

# Erfaringsopsamling på passiv ventilation til fjernelse af klorerede opløsningsmidler fra umættet zone

Anders G. Christensen & Nanna Muchitsch

NIRAS

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	9
1 INDLEDNING	11
1.1 BAGGRUND	11
1.2 FORMÅL	11
1.3 RAPPORTENS OPBYGNING	11
2 PASSIV VENTILATION	13
2.1 KONCEPTUEL MODEL	13
2.2 TEORETISK GRUNDLAG	14
2.3 FORUDSÆTNINGER OG INDLEDENDE TESTS	15
2.3.1 <i>Vakuumentilations-test</i>	15
2.3.2 <i>Indledende test af passiv ventilation</i>	16
2.3.3 <i>Tracertest</i>	18
2.4 GENEREL SYSTEMOPBYGNING	19
2.4.1 <i>Immissionsberegning</i>	20
3 FELTLOKALITETER	23
3.1 ANLÆGSTYPER	23
3.1.1 <i>Tørbrønd med kulfilter</i>	24
3.1.2 <i>Ventilationsledninger tilsluttet fælles manifold</i>	24
3.1.3 <i>Ventilationsledninger ført til afkast over tag</i>	26
3.2 SAMMENFATNING AF NØGLEPARAMETRE	26
3.3 KONCENTRATIONSUDVIKLING I UMÆTTET ZONE	29
3.4 FLUXBETRAGTNING	33
3.5 STATUS FOR FELTLOKALITETER	34
3.6 DRIFT OG MONITERING	36
3.6.1 <i>Økonomi - drift og monitorering</i>	38
4 EFFEKTEN AF PASSIV VENTILATION SOM AFSKÆRINGSMETODE	39
4.1 CARLSHØJVEJ, LYNGBY	41
4.1.1 <i>Effekt på grundvandsforurening</i>	42
4.1.2 <i>Fjernelsesrate</i>	43
4.2 VIRUMVEJ, VIRUM	43
4.2.1 <i>Effekt på grundvandsforurening</i>	45
4.2.2 <i>Fjernelsesrate</i>	46
4.3 NYGADE, FAKSE	47
4.3.1 <i>Effekt i kalken</i>	47
4.3.2 <i>Fjernelsesrate</i>	48
4.4 MØLLEVEJ, ASKOV	49
4.4.1 <i>Effekt på grundvandsforurening</i>	50
4.4.2 <i>Fjernelsesrate</i>	51

<b>5</b>	<b>LOKALITETER MED RELEVANTE DATA FOR VENTILERING AF UMÆTTET ZONE</b>	<b>53</b>
5.1	Q8 BALLERUPVEJ, VÆRLØSE	53
5.2	MW GJØESVEJ, REERSLEV	53
<b>6</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>57</b>
6.1	EFFEKT I UMÆTTET ZONE	57
6.2	EFFEKT PÅ GRUNDVAND	58
6.3	FLUX	58
6.4	FORSLAG TIL STANDARDPARAMETRE VED DESIGN AF PASSIV VENTILERING AF UMÆTTET ZONE	58
<b>7</b>	<b>KONKLUSION OG ANBEFALINGER</b>	<b>61</b>
<b>8</b>	<b>REFERENCER</b>	<b>63</b>

Bilag 1 – Oplysninger om feltlokaliteterne

Bilag 2 – Analyse af kulprøver

# Forord

Passiv ventilation har vist sig at være en effektiv metode til løbende af fjerne klorerede opløsningsmidler fra den umættede zone under de rette geologiske forhold. Dette er blandt andet dokumenteret i et tidligere gennemført teknologiprojekt /ref. 1/. Der er igennem de senere år etableret en række anlæg baseret på passiv ventilation, hvor formålet generelt har været at afskære forureningen fra at sprede sig fra den umættede zone til grundvandet.

Ved passiv ventilation udnyttes udelukkende de naturligt forekommende trykgradienter i jorden, der opstår ved ændringer i lufttrykket i forbindelse med passage af vejrfroster. Derfor er passiv ventilation et billigere alternativ til aktiv ventilation og en mulig alternativ afskæringsmetode i flere forureningsager, hvor det ellers ville have været dyrt eller teknisk umuligt at oprense selve kilden.

For at sammenholde erfaringerne fra de etablerede anlæg, baseret på passiv ventilation, er der under Miljøstyrelsens Teknologiprogram og i samarbejde med Region Hovedstaden og Region Sjælland foretaget en indsamling og gennemgang af de data, der findes for lokaliteter med passiv ventilation. Gennemgangen dækker udelukkende sager, hvor formålet har været at afskære forurening med klorerede opløsningsmidler fra at sprede sig til grundvandet. Ventilation under gulv og lignende, som afværge for indeklima er derfor ikke indeholdt i denne erfaringsgennemgang. Der dog inddraget to lokaliteter, hvor der ikke er etableret passiv ventilation, men hvorfra der findes data med relevans for vurderingen af effekten af ventilation som metode til afværge i den umættede zone.

Projektet er gennemført med støtte fra Miljøstyrelsens Teknologiuudviklingspulje og har været fulgt af en følgegruppe bestående af Henrik Østergaard, Carsten Bagge Jensen og Peder Johansen, Region Hovedstaden, Henrik Jannerup og Christian Fabricius, Region Sjælland, og Ole Kiilerich, Miljøstyrelsen. Arbejdet er udført af NIRAS Rådgivende Ingeniører og planlæggere A/S.



# Sammenfatning og konklusioner

Der er siden 1999 etableret en række anlæg for passiv ventilation i Danmark og der er på nuværende tidspunkt kendskab til 14 lokaliteter med passiv ventilation i Danmark – 11 i Region Hovedstaden, 2 i Region Sjælland og 1 i Region Syddanmark. Det er i et tidligere teknologiprojekt /ref. 1/ dokumenteret, at passiv ventilation er en effektiv metode til løbende at fjerne klorerede opløsningsmidler som fx PCE fra den umættede zone. Formålet med dette projekt er at gennemgå erfaringer fra de 14 lokaliteter og belyse effektiviteten af metoden både i forhold til reduktion af poreluftkoncentration og som afskæring af klorerede opløsningsmidlers spredning fra den umættede zone til grundvandet.

Passiv ventilation er baseret på udnyttelse af trykforskellen mellem den umættede zone og atmosfæren til ventilation af den umættede zone. Metoden benyttes på lokaliteter, hvor der findes et lavpermeabelt dæklag af fx moræneler med et underliggende umættet højpermeabelt lag. Ved ændringer i atmosfæretrykket opbygges en trykgradient, der ved faldende tryk udnyttes til transport fra umættet zone til terræn via lodrette filterrør.

Kildeområdet i dæklaget afgiver en mængde forurening til den underliggende umættede zone pr. tidsenhed – stof-flux. Forureningen transporteres ud i den umættede zone og det er i dette område, at passiv ventilation reducerer poreluftkoncentrationen. Når koncentrationen i den umættede zone reduceres, vil den videre stof-flux fra den umættede zone til grundvandet ligeledes reduceres, og dette vil på længere sigt resultere i en reduktion af koncentrationen af klorerede opløsningsmidler i grundvandet.

For de undersøgte lokaliteter er der målt maksimale differenstryk mellem atmosfæren og den umættede zone fra -25 til +20 mBar. De gennemsnitlige flow, der er registreret for de forskellige lokaliteter, ligger mellem 0,1 til 0,7 m<sup>3</sup> pr. time pr. meter filter med et gennemsnitligt flow på 0,3 m<sup>3</sup> pr. time pr. meter filter. Dæklagstykkelsen varierer mellem 5 og 10 meter og er på alle undersøgte lokaliteter moræneler, mens den umættede zone varierer fra fint sand til grus og på en enkelt lokalitet opsprækket kalk. Tykkelsen af den umættede zone, der ventileres, varierer mellem 0,3-24 m.

Erfaringsopsamlingen har vist, at passiv ventilation for de fleste lokaliteter har haft den tilsigtede effekt, at poreluftkoncentrationen flere steder er reduceret med over 70% over en periode på 7-8 år. Poreluftkoncentrationen falder generelt markant gennem de første 2-3 år, hvorefter der sker en stabilisering. Det vurderes, at fjernelsesraten ved passiv ventilation under disse stabile forhold tilnærmelsesvis svarer til fluxen fra dæklaget til den umættede zone. Det er ligeledes vist, at passiv ventilation i de tilfælde, hvor koncentrationen i den umættede zone er reduceret ligeledes har fungeret som delvis afskæring for forureningens spredning til grundvandet. I disse tilfælde ses en reduktion af grundvandskoncentrationen nogenlunde svarende til reduktionen af koncentrationen i poreluften.

Ved etablering af fremtidige anlæg for passiv ventilation, kan der ved design af anlægget forventes et gennemsnitligt flow på 0,2-0,3 m<sup>3</sup> pr. time pr. filter.

Boringstæthedens bør være én boring pr. 160 m<sup>2</sup> for sedimenttype sand/grus, svarende til en influensradius på ca. 7 m. Det kan desuden forventes, at koncentrationen i den umættede zone falder til minimum 20% af startkoncentrationen. Findes der en stor mængde klorerede opløsningsmidler akkumuleret i den umættede zone eller er fluxen fra dæklaget til den umættede zone stor, bør der inden etableringen af passiv ventilation foretages aktiv ventilation over en periode.

Erfaringer fra drift og monitorering af anlæggene for passiv ventilation viser, at der det første år bør monitoreres ved hhv. opstart, efter et halvt år og efter et år. Derefter bør der udføres årlig monitorering, indtil koncentrationerne i den umættede zone er stabiliseret. Herefter kan monitoreringsfrekvensen nedsættes til hvert andet til femte år. Kulfiltrene har en adsorptionskapacitet på 1-1,5 kg pr. filter, og monitoreringsfrekvensen bør i forhold til kulskift derfor også vurderes på baggrund af dette samt flow og koncentrationen i borerne.



# Summary and conclusions

Since 1999, a number of facilities for passive ventilation have been established in Denmark. To date, passive ventilation has been established at 14 sites in Denmark - 11 in the Region of Greater Copenhagen Region, 2 in the Region of Zealand, and 1 in the Region of Southern Denmark. A previous project /ref. 1/ has shown that passive ventilation is an effective way to remove chlorinated solvents from the unsaturated zone. The purpose of this project is to review the experience of the 14 localities and the efficiency of the method in relation to the reduction of the concentration in the unsaturated zone, and in relation to preventing chlorinated solvents such as PCE from spreading from the unsaturated zone to the groundwater.

Passive ventilation is based on exploiting the pressure difference between the unsaturated zone and the atmosphere for ventilation of the unsaturated zone. The method can be used at locations with a relatively thick low-permeable layer with an underlying high-permeable unsaturated zone. Changes in the atmospheric pressure create a pressure gradient between the atmosphere and the unsaturated zone, which is utilized to force the polluted soil gas to the surface through wells screened across the unsaturated zone.

The source in the low-permeable layer delivers an amount of pollution to the underlying unsaturated zone per time unit – mass flux. The chlorinated solvents are transported to the unsaturated zone and in this area, passive ventilation will reduce further mass transport to the groundwater. When the concentration in the unsaturated zone is reduced by passive ventilation, the mass flux from the unsaturated zone to the groundwater will also be reduced. In the longer term, this will result in a reduction in the concentration of chlorinated solvents in the groundwater.

