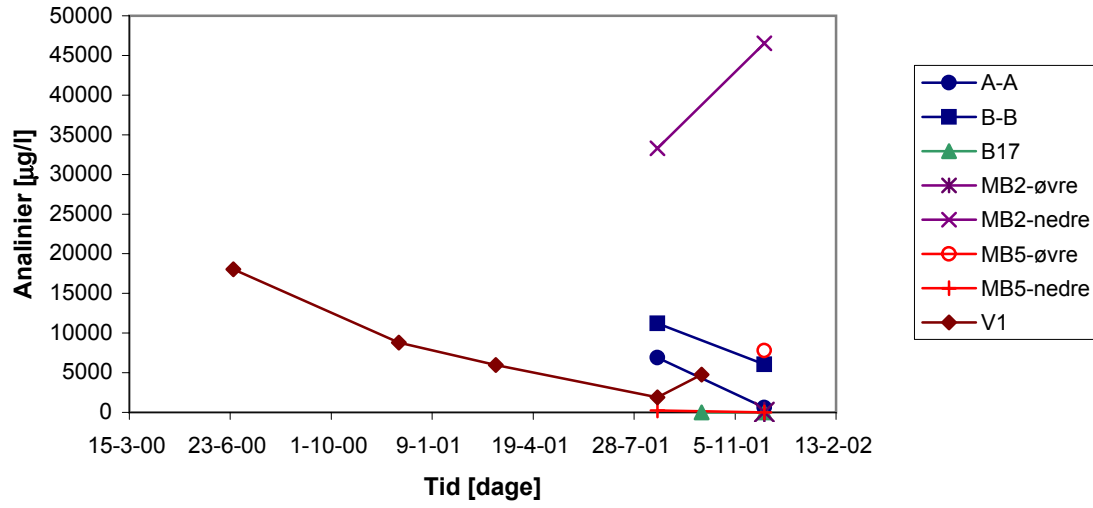


Komponent:							
Aniliner [$\mu\text{g/l}$]							
Runde	1	2	3	4	5	6	
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01	
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01	
Boring/dræn							
A-A				6920		609,8	
B-B				11230		6058,5	
B17					1	1 ¹⁾	
MB2-øvre						24,4	
MB2-nedre				33290		46531	
MB5-øvre						7774	
MB5-nedre				260		271,6	
V1	18.027	8.811,30	5980	1884	4760		

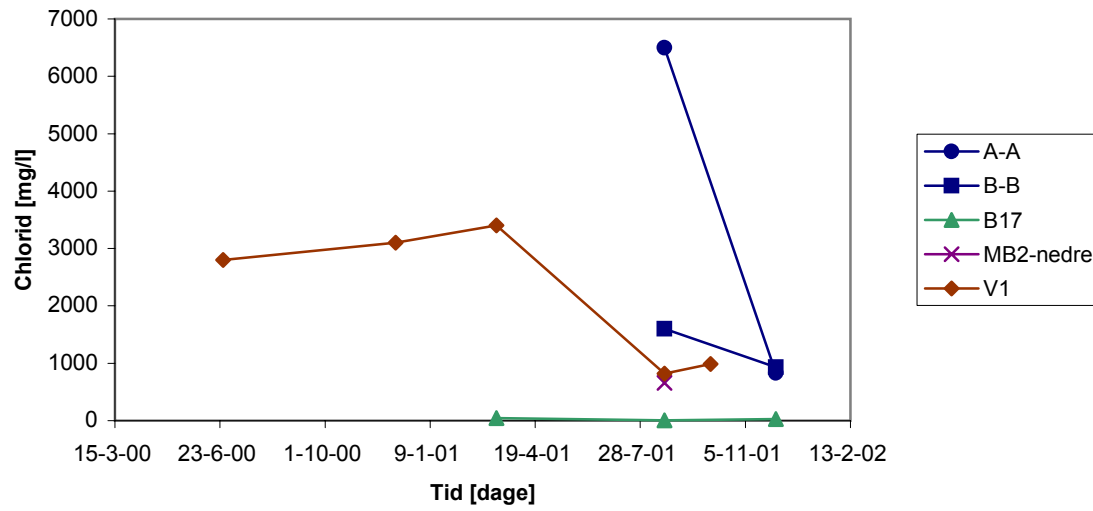
1) værdier hvor der står 1,0, er hvor værdien er <1,0

Komponent:							
Chlorid (filtreret) [mg/l]							
Runde	1	2	3	4	5	6	
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01	
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01	
Boring/dræn							
A-A				6500		830	
B-B				1600		930	
B17			45	6,9		28	
MB2-nedre				660			
V1	2800	3100	3400	820	990		

Anilinier



Chlorid



Komponent:							
Jern II (filtreret) [mg/l]							
Runde	1	2	3	4	5	6	
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01	
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01	
Boring/dræn							
A-A				60		0,05	
B-B				0,05		0,05	
B17			2,9	0,005		0,027	
MB2-nedre				0,2			
V1	18,5	58,7	100		4		

1)

2)

2)

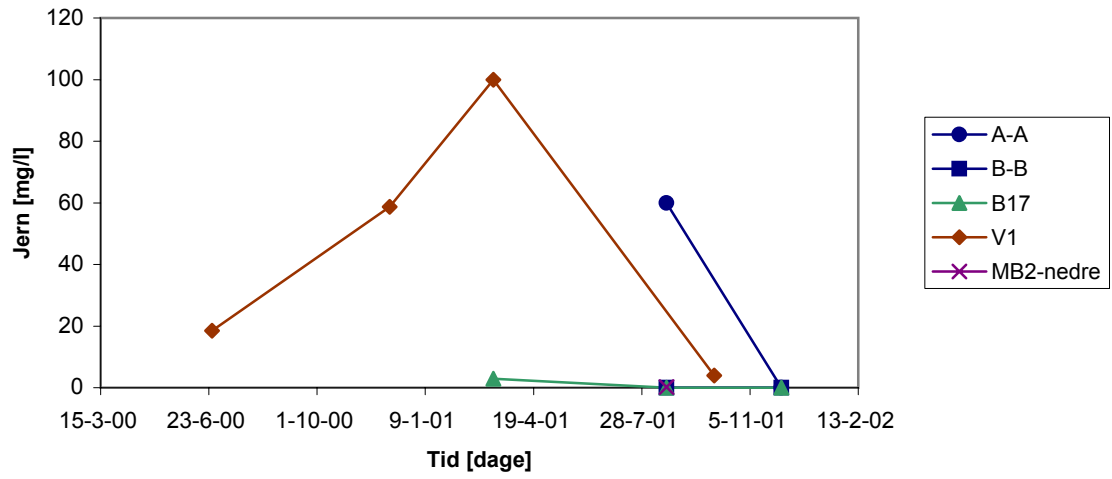
1) for V1 (i 1. Periode) er det total jern der er analyseret