For locations suitable for passive ventilation, differential pressures between the atmosphere and unsaturated zone in the range between -25 to +20 mBar have been measured. The average flows registered at the various sites are in the range from 0.1 to 0.7 m<sup>3</sup> per hour per meter screened well with an average of 0.3 m<sup>3</sup> per hour per meter screened well. The thickness of the unsaturated zones ventilated by passive ventilation varies between 0.3-24 m.

The collection of experience from sites with passive ventilation has, for most of the sites, shown that the ventilation has had the intended effect and that soil gas concentrations at several sites are reduced by more than 70% over a period of 7-8 years. The soil gas concentration generally decreases over the first 2-3 years, and then stabilizes. The removal rate by passive ventilation in these stable conditions is estimated to be approximately equivalent to the flux from the low-permeable layer to the unsaturated zone. It is also shown that passive ventilation in the cases where the concentrations in the unsaturated zone are reduced has also prevented the pollution from spreading to the groundwater. The reduction in the groundwater concentrations has the same order of magnitude as the reduction in the concentration in the unsaturated zone.

When planning passive ventilation in the future, a flow of approximately 0.2-0.3 m<sup>3</sup> per hour per m screened well can be expected. Furthermore, a density of approximately one well per 160 m<sup>2</sup> should be used. Concentrations in the unsaturated zone can be reduced to a minimum of 20% of the start-up concentration. If a large mass of chlorinated solvents are accumulated in the unsaturated zone or the mass flux from the overlying clay layer is large, it can be necessary to use active ventilation for a period before converting to passive ventilation.

Experience from the operation and monitoring of facilities for passive ventilation has shown that the wells should be monitored at start-up, after 6 months and after one year. Hereafter, annual monitoring should be performed until the concentrations in the unsaturated zone have stabilized. The frequency of the monitoring can be reduced to every 2 to 5 years when the concentrations are stable. The coal filters have an adsorption capacity of 1-1.5 kg per filter, and the change of coals should also be taken into consideration when the frequency of monitoring is estimated.

# 1 Indledning

## 1.1 Baggrund

Passiv ventilation som afskæring for forureningsspredning til grundvandet er siden slutningen af 1990'erne blevet etableret på flere lokaliteter i Danmark. Generelt har formålet med etableringen af passive ventilationsboringer været at kontrollere spredningen af forurening med klorerede opløsningsmidler fra det terrænnære dæklag gennem den umættede zone og til den mættede zone. Konceptet bag passiv ventilation som afskæring for grundvandet er, at en reduktion af koncentrationen i den umættede zone alt andet lige vil resultere i en reduktion af fluxen fra den umættede zone til grundvandet.

## 1.2 Formål

Det overordnede formål med teknologiprojektet er at gennemgå erfaringer fra lokaliteter med passiv ventilation som afskæring af klorerede opløsningsmidlers spredning fra den umættede zone til grundvandet. Herunder ønskes viden om effektiviteten af passiv ventilation med henblik på at kortlægge væsentlige anlægs- og driftsparametre. Desuden gives en kort status for lokaliteterne med passiv ventilation.

## 1.3 Rapportens opbygning

### ***Passiv Ventilation***

I rapportens afsnit 2 beskrives den konceptuelle model bag passiv ventilation og det teoretiske grundlag for passiv ventilation gennemgås kort. Desuden gives en kort præsentation af forskellige tests, der kan udføres til undersøgelse af, om passiv ventilation er en egnet metode på en given lokalitet. Den generelle systemopbygning og forskellige varianter heraf gennemgås kort.

### ***Feltlokaliteter***

I rapportens afsnit 3 fokuseres der på de feltlokaliteter, hvor passiv ventilation er etableret for at kontrollere spredningen af klorerede opløsningsmidler fra umættet zone. Herunder gennemgås de anlægstyper, der på nuværende tidspunkt findes i Danmark, samt de nøgleparametre, der findes for de forskellige lokaliteter. Ydermere sammenfattes koncentrationsudviklingen i umættet zone siden etableringen af passiv ventilation, og der ses på stof-fluxen fra dæklaget til umættet zone ved ligevægt. Der gives en kort status for hver af feltlokaliteterne samt en kort gennemgang af drift og monitorering for anlæggene.

### ***Effekten af passiv ventilation som afskæringsmetode***

I afsnit 4 foretages en mere grundig gennemgang af 4 udvalgte lokaliteter, hvor effekten af den passive ventilering belyses. Desuden estimeres der fjernelsesrater samt akkumuleret fjernelse for de 4 lokaliteter.

### ***Lokaliteter med relevante data for ventilering af umættet zone***

Ved gennemgang af datamaterialet til rapporten er der fundet interessante data fra undersøgelser af passiv ventilation fra lokaliteter, hvor der endnu ikke er etableret anlæg for passiv ventilation. Desuden er der fundet et interessant datamateriale for koncentrationsudviklingen i grundvand ved aktiv ventilering af umættet zone. Dette datamateriale sammenfattes kort i rapportens afsnit 5.

### ***Diskussion***

I dette afsnit diskuteres resultaterne af erfaringsopsamlingen og effekten af passiv ventilation som afskæringsmetode for spredning af forurening fra umættet til mættet zone. Desuden diskuteres den konceptuelle model og sammenhængen mellem processerne i dæklaget, umættet zone og mættet zone. Der listes desuden en række forslag til designparametre, der kan benyttes i forbindelse med fremtidige anlæg.

### ***Konklusion og anbefalinger***

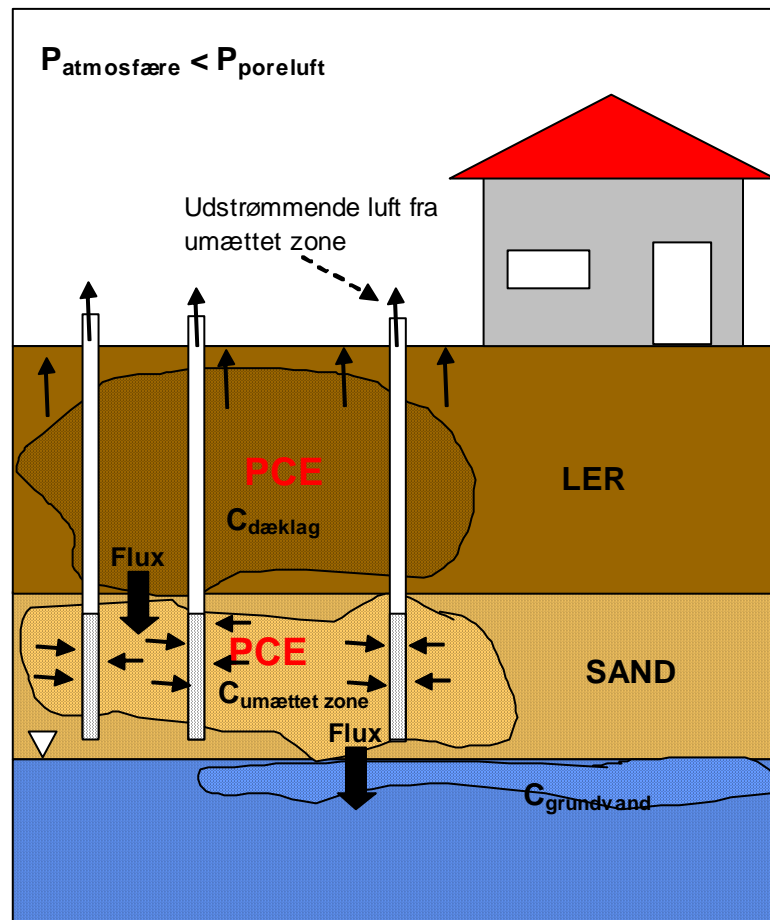
I rapportens afsnit 7 findes en konklusion, hvor de vigtigste resultater, nøgletal og informationer er sammenfattet. Desuden er der anført en række anbefalinger i forhold til etablering, drift og monitorering af fremtidige anlæg for passiv ventilation.

## 2 Passiv ventilation

### 2.1 Konceptuel model

Passiv ventilation er baseret på udnyttelse trykforskellen mellem den umættede zone og atmosfæren til ventilation af den umættede zone. Konceptet bag afskæringsmetoden er baseret på følgende: En flygtig forureningskomponent som PCE findes i den øvre del af det næsten fuldt vandmættede dæklag af et lavpermeabelt materiale som fx moræneler. Igennem lerlaget spredes forureningen ved advektion (nedsivning) videre ned i den umættede zone, bestående af et mere højermeabelt materiale (sand, kalk el.). I den umættede zone spredes forureningen både horisontalt og vertikalt ved diffusion samt vertikalt nedad ved advektion som opløst stof i porevandet. Forureningen når til sidst den kapilære zone lige over det egentlige grundvandsspejl, og opblandes i den øverste del grundvandsmagasinet.

Kildeområdet afgiver en mængde forurening til den underliggende permeable, umættede zone pr. tidsenhed – i det følgende benævnt ”stof-flux”, og det er i denne zone, at passiv ventilation kan reducere den videre stoftransport til grundvandet.



Figur 1: Konceptuel model bag passiv ventilation som afværgemetode

til hel eller delvis afskæring af stoftransport til grundvandet – under faldende atmosfæretryk.

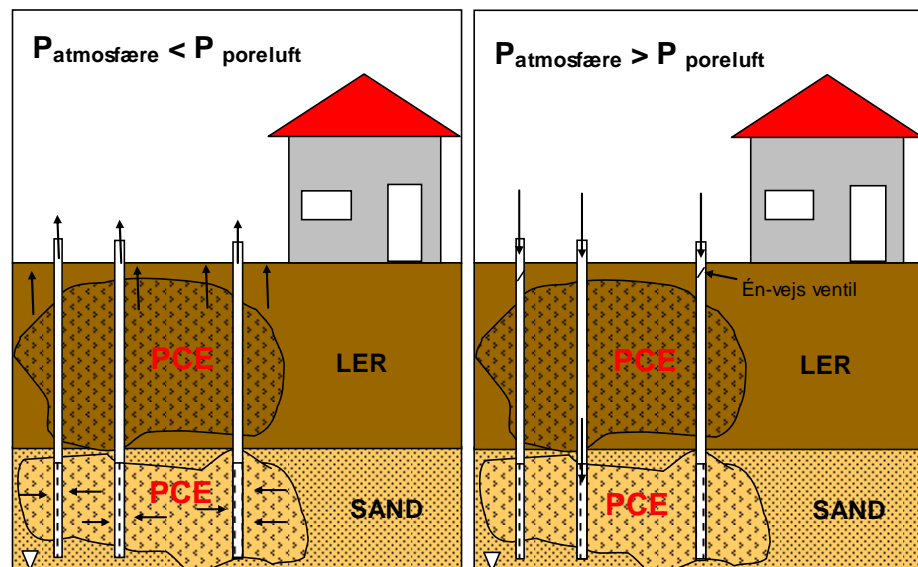
En konceptuel model for stoftransporten fra kildeområdet i dæklaget til den umættede sand/kalk lag og videre til den mættede zone er illustreret i figur 1. Fra kildeområdet i dæklaget vil der være en stof-flux til det umættede sandlag. Herfra vil forureningen transporteres gennem den umættede zone og videre til den mættede zone, og der vil altså ligeledes være en stof-flux fra umættet til mættet zone. Konceptet bag passiv ventilation er at reducere koncentrationen i det umættede sand/kalklag under dæklaget. Ved reduktion af koncentrationen i umættet zone vil fluxen fra umættet zone til mættet zone ligeledes reduceres, og dette vil derfor på længere sigt resultere i en reduktion af koncentrationen i grundvandet.

## 2.2 Teoretisk grundlag

Mellem atmosfæren og den umættede zone vil der forekomme trykforskelle som resultat af dæmpning og forsinkelse af trykforplantningen gennem jordlagene. Størrelsen af disse vertikale trykgradienter afhænger bl.a. af den overliggende jords (dæklagets) tykkelse og permeabilitet samt den hastighed, hvormed atmosfæretrykket ændres.

Ved faldende atmosfæretryk vil der i den umættede zone – hvis der findes et lavpermeabelt dæklag, blive opbygget et differenstræk over dæklaget. Dette sker, da trykforplantningen og dermed trykudligningen gennem dæklaget sker langsommere end den rate, hvormed atmosfæretrykket falder. Det absolutte tryk i den umættede zone vil således blive større end atmosfæretrykket.

For at skabe en udligning af trykforskellen mellem atmosfæren og den umættede zone, vil poreluften søge fra den umættede zone og mod terræn. Ved passiv ventilation udnyttes disse vertikale trykgradienter til transport fra umættet zone til terræn via lodrette filterrør, der virker som en præferentiel strømningsvej for poreluften.



Figur 2: Situation under lavtryk (venstre) og højtryk (højre).

Ved stigende atmosfæretryk vil trykket i atmosfæren blive større end i den umættede zone. Dette vil medføre, at luften presses ned i jorden for at udligne

trykforskellen. Ved etablering af boringer til passiv ventilation monteres typisk en én-vejs ventil i boringen, der kun tillader luft at strømme ud af boringen. Herved undgås en fortynding og spredning af forureningskomponenter i gasfasen i den umættede zone ved stigende atmosfæretryk.

Størrelsen af flowet fra den umættede zone afhænger generelt af differenstrykkets størrelse samt permeabiliteten i den umættede zone. Der er i princippet en lineær sammenhæng mellem tryk og flow gennem et filter op til en vis grænse /ref. 2/. Denne sammenhæng er udtrykt ved:

$$\Delta P = \alpha \cdot Q$$

$\Delta P$  er differenstrykket over dæklaget

$Q$  er flowet

$\alpha$  er filterets specifikke ydelse

Boringerne for passiv ventilation vil afhængigt af antal, influensradius samt filtersætning give anledning til ventilering af et givent volumen af den umættede zone. Størrelsen af flowet kan sammen med det volumen jord, der ventileres, benyttes til at estimere det antal porevolumenudskiftninger, den passive ventilering kan forventes at give.

### 2.3 Forudsætninger og indledende tests

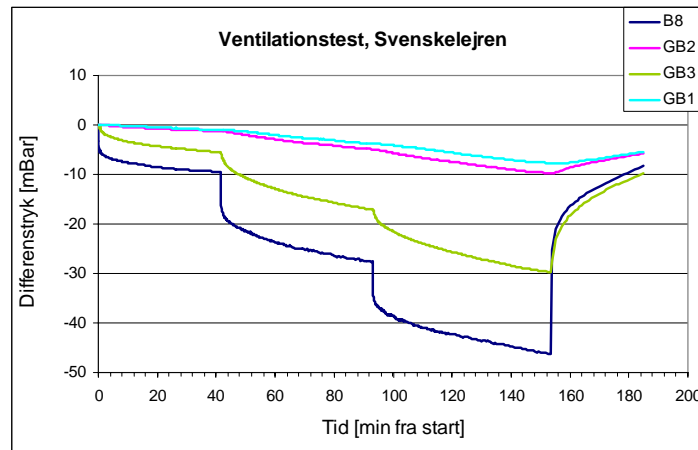
Generelt kræver brugen af passiv ventilation en geologi med et relativt lav permeabelt dæklag over en umættet zone med høj permeabilitet. Dæklaget er med til at dæmpe den vertikale trykforplantning, og dæmpningen er en funktion af både mægtigheden og permeabiliteten af laget. Det lavpermeable dæklag resulterer således i en trykforskel mellem atmosfære og umættet zone ved ændringer i atmosfæretrykket. Generelt vil der kunne opnås de højeste differenstræk ved store dæklagstykkelser, da trykforplantningen gennem jorden foregår relativt langsomt.

For at teste, hvorvidt passiv ventilation er en mulig løsning, kan en række indledende tests benyttes.

#### 2.3.1 Vakuumentilationstest

Til udførelse af vakuumentilationstest kræves en boring, hvorfra der kan pumpes, samt et antal observationsboringer. Testen udføres ved at påføre vakuum til én boring, mens differenstræk i observationsboringerne logges.

I figur 3 er en vakuumentilationstest udført på lokaliteten Svenskelejren i Brønshøj illustreret. Der pumpes fra B8 og monitoreres på 3 filtersatte Geoprobsonderinger (GB1-GB3). Under testen øges flowet, hvilket tydeligt fremgår af ændringen i differenstræk i pumpeboring B8, jf. figur 3.



Figur 3: Vakuumentilations-test, Svenskelejren i Brønshøj.

Som det ses af figuren, er der registreret respons i alle monitoringsboringerne. Boring GB1 er placeret længst fra pumpeboringen i en afstand af ca. 30 m. Resultaterne indikerer generelt, at der er en høj permeabilitet i sandlaget og en god luftgennemstrømning, samt en lav dæklagspermeabilitet.

Det fremgår ligeledes, at der ikke opnås stationære forhold i pumpeperiode 2 og 3, idet trykket synes at blive ved med at falde. Dette kan muligvis være tegn på, at sandlaget under lokaliteten ikke har en uendelig udstrækning, men derimod er en afgrænset "lomme". Resultaterne kan således være et udtryk for, at der stødes på en "negativ barriere", fordi sandlommen tømmes for luft, og der dermed opbygges et større og større vakuum.

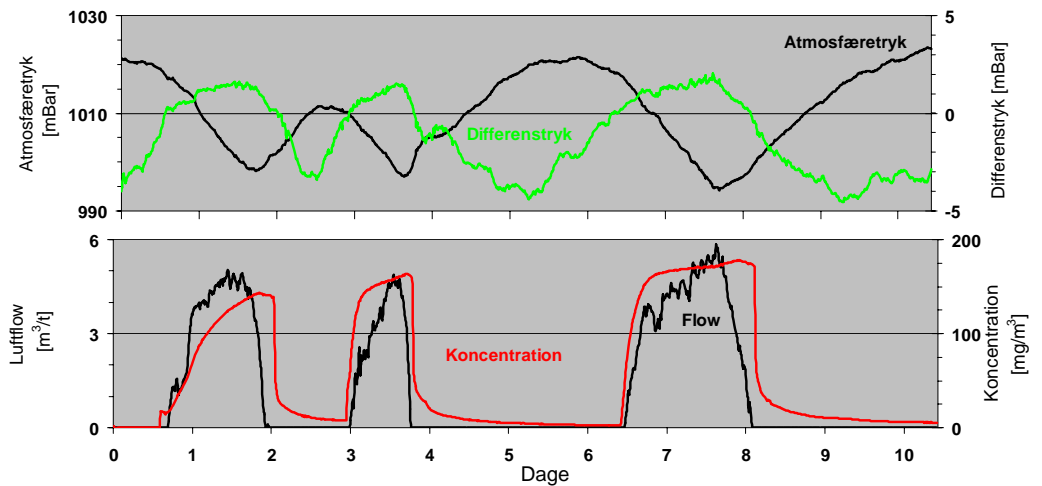
Vakuumentilations-testen kan desuden benyttes til at estimere luftstrømningsparametre for sandlaget. Permeabiliteten for sandlaget kan dels bestemmes på baggrund af stationære observerede vakuum og dels på baggrund af den registrerede trykudvikling i de første få minutter, inden stationære forhold indtræder (transiente data). Yderligere kan den vertikale permeabilitet i dæklaget, estimeres ud fra de sammenhørende målinger af vakuum som funktion af tiden.

### 2.3.2 Indledende test af passiv ventilation

Ved denne test etableres typisk én ventilationsboring. I boringen logges differensstryk og flow over en periode. Da det ikke er muligt at logge disse to parametre i samme boring samtidig, kan der gennem måleperioden foretages en række samhörende manuelle målinger af flow og differensstryk. Desuden kan differensstrykket logges i en referenceboring et stykke fra testboringen. Den lineære sammenhæng mellem de målte flow og differensstryk vil give en indikation af, hvor stort et flow, der kan forventes ved et givent differensstryk. Ud over flow og differensstryk, bør atmosfæretrykket logges, hvorved sammenhængen mellem differensstryk og ændring i atmosfæretryk kan følges.

Et typisk datasæt for en måleperiode er illustreret i figur 4.





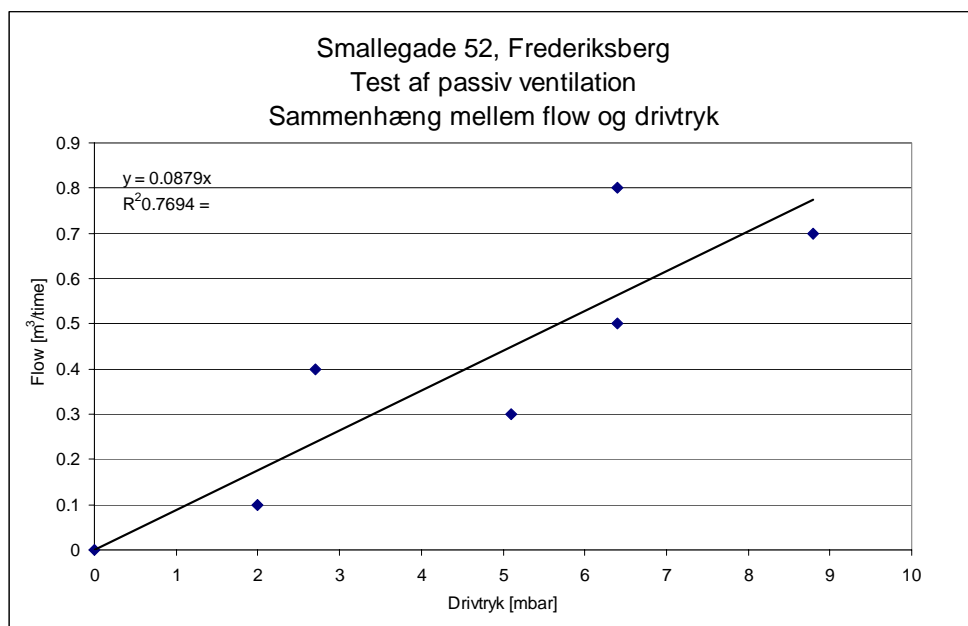
Figur 4: Variation i fundamentale parametre for passiv ventilation (PV) for en periode med både stigende og aftagende atmosfæretryk.

Af figuren fremgår en tydelig sammenhæng mellem differenstryk og atmosfæretryk, hvor det ses, at differenstrykket stiger ved faldende atmosfæretryk og omvendt. Logges koncentrationen af klorerede opløsningsmidler i testboringen sammen med flowet, vil den typiske sammenhæng være som illustreret nederst i figur 4. Der kan dog forekomme variationer i udstrømningerne afhængigt af forureningen og placeringen af den benyttede boring i forhold til forureningsudbredelsen.