2) værdier hvor der står 0,05, er hvor værdien er <0,05

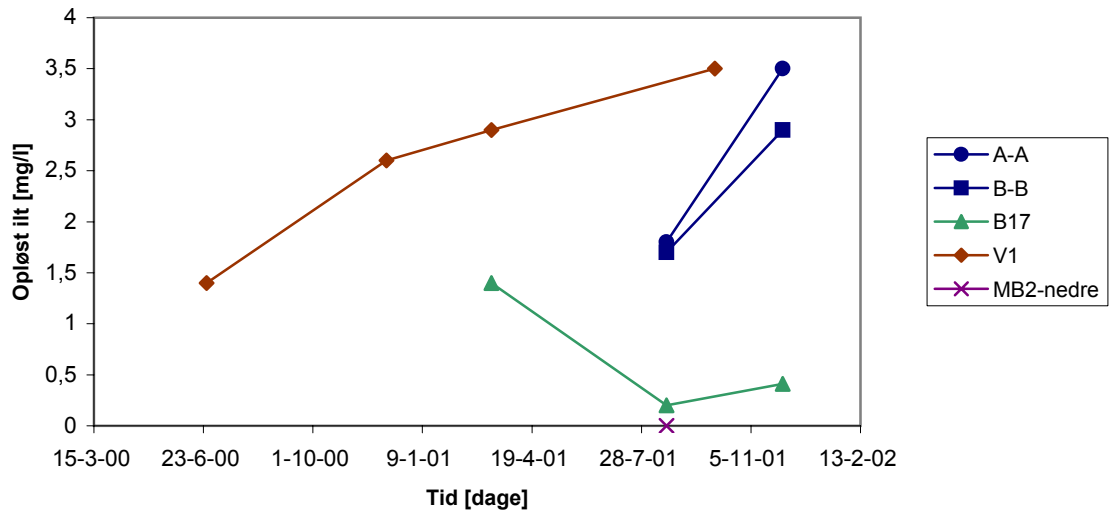
Komponent:							
Opløst ilt [mg/l]							
Runde	1	2	3	4	5	6	
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01	
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01	
Boring/dræn							
A-A				1,8		3,5	
B-B				1,7		2,9	
B17			1,4	0,2		0,41	
V1	1,4	2,6	2,9		3,5		
MB2-nedre				0			

1) 0 er *ikke påvist*

Jern II



Opløst ilt



Komponent:							
Hårdhed [dh]							
Runde	1	2	3	4	5	6	
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01	
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01	
Boring/dræn							
A-A				463		72	
B-B				140		77,4	
B17			19	0,005		15,6	
MB2-nedre				139			
V1		5	263		82,6		

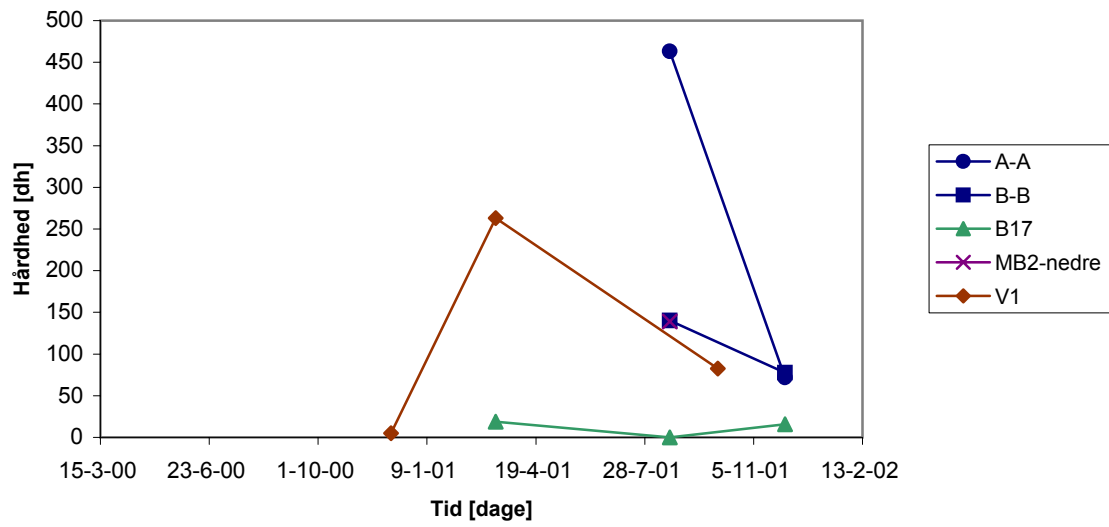
Komponent:							
Ammoniak + Ammonium [mg/l]							
Runde	1	2	3	4	5	6	
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01	
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01	
Boring/dræn							
A-A				60		10	
B-B				15		7,2	
B17			0,018	0,005		0,86 ²⁾	
MB2-nedre				67			
V1	17	35	31	46	5,4		

1)

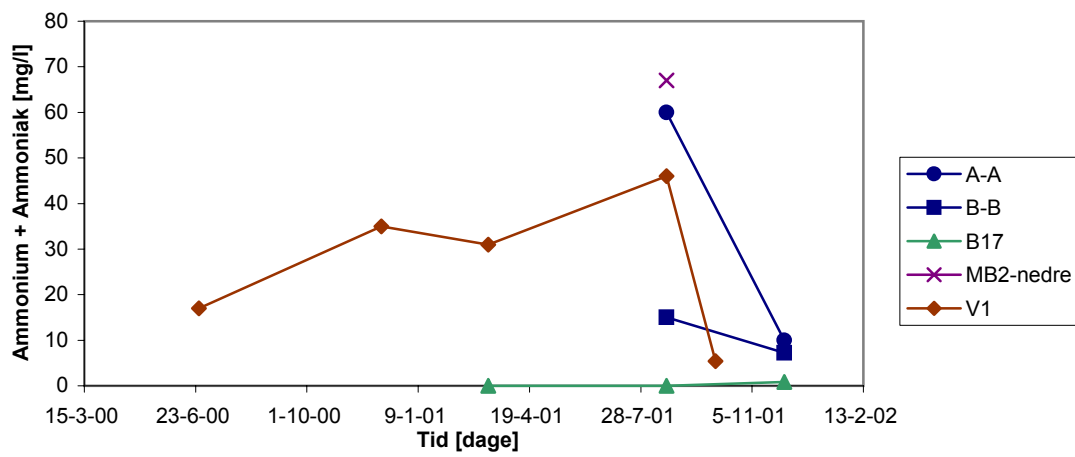
1) For V1 i runde 1, er der kun ammonium (NH₄⁺) og ikke et ammoniakbidrag indeholdt