I den illustrerede test er koncentrationen af klorerede opløsningsmidler målt med en photoakustisk multi-gasmonitor (INNOVA 1312-A gasmonitor). Ved faldende atmosfæretryk vil der forekomme flow ud af boringen, og koncentrationen af klorerede stoffer vil derfor stige. Det illustrerede forsøg er foretaget ved brug af en én-vejs ventil, hvorfor der udelukkende måles flow ud af testboringen ved faldende atmosfæretryk.

Som det fremgår af figur 4, er koncentrationen af PCE under en udstrømningsperiode initielt stigende og bliver først efter nogen tid stabil. Dette vanskeliggør en sikker måling af den maksimale koncentration uden brug af et kontinert registrerende instrument. Alternativt kan der udføres en række manuelle målinger med en håndholdt PID-måler og udtages luftprøver på kulrør til analyse.

De manuelle målinger af flow og differenstryk vil typisk give en lineær sammenhæng som i eksemplet fra Smallegade på Frederiksberg, se figur 5.

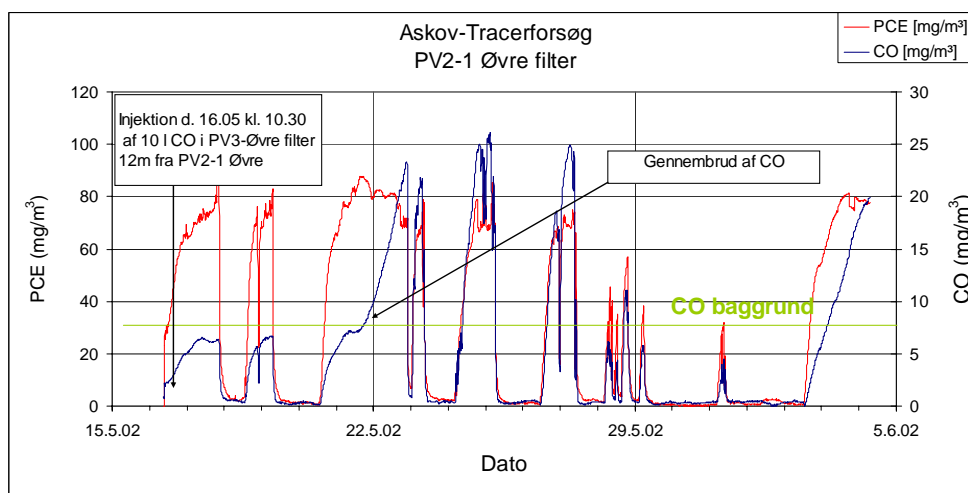


Figur 5: Sammenhæng mellem flow og differenstryk. Test af passiv ventilation, Smallegade Frederiksberg.

### 2.3.3 Tracertest

For at undersøge en borings influensradius kan der udføres tracertests, hvor en tracergas tilsættes en boring i umiddelbar nærhed af testboringen. Ved at logge koncentrationen af tracergas i testboringen kan det fastslås, om der er kontakt mellem de to boringer, samt hvor lang transporttiden er fra den ene boring til den anden.

På lokaliteten Møllevej i Askov er der udført et tracerforsøg med kulmonoxid, CO, som tracergas. Tracergassen er injiceret i boring PV3, beliggende ca. 12 m fra boring PV2, hvor koncentrationen af CO logges. Som det fremgår af resultaterne af tracertesten, jf. figur 6, ses der gennembrud af CO efter ca. 5 dage. Situationsplan for lokaliteten Møllevej findes i bilag 1.



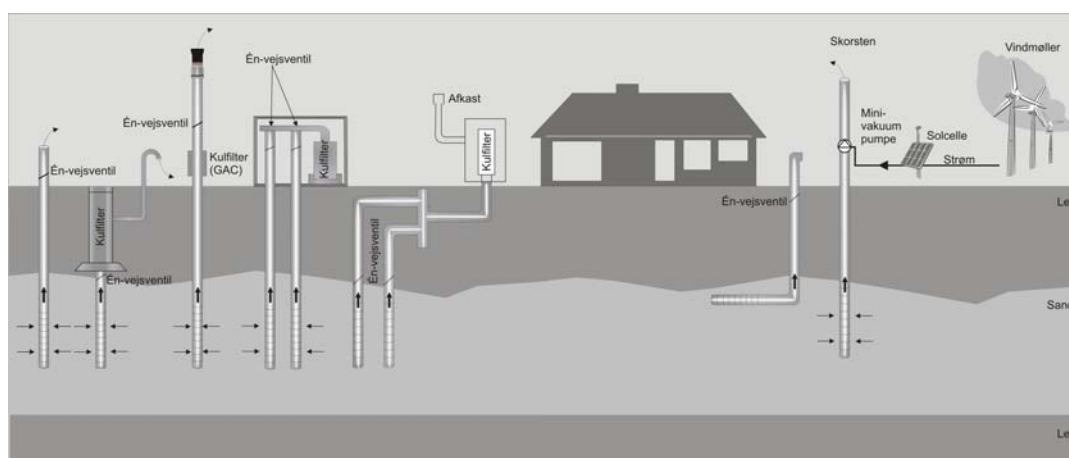
Figur 6: Tracerforsøg, Møllevej i Askov.

Tracerforsøget viser, at der er sammenhæng mellem boring PV2 og PV3, samt at influensradius for boring PV2 er mindst 12 m.

## 2.4 Generel systemopbygning

Systemopbygningen for anlæg baseret på passiv ventilation bygger på samme koncept, men selve opbygningen kan variere og opbygningen kan ske på baggrund af den fysiske indretning af den enkelte lokalitet. I det følgende er de forskellige varianter kort beskrevet og i figur 7 ses illustrationer af de forskellige varianter. Systemerne i figur 7 beskrives fra venstre mod højre.

En-vejs-ventiler bruges i stort set alle systemvarianter for at begrænse strømning af atmosfærisk luft ned i den umættede zone. Uden en sådan ventil vil der i perioder, hvor atmosfæretrykket er større end trykket i den umættede zone, opstå en luftstrøm af atmosfærisk luft tilbage i jorden via boringen. Selvom dette i sig selv ikke forhindrer systemet i fortsat at fjerne forurening, så betyder indblæsningen af den atmosfæriske luft, at forurenede poreluft bliver presset væk fra selve boringen, hvilket vil medføre en vis fortynding. Herved vil der fjernes mindre forurening når det igen bliver lavtryk.



Figur 7: Generel systemopbygning for passiv ventilation

### ***Boring med kulfilter under terræn***

Systemet består af et antal borer filteret i umættet zone. Filteret monteres med et blindrør, hvor der for enden monteres et overgangsstykke. Ovenpå overgangsstykket monteres evt. et kulfilter for opsamling/rensning af den opstrømmende forurenede luft, alt afhængig af de aktuelle forureningskoncentrationer og imissionskrav på den enkelte lokalitet. Afkastet fra kulfilteret føres fra brønden over terræn og afsluttes i en svanehal.

### ***Boring med kulfilter over terræn***

Systemet består af et antal borer filteret i umættet zone. Blindrøret fra boringen føres over terræn, hvor et kulfilter monteres. Afkastet ledes til atmosfæren, hvilket kan foregå via en skorsten, svanehal el.

### ***Ventilationsledninger til manifold***

Et alternativ til at montere et kulfilter eller afkastsystem på hver boring er, at de enkelte borer via ventilationsledninger samles i en fælles manifold. Denne kan placeres enten over eller under terræn, og den opstrømmende luft kan evt. ledes gennem et kulfilter for rensning.

### ***Horisontal boring***

Systemerne for passiv ventilation, omtalt ovenfor, består alle af lodrette borer. I tilfælde af, at forureningen er beliggende under en bygning, kan der etableres et system med en vandret eller skrå boring under huset. Den

udstrømmende luft kan ledes til terræn og evt. gennem et kulfilter via en lodret ventilationsledning.

### **Optimering af flow**

For at optimere flowet af poreluft ud af en passiv ventilationsboring, kan vakuomet i boringen øges. Dette kan blandt andet gøres ved brug af små ventilatorer eller pumper, der drives af batterier, der løbende oplades af solceller og/eller mini-vindmøller, jf. figur 7.

#### **2.4.1 Immissionsberegning**

Til vurdering af, hvorvidt det er nødvendigt at benytte kulfiltre til rensning af afkastluften fra passive ventilationsboringer på en given lokalitet, kan der udføres immissionsberegninger. Ved disse beregninger kan beregningsprogrammet OML (Operationel Metrologisk Luftkvalitetsmodel) benyttes til at kontrollere, om B-værdien (bidragsværdien) overholdes.

Som eksempel på immissionsberegninger udført i forbindelse med passiv ventilation, benyttes beregninger udført for lokaliteten Carlshøjvej i Lyngby, jf. ref. 29. Beregningerne er udført efter ca. 6 års drift, hvor det er ønsket at vurdere, om kulfiltrene fra tørbrøndene kan fjernes. Der er udtaget luftprøver på kulrør fra de 5 boringer for passiv ventilation. Koncentrationerne fremgår af tabel 1.

Stofnavn	PV1	PV2	PV3	PV4	PV5
Chloroform	<0,53	<0,77	<0,77	<0,42	<0,91
1,1,1 trichlorethan (TCA)	2,4	1,2	15	4,6	24
Tetrachlormethan (TCM)	1,3	14	7,1	3,5	1,3
Trichlorethylen (TCE)	5,0	1,7	12	7,2	6,8
Tetrachlorethylen (PCE)	5800	1900	6100	7200	3500

Tabel 1: Koncentrationer af klorerede opløsningsmidler i  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  i afkastluften fra boringer for passiv ventilation på Carlshøjvej i Lyngby.

Som det fremgår af tabellen, er PCE det stof, der forekommer i de højeste koncentrationer. Den højeste koncentration på  $7200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  er målt i PV4. En beregning af immissionskoncentrationen af PCE fra boring PV4, ved hjælp af OML-modellen, viser et niveau i den mest belastede receptor, tættest på boringen (< 5m), på  $0,027 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dette niveau er mere end 1000 gange lavere end B-værdien for PCE, der er  $0,01 \text{ mg}/\text{m}^3$ .

OML-modellen vurderes for den pågældende lokalitet at kunne være unøjagtig, bl.a. på grund af den meget lave afksthøjde fra svanehalene (0,5 m.o. terræn), og det forhold, at flere af afkastene ligger meget tæt på en bygning (ca. 12 m), påvirker opblandingsforholdene betragteligt.

Der er derfor parallelt med OML-beregningerne gennemført en teoretisk beregning med udgangspunkt i det meget nære volumenområde, der kan påvirkes. Hertil er betragtninger om vindhastighed, opblandingshøjde og opblandingsareal vurderet i afstande af 1, 5 og 10 m fra kilden.

Vindhastighed [m/s]	Afstand [m]		
	1	5	10
0,1	0,33	0,02	0,004
1	0,03	0,001	<0,001
4,5	0,01	<0,001	<0,001

Tabel 2: Immissionskoncentrationer [mg/m<sup>3</sup>] af PCE i given afstand og vindhastighed – Carlshøjvej, Lyngby.

De røde felter i tabel 2 angiver ved hvilken vindhastighed og afstand, der vil kunne ske overskridelse af B-værdien for PCE. For de øvrige målte og analyserede stoffer ligger immissionsværdierne mindst 500 gange under de værdier, der er målt for PCE. Da B-værdierne for disse stoffer samtidig er højere, vil immissionskoncentrationer af disse stoffer i nærhedszonen ikke overskride B-værdierne.