2) værdier hvor der står 0,005, er hvor værdien er <0,005

Hårdhed

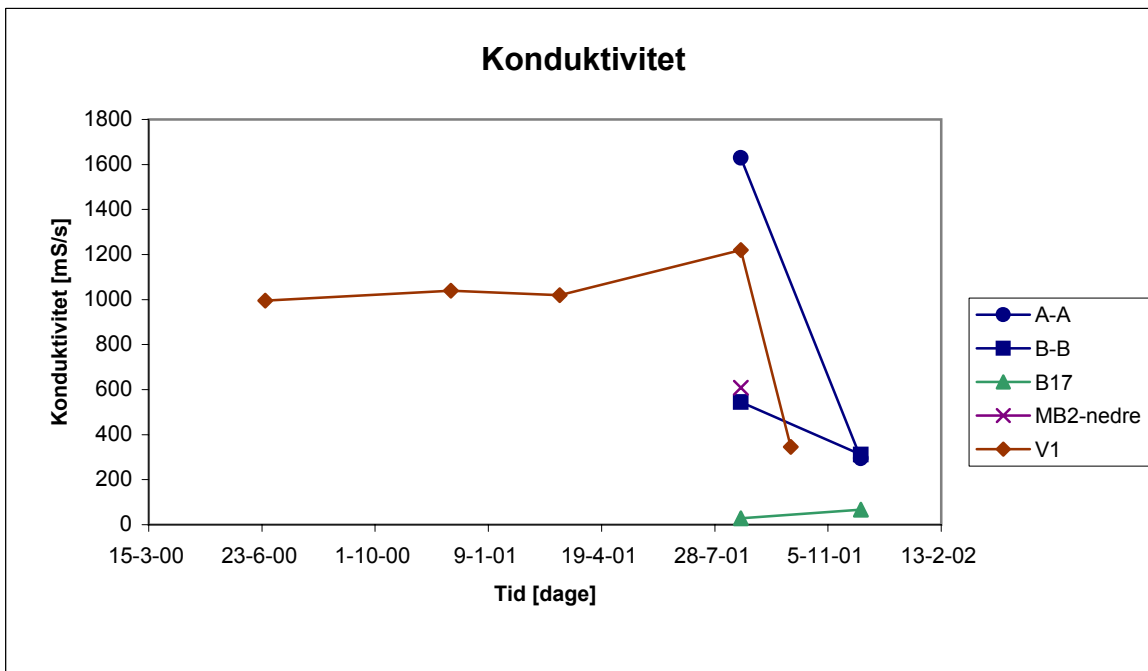
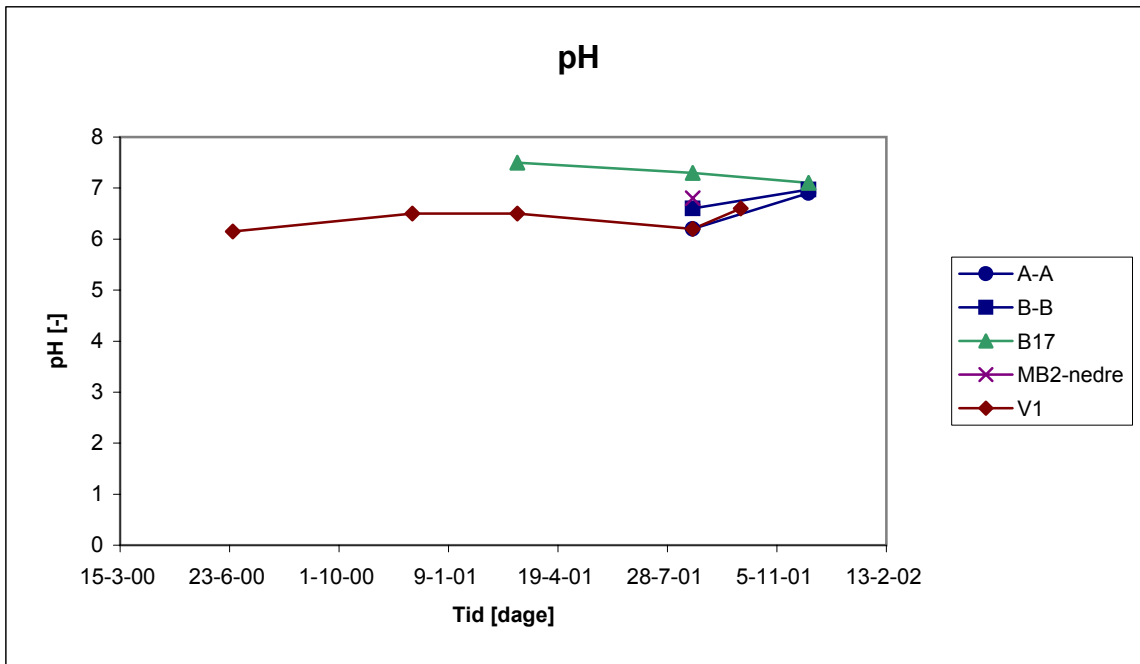


Ammonium + Ammoniak



Komponent:						
pH [-]						
Runde	1	2	3	4	5	6
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01
Boring/dræn						
A-A				6,2		6,9
B-B				6,6		6,97
B17			7,5	7,3		7,1
MB2-nedre				6,8		
V1	6,15	6,5	6,5	6,2	6,6	

Komponent:						
Konduktivitet [mS/s]						
Runde	1	2	3	4	5	6
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01
Boring/dræn						
A-A				1630		294
B-B				545		311
B17				28,6		66,8
MB2-nedre				609		
V1	995	1040	1020	1220	345	

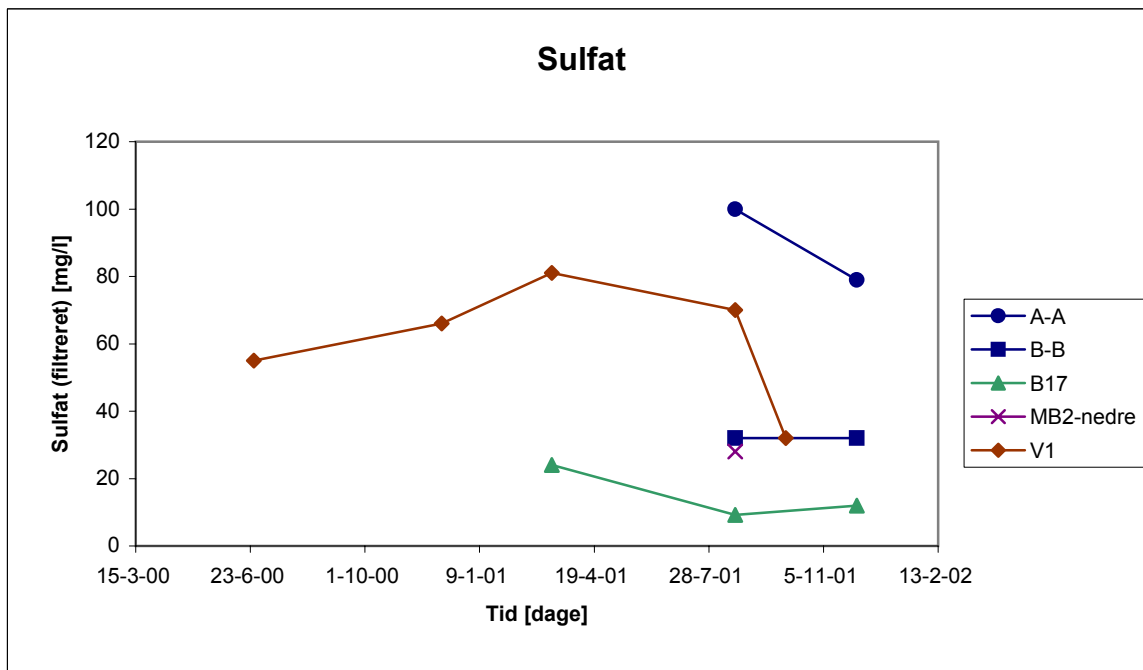
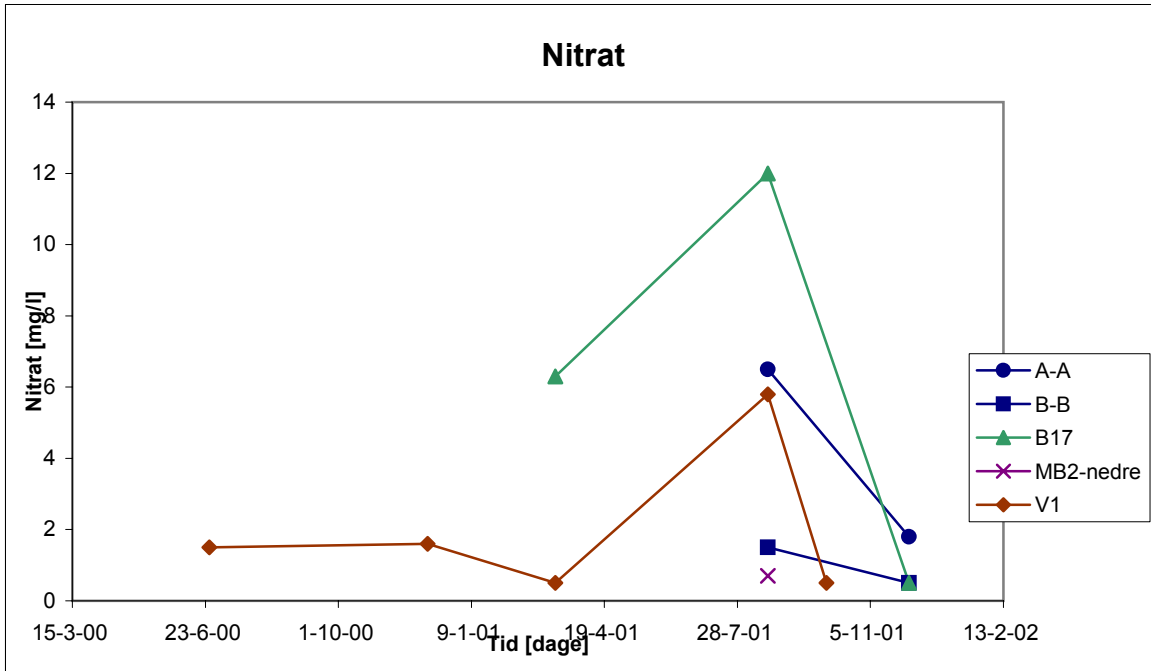


Komponent: Nitrat (filtreret) [mg/l]						
Runde	1	2	3	4	5	6
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01
Boring/dræn						
A-A				6,5		1,8
B-B				1,5		0,5 ¹⁾
B17			6,3	12		0,5 ¹⁾
MB2-nedre				0,7		
V1	1,5	1,6	0,5	5,8	0,5	1), 2)