På baggrund af ovenstående OML-immissionsberegninger er det konkluderet, at koncentrationen af samtlige målte og analyserede stoffer ligger på et niveau, hvor de ventilerede koncentrationer for enkeltstofferne vurderes at kunne overholde de respektive B-værdier uden kulfilter. Ved anvendelse af nærhedszoneberegninger ses det dog, at der under særligt svage vindforhold kan ske overskridelse af B-værdierne tæt på afkastene, når der ikke er monteret velfungerende kulfiltre.

Immissionsberegninger som vist i eksemplet fra Carlshøjvej kan altså benyttes til vurdering af, om der skal benyttes kulfiltre til luftrensning eller ej. Endvidere viser eksemplet, at det ligeledes er vigtigt, at der tages højde for de konkrete forhold på lokaliteten, så som afkasthøjde, placering af bygninger ol. ved vurdering af immissionerne. Der kan ydermere være principielle grunde til at benytte kulfiltre til rensning, da der kan være virke paradoksalt at fjerne forurening fra umættet zone for at lede den direkte til udeluften.



## 3 Feltlokaliteter

Siden 1999 er passiv ventilation blevet brugt flere steder i Danmark for at reducere risikoen for forurening af grundvandet. Denne erfaringsopsamling fokuserer på lokaliteter, hvor formålet med brugen af passiv ventilation primært har været at begrænse spredningen af forurening med klorerede opløsningsmidler fra den øvre moræneler via en umættet zone til grundvandet.

Det er under dataindsamlingen lykkedes at finde frem til i alt 14 anlæg med passiv ventilation placeret på forskellige lokaliteter rundt i Danmark. I Region Hovedstaden er der etableret 11 anlæg med passiv ventilation, i Region Sjælland er der 2 anlæg, mens der findes 1 anlæg i Region Syddanmark. Anlæggene er placeret på følgende adresser:

- Carlshøjvej 53, Kgs. Lyngby
- Virumvej 84B, Virum
- Læssevej 3, Værløse
- Amtsvej 2-4, Allerød
- Prins Valdemars Allé 14, Allerød
- Allerødvej 2-10, Allerød
- Svenskelejren 23, Brønshøj
- Skovlunde Byvej 96A, Skovlunde
- Smallegade 52, Frederiksberg
- Gillelejevej 28B, Esbønderup
- Toftebakken 5-9, Birkerød
- Nygade 37, Fakse
- Torvegade 26, Fakse
- Møllevej 12, Askov

I bilag 1 findes beskrivelser af de forskellige lokaliteter, monitoringsdata, oversigtskort o.l.

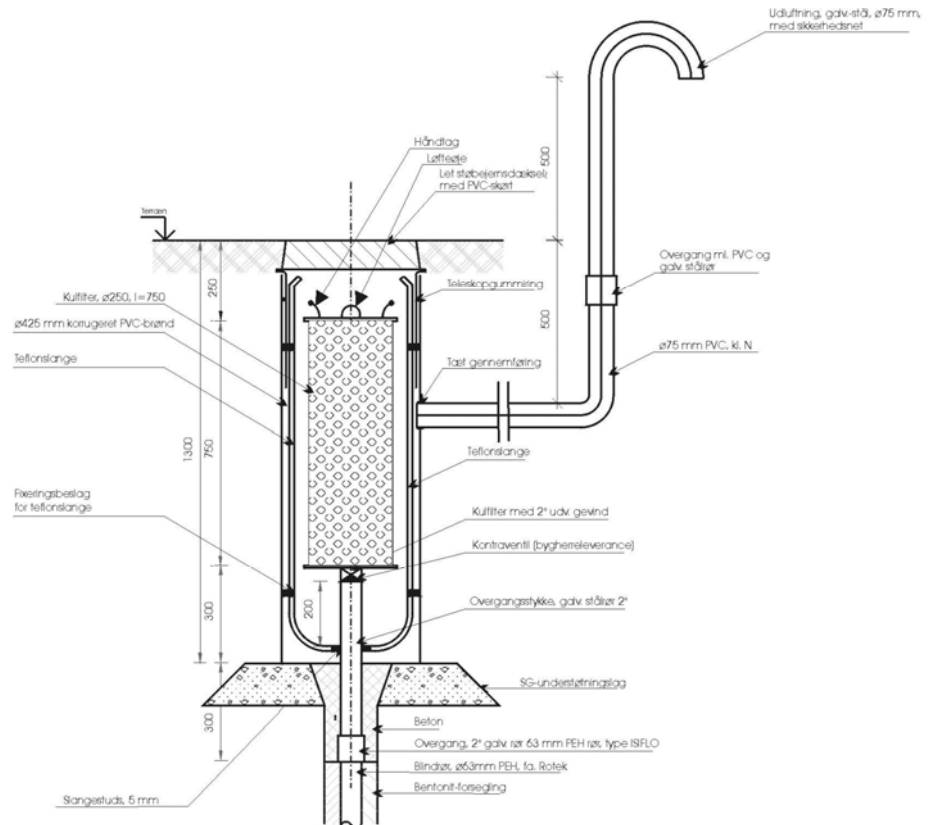
### 3.1 Anlægstyper

De 14 etablerede anlæg med passiv ventilation kan deles op i 3 hovedtyper set i forhold til systemopbygningen:

- Tørbrønd med kulfilter
- Ventilationsledninger tilsluttet fælles manifold
- Ventilationsledninger ført til afkast over hustag

Boringerne for passiv ventilation er typisk filtersat med ø63 PEH filterrør. Afslutningen på boringerne kan derimod være forskellige og kan konstrueres i forhold til forholdene på den enkelte lokalitet.

### 3.1.1 Tørbrønd med kulfilter



Figur 8: Opbygning af tørbrønd med kulfilter

Tørbrønden med kulfilter er typisk en  $\varnothing$  425 mm brønd, hvor der er plads til montering af et kulfilter med en diameter på 250 mm. På blindrøret er der monteret et 2'' overgangsstykke af galvaniseret stål. I dette rør er der umiddelbart før overgangen til kulfilteret monteret en én-vejs ventil. For udluftning i brønden er der monteret et udluftningsrør, der er ført over terræn og afsluttet i en svanehals.



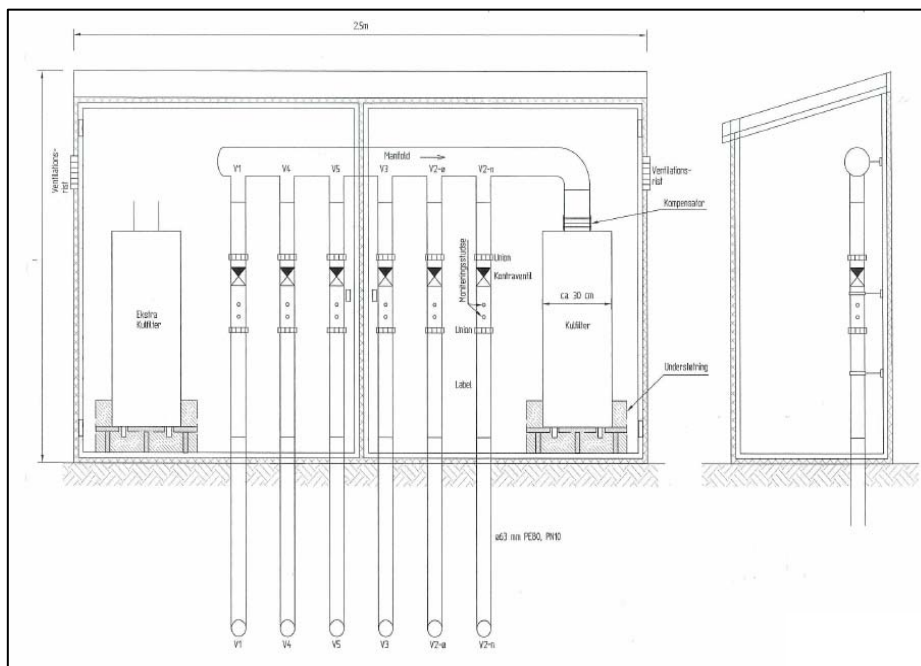
Figur 9: Foto af tørbrønd med kulfilter.

### 3.1.2 Ventilationsledninger tilsluttet fælles manifold

De filtersatte boringer føres til en fælles manifold over eller under terræn via ventilationsledninger. Inden manifolden monteres der i hver ventilationsledning en én-vejs ventil. På de fleste lokaliteter med denne anlægstype findes manifolden over terræn, placeret i et metalskab, jf. figur 10. Inden overgangen til manifolden er der monteret en én-vejs ventil.



Umiddelbart under ventilen er der lavet to monteringshuller, hvori det er muligt at måle differenstryk og luft hastighed samt udtage luftprøver til analyse. Desuden kan overgangsstykket med kontraventilen afmonteres, hvilket kan være nyttigt ved monitoring og driftseftersyn.

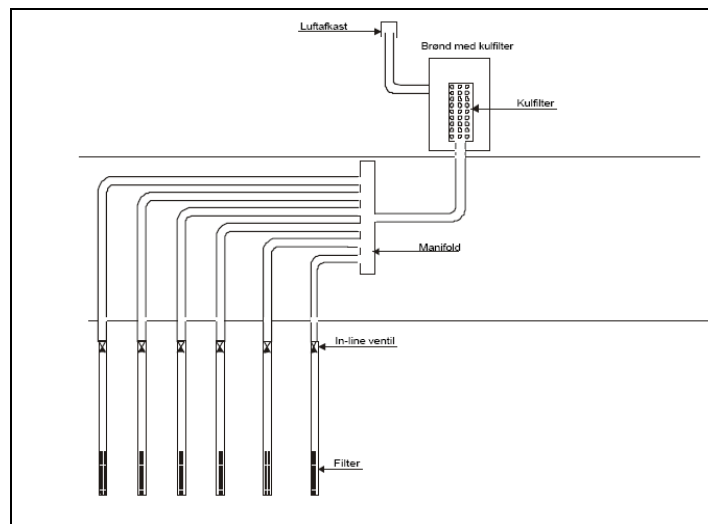


Figur 10: Opbygning af ventilationsledning tilsluttet fælles manifold over terræn.



Figur 11: Foto af skab til ventilationsledninger tilsluttet fælles manifold over terræn. Til venstre er en INNOVA 1312-A gasmåler placeret i forbindelse med monitoring af gaskoncentrationer. Til højre ses kulfiltret og i bunden ses et nyt kulfilter.

På én lokalitet – Nygade i Fakse, er manifolden placeret under terræn. Derfra ledes det fælles afkast fra borerne over terræn til en brønd, hvori der er monteret et kulfilter, jf. figur 12.