1) værdier hvor der står 0,5, er hvor værdien er <0,5

2) værdier hvor der står 1,5, er hvor værdien er <1,5

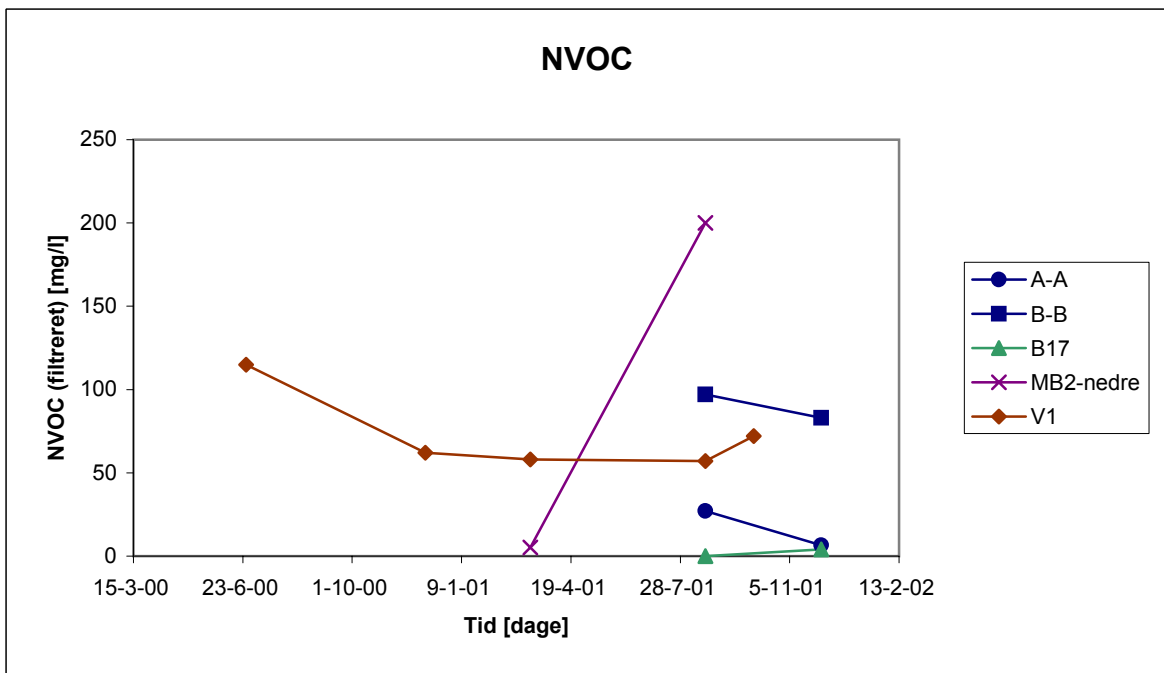
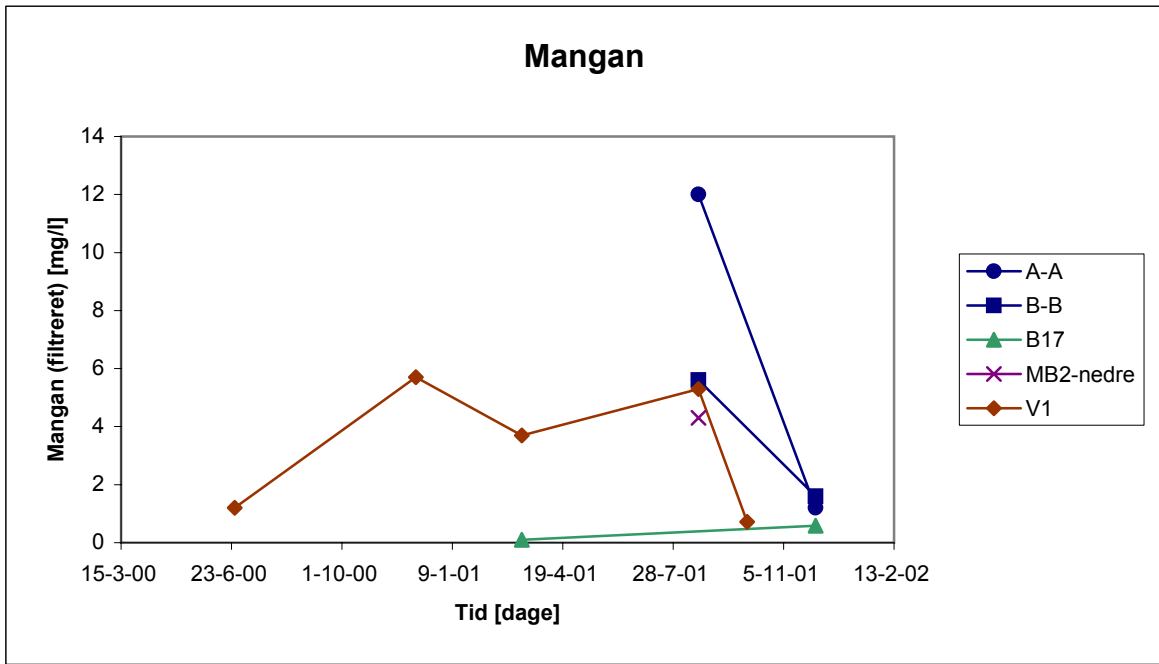
Komponent: Sulfat (filtreret) [mg/l]						
Runde	1	2	3	4	5	6
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01
Boring/dræn						
A-A				100		79
B-B				32		32
B17			24	9,2		12
MB2-nedre				28		
V1	55	66	81	70	32	



Komponent: Mangan (filtreret) [mg/l]						
Runde	1	2	3	4	5	6
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01
Boring/dræn						
A-A				12		1,2
B-B				5,6		1,6
B17			0,1			0,59
MB2-nedre				4,3		
V1	1,2	5,7	3,7	5,3	0,72	

Komponent: NVOC (filtreret) [mg/l]						
Runde	1	2	3	4	5	6
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01
Boring/dræn						
A-A				27		6,6
B-B				97		83
B17				0,005		4 ¹⁾
MB2-nedre			5,1	200		
V1	115	62	58	57	72	