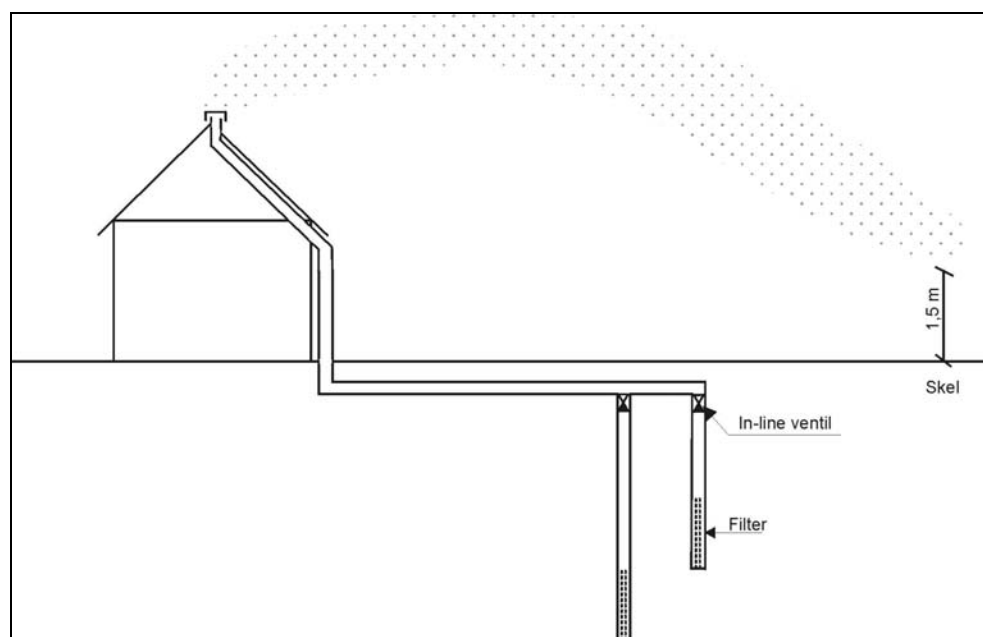


Figur 12: Ventilationsledning tilsluttet fælles manifold under terræn.

### 3.1.3 Ventilationsledninger ført til afkast over tag

På lokaliteten Møllevvej i Askov er de filtersatte boringer enkeltvis via rørføringer ført op langs husmuren til afkast over taget, jf. figur 13. Hver boring på lokaliteten består af to filtre placeret i forskellige dybder.

Ved denne anlægstype er der ikke monteret et kulfilter, da afkastet ledes op i en højde, hvor koncentrationerne ikke vurderes at udgøre en risiko. Det vil dog afhænge meget af koncentrationsniveauerne, om denne anlægstype bør anvendes.



Figur 13: Ventilationsledning ført til afkast over tag.

### 3.2 Sammenfatning af nøgleparametre

I tabel 3 og 4 er en række nøgleparametre for de eksisterende anlæg for passiv ventilation listet. I tabel 3 findes oplysninger om etableringsår, antallet af passiv ventilationsboringer for lokaliteten og anlægstype.

Af tabel 3 fremgår det, at flere af de først etablerede anlæg for passiv ventilation, etableret omkring 1999, er anlæg af typen ”tørbrønd med kulfilter”. Flere af de nyere anlæg er derimod etableret med ventilationsledninger tilsluttet fælles manifold.

Lokalitet	År for etablering	Antal boringer	Anlægstype
Carlshøjvej, Lyngby	1999	5	Brønd med kulfilter Afkast via svane Hals
Virumvej, Virum	2003	12	Ventilationsledninger tilsluttet fælles manifold uden kulfilter
Læssevej, Værløse	2004	13	Ventilationsledninger tilsluttet fælles manifold med kulfilter
Amtsvej, Allerød	1999	6	Brønd med kulfilter Afkast via svane Hals
Prins Valdemars Allé, Allerød	1999	5	Brønd med kulfilter Afkast via svane Hals
Allerødvej, Allerød	1999	2	Brønd med kulfilter Afkast via svane Hals
Svenskelejren, Brønshøj	2003	5	Ventilationsledninger tilsluttet fælles manifold med kulfilter
Skovlunde Byvej, Skovlunde	1999	6	Brønd med kulfilter Afkast via svane Hals
Smallegade, Frederiksberg	2005	4	Brønd med kulfilter Afkast via svane Hals
Gillelejevej, Esbønderup	2006	5	Ventilationsledninger tilsluttet fælles manifold med kulfilter
Toftebakken, Birkerød	2002	9	Brønd med kulfilter Afkast via svane Hals
Nygade, Fakse	1999	8	Ventilationsledninger tilsluttet manifold u. terræn. Afkast til brønd m. kulfilter
Torvegade, Fakse	2001	10	Ventilationsledninger tilsluttet fælles manifold med kulfilter
Møllevej, Askov	1999	6	Ventilationsledninger ført til samlet afkast over hustag.

Tabel 3: Etableringsår og anlægstyper på de enkelte lokaliteter.

I tabel 4 er dæklagstykkelse, jordtype i umættet zone, differenstræk og flowdata listet. På alle lokaliteter er dæklaget karakteriseret som moræneler, dvs. der må forventes en vis variation i dæklagets effektive permeabilitet.

Differenstrækkene er angivet som de minimum- og maksimumværdier, der er observeret ved måling med differenstræklogger. Dette betyder, at værdierne udelukkende er et udtryk for trykforskelle, der forekommer meget kortvarigt, og det er derfor ikke værdier, der kan forventes ved manuelt udførte målinger.

Det maksimale flow angivet i tabellen er det højeste flow, der er målt i boringerne på den enkelte lokalitet. Disse flow er enten målt manuelt på givent tidspunkt eller under en kontinuer test. Middelflowet angiver derimod det gennemsnitlige flow, der kan forventes pr. filter på den enkelte lokalitet. I dette estimat er der desuden taget højde for, at der kun kan forventes flow ud af boringerne ca. 50 % af tiden.

Lokalitet	Dæklags-tykkelse*	Jordtype umættet zone	Tykkelse Umættet zone	Filterlængde i umættet zone	Differens-tryk** (mbar)	Middel Flow**** (m <sup>3</sup> /t pr. filter)	Maks Flow**** (m <sup>3</sup> /t pr. filter)
Carls højvej, Lyngby	Ca. 6 m	Sand	19 m	2,5 m***	-25 til +15	0,51	2,7
Virumvej, Virum	Ca. 5 m	Sand	15 m	12 m	± 20	1,2	18
Læssevej, Værløse	Ca. 8 m	Sand	24 m	10 m	± 15	1,3	5,4
Amtsvej, Allerød	Ca. 10 m	Sand	2 m	2 m	± 11	0,49	10
Prins Valdemars Allé, Allerød	Ca. 10 m	Sand	2 m	2 m	± 11	0,42	10
Allerødvej, Allerød	Ca. 10 m	Sand	2 m	1,5 m	± 11	0,28	10
Svenskelejren, Brønshøj	Ca. 10 m	Sand	3 m	3 m	± 15	1,6	10,8
Skovlunde Byvej, Skovlunde	Ca. 10 m	Sand	3 m	3 m	-14 til +19	0,65	4,0
Smallegade, Frederiksberg	5-7 m	Sand	0,3 m	0,3 m	± 8	0,2	3,6
Gillelejevej, Esbønderup	Ca. 10 m	Sand	13 m	6-8 m	-12 til +6,6	1,6	12
Toftebakken, Birkerød	Ca. 10 m	Sand	9 m	9 m	±8	0,1	6
Nygade, Fakse	7-8 m	Kalk	2-3 m	2 m	-8 til + 4	0,2	4,2
Torvegade, Fakse	5,5-8	Grus	4-6 m	4-6 m	± 1,5	0,8	11,4
Møllevej, Askov	6-8 m	Sand	20 m	2,5 m***	- 9 til + 10	2,2	17,0
Gennemsnit alle	-	-	8,6	5,5	-	0,83	8,9

\* Dæklaget består af moræneler.

\*\* Differenstryk målt under pilotforsøg med passiv ventilation. Maksimum og minimum værdierne forekommer kun i korte perioder.

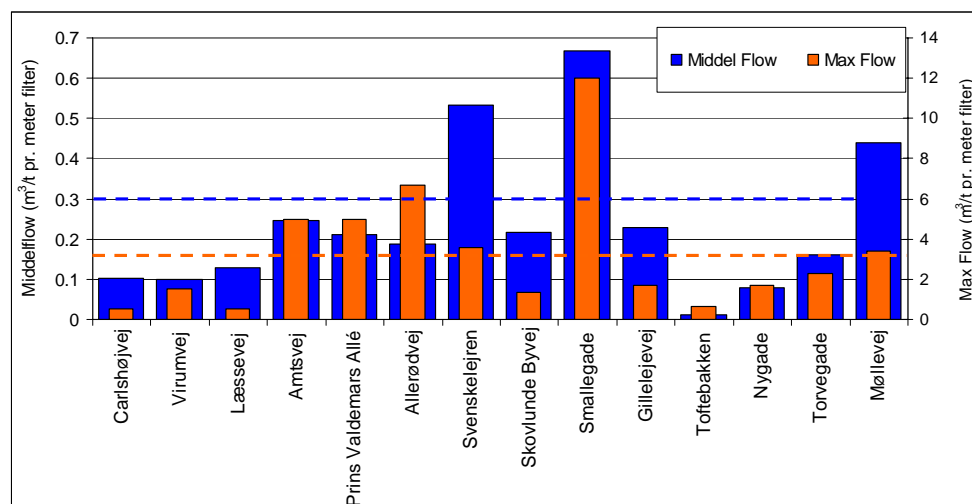
\*\*\* Boringerne er filtersat i 2 niveauer

\*\*\*\* Værdierne for flow kan ikke nødvendigvis sammenholdes med de maksimale differenstryk.

Tabel 4: Dæklagstykkelse, jordtype i umættet zone, differenstryk og luftflow for lokaliteterne.

Som det fremgår af tabel 4, varierer det gennemsnitlige flow for boringerne på de enkelte lokaliteter mellem 0,1 og 2,2 m<sup>3</sup>/t og med et gennemsnit på 0,83 m<sup>3</sup>/t. Tilsvarende varierer de maksimalt målte flow mellem 4,2 og 18 m<sup>3</sup>/t med et gennemsnit på 8,9 m<sup>3</sup>/t.

I figur 14 er værdierne for middel- og maksimalt flow pr. meter filter illustreret – dvs. korrigeret for længden af de enkelte filtre. Middelflowet ligger mellem 0,1 og 0,67 m<sup>3</sup>/t pr. meter filter, mens flowet gennemsnitligt ligger på 0,2 m<sup>3</sup> pr. time pr. meter filter. Variationen i middelflowet er således ca. en faktor 5 imellem de forskellige lokaliteter. Tilsvarende ses også, at det maksimale flow varierer mellem 0,5 og 12 m<sup>3</sup>/t pr. meter filter, og med et gennemsnit på 3,3 m<sup>3</sup>/t pr. meter filter.



Figur 14: Middelflow og maksimalt flow målt ved monitoring. De stiplede linier angiver middelværdien. Bemærk middelflow (blå søjler) på venstre akse og max flow (orange søjler) på højre akse.

### 3.3 Koncentrationsudvikling i umættet zone

Ved passiv ventilation vil det porevolumen, som ventilationsboringerne dækker, blive udskiftet et antal gange i løbet af et år. Dette antal afhænger af, hvor stort et areal borerne dækker, boringernes filterlængde i sandlaget samt middelflowet ud af borerne. Som det fremgår af tabel 5, ligger antallet af porevolumen-udskiftninger mellem 21 og 103 gange pr. år. I tabel 5 er reduktionen af klorerede opløsningsmidler i poreluften ved passiv ventilation ligeledes listet for de forskellige lokaliteter. Det fremgår, at der generelt ses reduktion i koncentrationen, samt at den for flere lokaliteter ligger over 70%. Den samlede mængde klorerede opløsningsmidler, der er fjernet ved passiv ventilation, ligger mellem 0,3 og 70 kg for driftsperioder mellem 2 og 9 år.