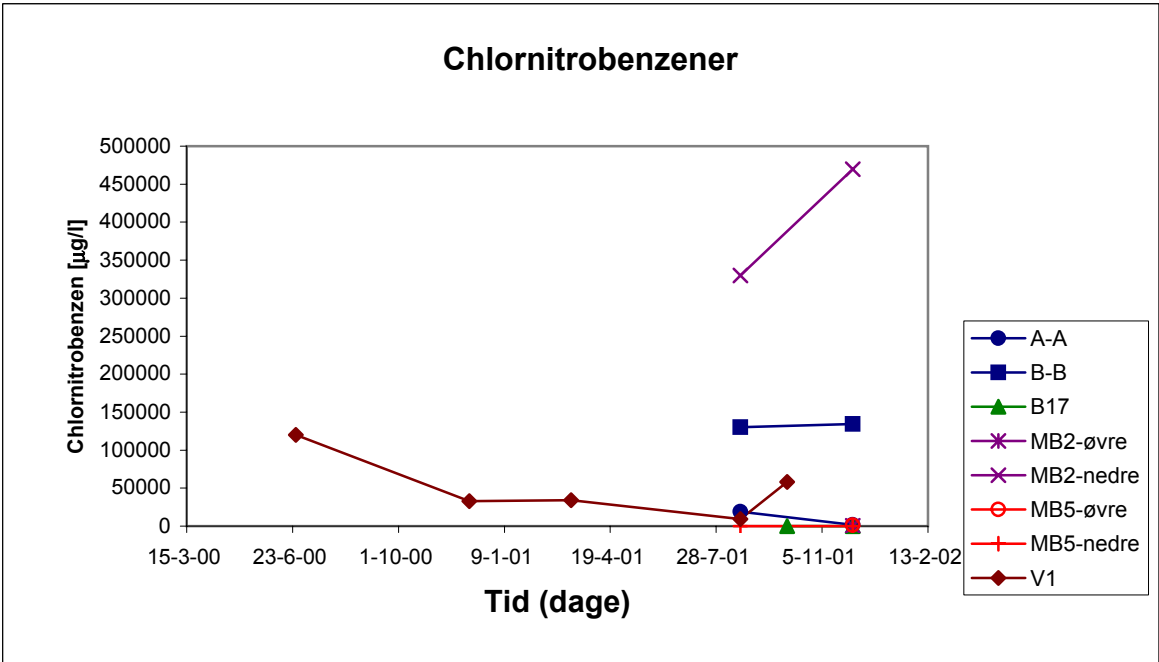
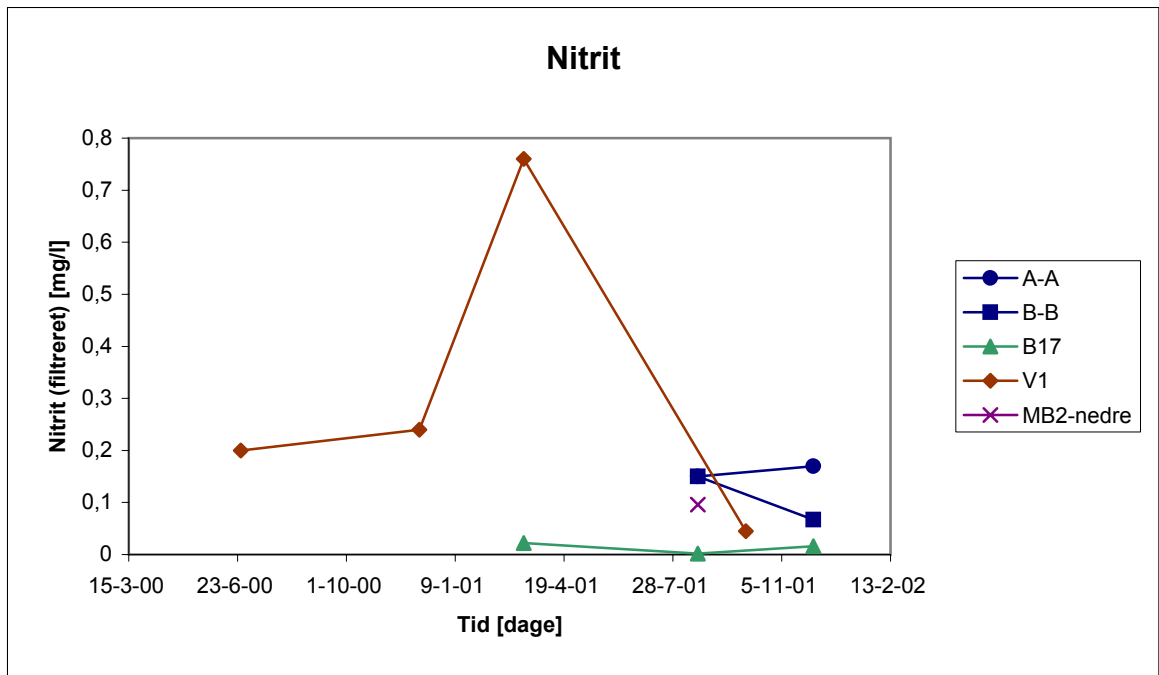
1) værdier hvor der står 0,005, er hvor værdien er <0,005



Komponent: Nitrit (filtreret) [mg/l]						
Runde	1	2	3	4	5	6
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01
Boring/dræn						
A-A				0,15		0,17
B-B				0,15		0,067
B17			0,022	0,002		0,016
V1	0,2	0,24	0,76		0,045	
MB2-nedre				0,096		

Komponent: Chlornitrobenzener [mg/l]						
Runde	1	2	3	4	5	6
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01
Boring/dræn						
A-A				19000		1811
B-B				130000		134200
B17					1	0,46 ¹⁾
MB2-øvre						223,5
MB2-nedre				330000		469500
MB5-øvre						1385
MB5-nedre				8,3		27,13
V1	120000	33000	34000	9400	58000	

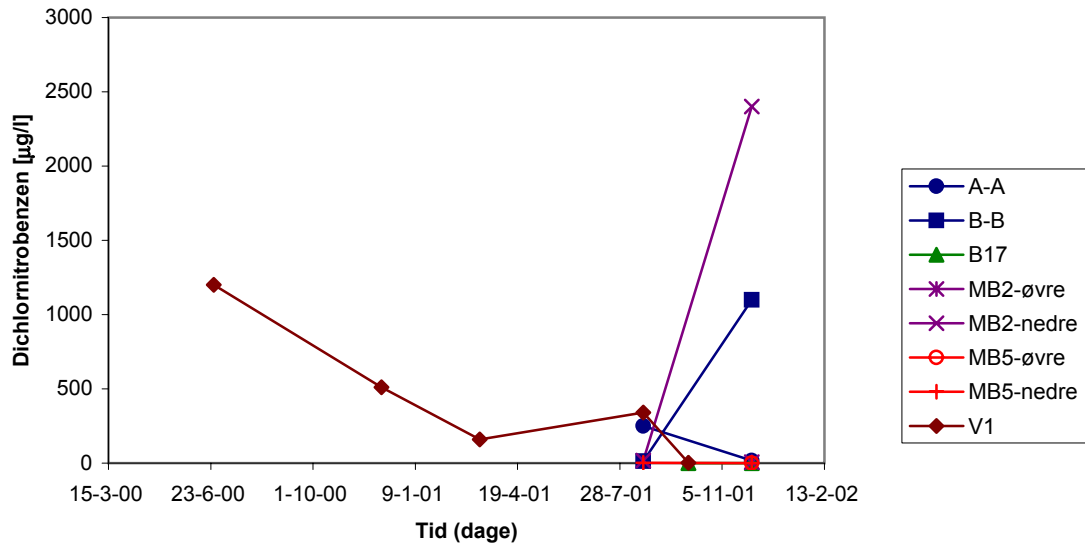
1) værdier hvor der står 1, er hvor værdien er <1,0