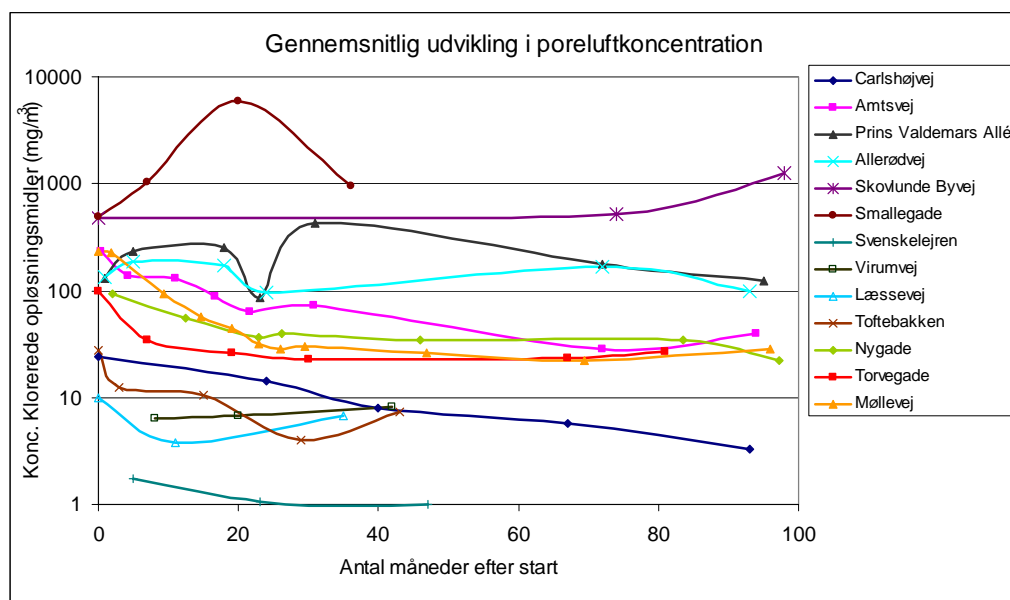
Lokalitet	Jordvolumen der ventileres ** m <sup>3</sup>	Udskiftning af porevolumen pr. år	Reduktion af poreluft koncentration %	Antal driftsår	Mængde fjernet v. passiv ventilation kg
Carlsøjvej, Lyngby	7.000	21	86	9	2,5
Virumvej, Virum	10.800	39	98*	5	4
Læssevej, Værløse	11.000	45	33	4	2,5
Amtsvej, Allerød	1.800	48	83	9	11
Prins Valdemars Allé, Allerød	1.800	34	6,3	9	28
Allerødvej, Allerød	700	23	27	9	6
Svenskelejren, Brønshøj	2.400	97	42	5	0,3
Skovlunde Byvej, Skovlunde	3.000	38	Stigning	9	>50
Smallegade, Frederiksberg	225	103	Stigning	3	55
Gillelejevej, Esbønderup	5.000	47	57*	2	3
Toftebakken, Birkerød	2.400	10	33	6	0,7
Nygade, Fakse	2.000	23	76	9	7,5
Torvegade, Fakse	9.000	26	73	7	12
Møllevej, Askov	15.000	47	88	9	70

\* incl. aktiv ventilation

\*\* Estimeret ved influensradius på 5-10 m.

Tabel 5: Volumet umættet zone der ventileres, porevolumenudskiftninger, reduktion i poreluftkoncentrationer, antal driftsår samt samlet mængde klorerede opløsningsmidler fjernet ved passiv ventilation.

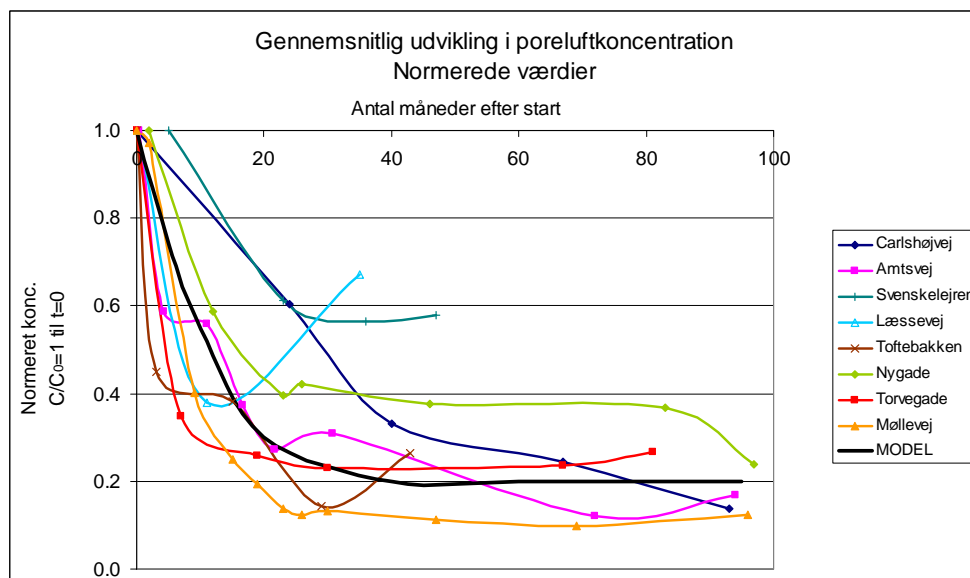
Passiv ventilation giver typisk en relativ hurtig reduktion af koncentrationerne af klorerede opløsningsmidler i den umættede zone. Dette er forsøgt illustreret i figur 15 ved at se på koncentrationsudviklingen i den umættede zone fra før anlægget for passiv ventilation blev etableret og til den seneste monitoring på anlægget. De benyttede koncentrationer er et gennemsnit af koncentrationerne fundet i de forskellige boringer på den respektive lokalitet. Koncentrationerne er angivet på en logaritmisk akse for at gøre det muligt at illustrere både høje og lave koncentrationer. Lokaliteten Gillelejevej er ikke illustreret i figuren, da der på nuværende tidspunkt kun er udført én monitoringsrunde på anlægget under passiv ventilation.



Figur 15: Gennemsnitlig koncentrationsudvikling for samtlige anlæg (Gillelejevej undtaget)

Det fremgår af figur 15 samt tabel 5, at alle anlæg med passiv ventilation ikke konsekvent har vist faldende poreluftkoncentrationer, men der ses dog faldende koncentrationer for størstedelen af anlæggene. Det er specielt på lokaliteterne Smallegade, Skovlunde Byvej og Prins Valdemars Allé, at der er set stigninger i poreluftkoncentrationen efter etablering af boringer for passiv ventilation. På Prins Valdemars Allé og Smallegade er der dog sket et fald i koncentrationerne ved den seneste monitoring.

For at give en mere sammenlignelig illustration af koncentrationsudviklingen er koncentrationerne normeret. Desuden er kun anlæggene, hvor der ses entydigt faldende koncentrationer illustreret, i figur 16.



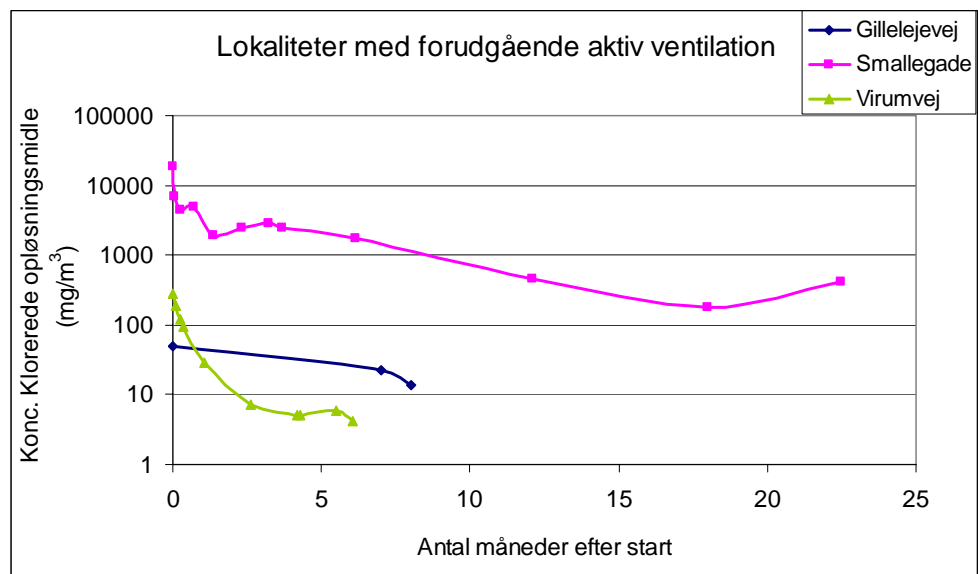
Figur 16: Gennemsnitlig koncentrationsudvikling ved normerede koncentrationer – anlæg med stigende koncentrationer er undtaget.

Det fremgår af figur 16, at der i løbet af de første ca. 20 måneder efter etablering sker en relativt stor reduktion i koncentrationerne. Denne tendens er især tydelig for lokaliteterne Amtsvej, Møllevvej, Nygade, Torvegade og

Carlshøjvej. Det ses ligeledes, at koncentrationerne efter ca. 3 års drift generelt stabiliseres.

For de relativt nye anlæg Svenskelejren, Toftebakken og Læssevej er der generelt fundet relativt lave startkoncentrationer. I disse tilfælde ser det umiddelbart ud til, at det passive anlæg holder koncentrationerne nede på det lave niveau. Det er i figur 16 forsøgt at estimere den gennemsnitlige koncentrationsudvikling for alle de illustrerede lokaliteter, jf. figur 16, model. Denne graf følger i løbet af de første ca. 3 år en første ordensudvikling med en fjernelsesrate på 0,002 pr. dag, hvorefter koncentrationen forbliver stabil på ca. 20% af startkoncentrationen.

På lokaliteterne Gillelejevej, Smallegade og Virumvej er der forud for den passive ventilation blevet ventileret aktivt i området. Effekten af den aktive ventilation ses i figur 17. De 3 lokaliteter viser, at den aktive ventilation resulterer i en kraftig reduktion af poreluftkoncentrationerne efter 5-10 måneders drift. På Virumvej er koncentrationen reduceret fra ca. 300 mg/m<sup>3</sup> til under 10 mg/m<sup>3</sup> ved aktiv ventilation gennem et halvt år, hvorefter anlægget er overgået til passiv ventilation. Ved den aktive ventilation er der opnået en udskiftning af porevolumenet på ca. 400 gange i løbet af ½ års drift, jf. tabel 6. Gennem de efterfølgende ca. 3 år med passiv ventilation på Virumvej har koncentrationen været stabil, og det har altså været muligt at holde koncentrationen under 10 mg/m<sup>3</sup>, jf. figur 15.



Figur 17: Gennemsnitlig koncentrationsudvikling ved aktiv ventilation.

På lokaliteten Smallegade er koncentrationen reduceret ved aktiv ventilation, og efter ca. 2 års aktiv drift er anlægget overgået til passiv ventilation. Efter at den passive ventilation er etableret, er der monitoreret 3 gange på lokaliteten, og koncentrationerne har været svingende. Passiv ventilation har indtil nu ikke vist at kunne reducere koncentrationerne på Smallegade, men da anlægget kun har fungeret i ca. 3 år, kan det være for tidligt at konkludere, om den passive ventilation har tilstrækkelig effekt.