Komponent: Dichlornitrobenzener [mg/l]						
Runde	1	2	3	4	5	6
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01
Boring/dræn						
A-A				250		18
B-B				14		1100
B17					1	0,05 ¹⁾
MB2-øvre						6,8
MB2-nedre				18		2400
MB5-øvre						0,05 ¹⁾
MB5-nedre				1,2		0,12
V1	1200	510	160	340	1,8	

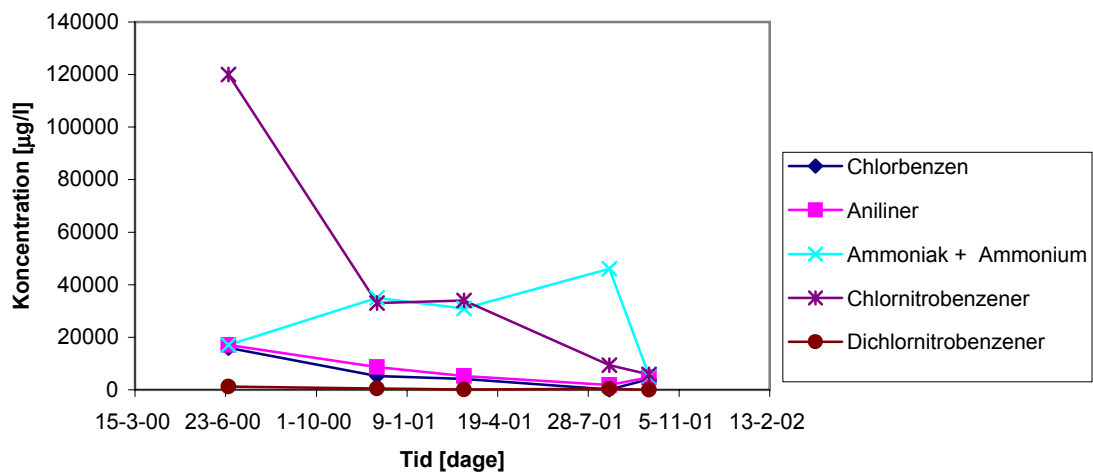
1) værdier hvor der står 0,05 og 1,0, er hvor værdien er <0,05 hhv. <1,0

Dichlornitrobenzener

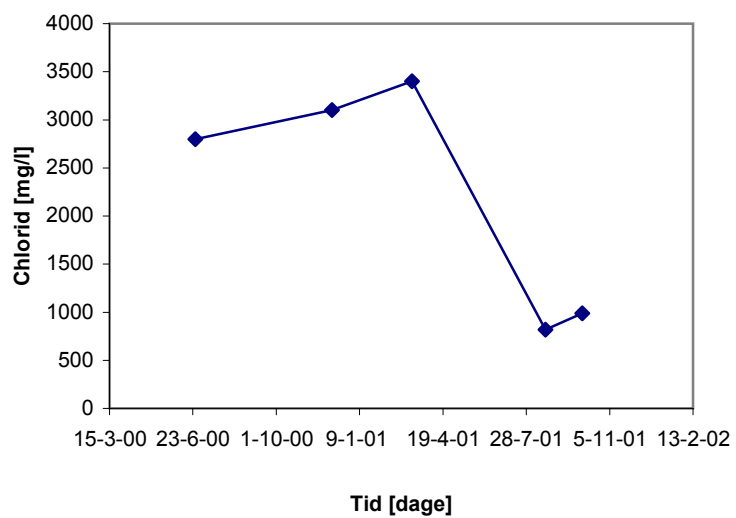


V1						
Runde	1	2	3	4	5	6
Dato	26.Jun. 00	7.dec. 00	13.mar. 01	20.aug. 01	3.okt 01	4.dec. 01
Dato	6-26-00	12-7-00	3-13-01	8-20-01	10-3-01	12-4-01
Stof						
Chlorbenzen [µg/l]	16000	5300	4200	170	4000	
Aniliner [µg/l]	17000	8700	5200	1884	4760	
Chlorid (filtreret) [mg/l]	2800	3100	3400	820	990	
Ammoniak + Ammonium [µg/l]	17000	35000	31000	46000	5400	
Chlornitrobenzener [µg/l]	120000	33000	34000	9400	5800	
Dichlornitrobenzener [µg/l]	1200	510	160	340	1,8	

V1

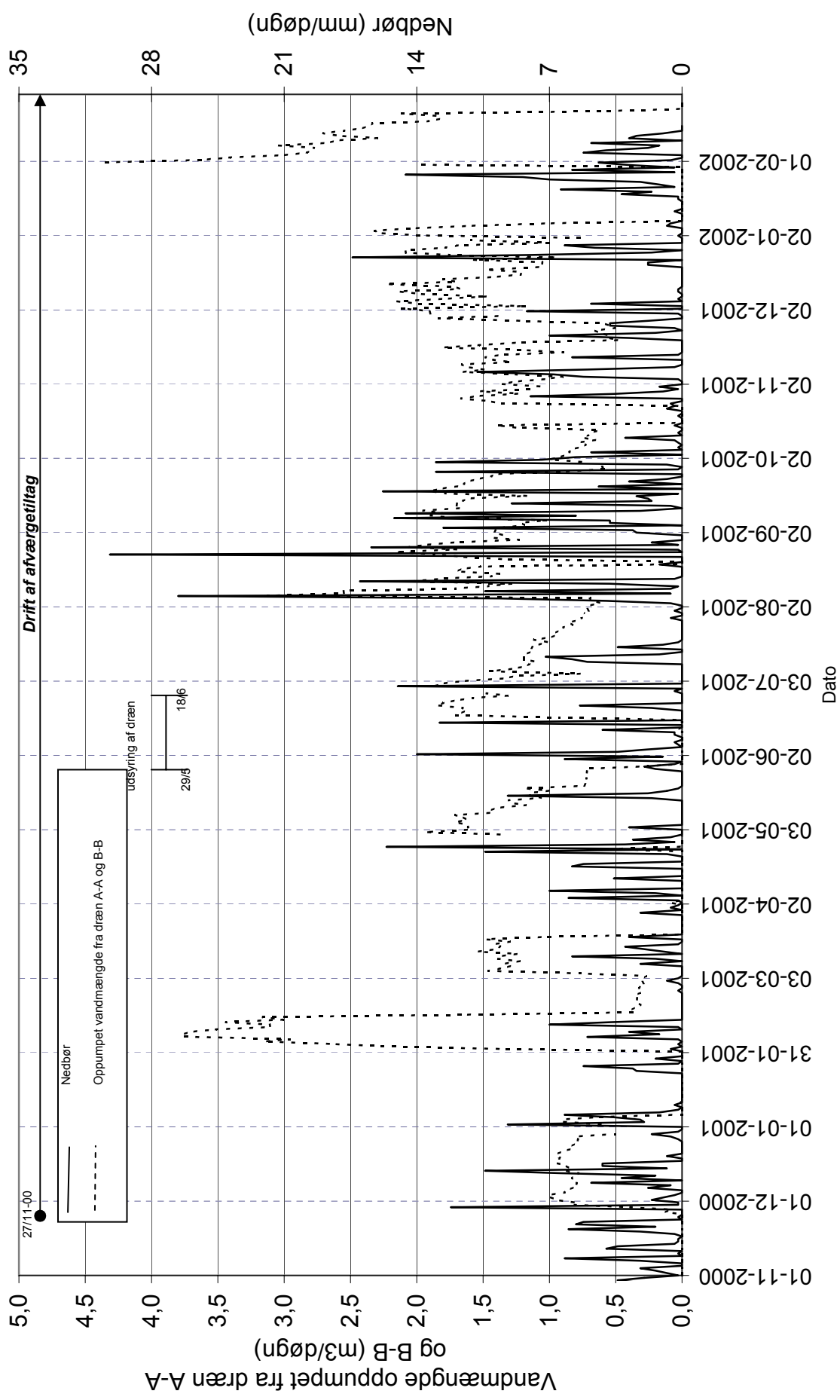


V1 Chlorid



Bilag D

Flowdata



Bilag E

Udsyring af dræn

Udsyring af dræn A-A og dræn B-B

Før udsyringens opstart blev tryktransducerne monteret i dræne fjernet for at undgå syrepåvirkning af disse.

Udsyringen blev herefter udført ved anvendelse af saltsyre (30 % opløsning) tilsat i forholdet 1:4 med vand.

Via en ø25 mm PE-slange blev i alt 4 m³ syreopløsning vha. gravitation tilledt hvert dræn. En tidskrævende proces.

Oprindeligt var det planlagt at tilsætte i alt ca. 6 m³ opløsning pr. dræn. Denne disposition blev dog ændret efter at der blev konstateret optrængning af syre til vandhullet hhv. til haven. Denne spredning skete via sprækkesystemer etableret i forbindelse med tidligere udførte fakturering.

Syreopløsningen stod i dræn samt dele af formationen i ca. 12 døgn, hvorefter denne blev søgt returpumpet til en opsamlingsstanke.

Ved returpumpningens opstart blev pH målt til ca. 3. Først efter ca. 2 døgn, da pH i vandet havde stabiliseret sig omkring pH 6-7 blev pumpningen stoppet. Denne 'skylleproces' blev valgt for at minimere risikoen for at der i forbindelse med genstart af afværgetiltaget skulle blive tilledt syreholdigt råvand, som dels kunne tære komponenter samt inhibere nitrifikationsprocessen.

Det returpumpe "skyllevand", i alt ca. 2 m³, blev bortskaffet til godkendt modtager.

Bilag F

Koncentrationsniveau på gasfasen

Forureningskomponent	Temp., C	Henry's konstant (- a)	Input vanddata (µg/l)	Luft konc. (mg/m³)	Luftflow (m³)	Estimeret arng fjernelse på luftfasen (mg)
BTEX b)	10	0,157262	1000	157,262	35,000	5504,17
Chlorbenzen	10	0,10501	4500	472,545	35,000	16539,075
Chlornitrobenzen	10	0,0031	20000	62,000	35,000	2170
Dichlornitrobenzen	10	0,0015	350	0,525	35,000	18,375
Anilin	10	?				
	25	0,00005	300	0,015	35,000	0,525
Chloranilin d)	10	0,0000136	200	0,003	35,000	0,0952
Dichloranilin d)	10	0,0000136	4500	0,061	35,000	2,142
Ammoniak c)	10	?				
	25	0,001324	30000	39,720	35,000	1390,2
I alt oprenset på luftfasen (mg)						24234,3822

█ Beregnet fra opløselighed og damptryk /ref. 8/ og /ref. 9/

NOTE:

a) /10/

b) Gns. Henrys konstant for Benzen, Toluen, Etylbenzen og Xylen er anvendt. Konstanten ligger i intervallet (0,12266 - 0,18076) for disse stoffer

c) Beregnet for opløselighed af 25% opløsning ved damptryk ved 25°C /ref. 9/

d) /ref. 11/

? Ingen værdi fundet

Konversion:

$$H \text{ (kPa m}^3\text{/mol)} / RT = H \text{ (dimensionløs)} \text{ hvor } R \text{ er lige } 0,008214 \text{ kPa m}^3\text{/mol/K ved } 298\text{K (} 25 \text{ }^\circ\text{C)} \text{ og } RT \text{ er } 2,48 \text{ kPa/m}^3\text{/mol}$$

$$H \text{ (dimensionløs)} = \text{Mættet damptryk, } C_{L,max} \text{ (g/m}^3\text{)} / \text{max vandopløselighed (g/m}^3\text{)}, \text{ hvor } C_L \text{ er (Damptryk (kPa ved T) * molvægt(g/mol)) /RT}$$

$$H \text{ (dimensionløs)} * \text{ konc. i vand (µg/l)} = \text{konc. i luft (µg/l)} = \text{mg/m}^3$$

$$1 \text{ mm Hg} = 1,33 \text{ mbar} = 133\text{Pa} = 133\text{Nm}^{-2}$$

$$101080 \text{ pa} = 1 \text{ atm}$$

$$H \text{ (kPa m}^3\text{/mol)} / 101,080 = H \text{ (atm/mol)}$$