På Gillelejevej er den passive ventilation startet i 2006, og der er som nævnt kun foretaget monitorering én gang siden indkøringen af anlægget. Det er derfor endnu ikke muligt at vurdere, om koncentrationen, der er nedbragt ved aktiv ventilation, kan holdes på et relativt lavt koncentrationsniveau ved passiv drift.



Lokalitet	Udskiftning af porevolumen pr. år	Massefjernelse	Reduktion af poreluft koncentration %
Virumvej	800	30 kg på 6 måneder	98
Gillelejevej	500	5-10 kg på ca. 10 måneder	54
Smallegade	450	10-40 kg på 2 år	98

Tabel 6: Aktive ventilationsanlæg - porevolumenudskiftning, massefjernelse og reduktion af poreluftkoncentration.

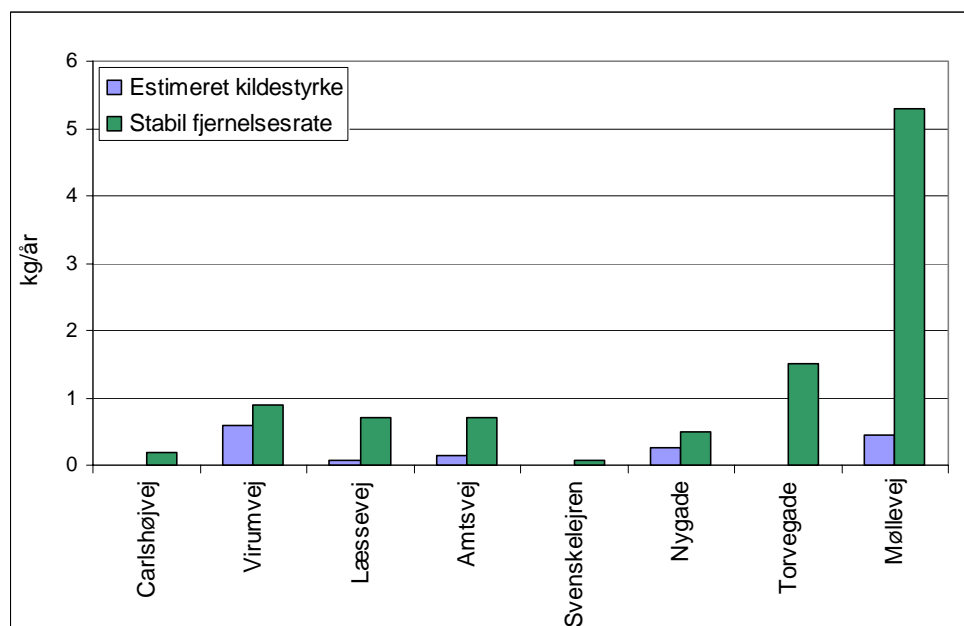
Ved sammenligning af de aktive og passive anlæg ses, at udskiftningen af porevolumener ligger mellem en faktor 4-40 højere for de aktive anlæg i forhold til de passive. Desuden ses, at der ved aktiv ventilation kan fjernes relativt store stofmængder på kort tid, herefter kan der med fordel overgås til passiv ventilation.

### 3.4 Fluxbetragtning

I de tilfælde, hvor koncentrationerne er stabiliseret, vil fjernelsesraten ved passiv ventilation ligeledes være stabil. På baggrund af den konceptuelle model for passiv ventilation som afskæringsmetode, jf. afsnit 2.1, må en stabil fjernelsesrate i umættet zone tilnærmelsesvis svare til fluxen fra dæklaget til umættet zone. Dette betyder altså, at når koncentrationen er stabiliseret, vil den stofmængde, der transporteres fra dæklaget til det umættede sand/kalklag, blive fjernet ved passiv ventilation eller udvasket til grundvandet. Dette må ligeledes betyde, at fluxen fra den umættede zone til den mættede zone vil være reduceret, da poreluftkoncentrationen og dermed også porevandskoncentrationen i det infiltrerende vand vil være reduceret.

For de lokaliteter, hvor der er opnået en stabil koncentration, er fjernelsesraten under disse stabile forhold estimeret. Denne er sammenholdt med den kildestyrke, der er vurderet ved opstart af den passive ventilation og de gennemførte forureningsundersøgelser. Som det fremgår af figur 18, ligger fjernelsesraten og dermed fluxen fra dæklaget på mellem 70 g/år for Svenskelejren og 5,3 kg/år for Møllevej. Lokaliteterne Virumvej, Læssevej, Amtsvej, Nygade og Torvegade er alle tidligere mindre renserier, hvor kildestyrken kun varierer mellem 0,5 og 1,5 kg/år. Møllevej har en væsentlig større kildestyrke, hvilket skyldes, at der er tale om et tidligere industrivaskeri, hvor der er anvendt større mængder PCE, samtidigt med at det forurenede område i dæklaget er større end for de mindre renserier.

Generelt ses der en tendens til, at den estimerede kildestyrke er en faktor 10 mindre end den flux, der forekommer fra dæklaget under stabiliserede forhold. Dette er et udtryk for den usikkerhed, der er på at estimere en kildestyrke ud fra en forureningsundersøgelse, hvilket indikerer, at kildestyrken generelt underestimeres.



Figur 18: Estimeret kildestyrke og fjernelsesrate ved stabiliseret koncentration. Der er ikke fundet kildestyrke for Carlshøjvej og Torvegade.

### 3.5 Status for fel t lokaliteter

I det følgende gives en kort status for alle anlæggene med passiv ventilation. I bilag 1 findes yderligere oplysninger om lokaliteterne, monitoringsdata, situationsplaner o.l.

#### ***Carlshøjvej, Lyngby***

Koncentrationerne af klorerede opløsningsmidler på Carlshøjvej er siden anlæggets etablering i 1999 reduceret med ca. 80%, og alle målte poreluftkoncentrationer ligger nu under  $9 \text{ mg/m}^3$ .

Immisionsberegninger har vist, at det ikke længere er nødvendigt at benytte kulfiltre på lokaliteten.

#### ***Virumvej, Virum***

Koncentrationerne af klorerede opløsningsmidler på Virumvej har været stabil siden den aktive ventilation blev stoppet i 2003. Under den aktive ventilation er koncentrationen reduceret fra ca.  $300 \text{ mg/m}^3$  til under  $10 \text{ mg/m}^3$ .

Koncentrationen har ved monitoringsrunderne udført under den passive ventilation gennemsnitligt ligget omkring  $6\text{-}8 \text{ mg/m}^3$ .

#### ***Læssevej, Værløse***

Koncentrationerne af klorerede opløsningsmidler ligger på samme niveau –  $<10 \text{ mg/m}^3$ , som under indkøringen af anlægget i 2005.

#### ***Amtsvej, Allerød***

Siden etableringen af borerne for passiv ventilation på Amtsvej i Allerød i 1999, er grundvandsspejlet steget fra 12-15 m u.t. /ref. 1/ til 9-9,5 m u.t. Dette betyder, at der på lokaliteten ikke længere findes en umættet zone i sandlaget. Borerne for passiv ventilation vurderes derfor ikke længere at have nogen effekt. Koncentrationerne af klorerede opløsningsmidler er dog faldet med ca. 80% siden 1999.

### ***Prins Valdemars Allé, Allerød***

Som for Amtsvej er grundvandsspejlet på Prins Valdemars Allé i Allerød steget siden etableringen af borerne for passiv ventilation i 1999. På denne lokalitet findes der dog stadig et umættet sandlag på ca. 0,5 m, så ventilationslaget er endnu ikke helt væk. Koncentrationen af klorerede opløsningsmidler har varieret meget siden 1999, og der er i gennem perioden især fundet høje koncentrationer i én boring (PV5). Der er dog fra 1999-2002, inden stigningen af grundvandsspejlet, generelt sket en reduktion i poreluftkoncentrationerne. Gennemsnitskoncentrationen for lokaliteten lå under den seneste monitoringsrunde på samme niveau som startkoncentrationen.

### ***Allerødvej, Allerød***

På lokaliteten Allerødvej er tykkelsen af ventilationslaget ligeledes blevet reduceret med tiden, og stort set intet af den umættede zone ventileres for øjeblikket. Der er især fundet høje koncentrationer af klorerede opløsningsmidler i den ene af de to borer, og koncentrationen har været meget varierende siden etableringen. Der er fra etableringen i 1999 og frem til 2003 sket et fald i poreluftkoncentrationen i begge borer for passiv ventilation, mens koncentrationen derefter er steget i den ene boring og fortsat er faldet i den anden.

### ***Svenskelejen, Brønshøj***

Koncentrationen af klorerede opløsningsmidler i den umættede zone har været stabil siden etableringen af anlægget for passiv ventilation i 2003, hvilket betyder, at koncentrationen ligger under 10 mg/m<sup>3</sup>.

### ***Skovlunde Byvej, Skovlunde***

Monitoringen af klorerede opløsningsmidler i afkastluften fra afværgeboringerne for passiv ventilation på Skovlunde Byvej vurderes at vise en generel stigning i koncentrationsniveauet af PCE og TCE fra november 1999 til januar 2008 – især i boring B57, mens koncentrationen i de øvrige borer ligger i samme størrelsesorden som i 1999.

### ***Smallegade, Frederiksberg***

Monitoringerne på Smallegade under den passive ventilation viser ingen generel koncentrationsudvikling. Ved aktiv ventilation er koncentrationen reduceret fra 19.000 mg/m<sup>3</sup> til under 1.000 mg/m<sup>3</sup>, men siden der udelukkende er ventileret passivt på lokaliteten, har koncentrationen været svingende, og der er under den seneste monitoringsrunde fundet en koncentration på 3.300 mg/m<sup>3</sup> i én af de 4 borer. Lokaliteten afviger i forhold til de øvrige lokaliteter, da sandlaget, der ventileres, kun er ca. 30 cm tykt.

Det overvejes om der igen skal ventileres aktivt på lokaliteten. Dette afhænger dog af resultaterne af den næste monitoringsrunde.

### ***Gillelejevej, Esbønderup***

Koncentrationen af klorerede opløsningsmidler er reduceret med ca. 70% ved aktiv ventilation. Der er kun udført én monitoringsrunde siden det aktive anlæg er stoppet, og denne har vist, at koncentrationerne generelt ligger på samme niveau som ved afslutningen af den aktive ventileringsperiode.

### ***Toftebakken, Birkerød***

På Toftebakken findes der ud over de 9 borer for passiv ventilation også et vandbehandlingsanlæg. Det er skønnet, at vandbehandlingsanlægget fra 2002

til 2007 har fjernet ca. 47 kg TCE, mens der til sammenligning er fjernet 700 g er fjernet ved passiv ventilation.

Det er foreslået, at monitoringen af borerne for passiv ventilation stoppes, da immissionen anslås at være relativt lav.

#### ***Nygade, Fakse***

For lokaliteten Nygade i Fakse er koncentrationen af klorerede opløsningsmidler i det umættede sandlag reduceret med ca. 77% siden 2000. Det er vurderet, at koncentrationen fundet under de seneste to monitoringsrunder (2006 og 2008) er ligevægtskoncentrationen mellem den mængde, der tilføres fra det overliggende moræneler, og den mængde, der fjernes ved den passive ventilation.

Koncentrationen i kalken er reduceret med ca. 67% siden 2000, og det vurderes, at der ved den seneste monitoringsrunde i 2008 er opnået et stabilt koncentrationsniveau på 5-10 mg/m<sup>3</sup>.

#### ***Torvegade, Fakse***

På lokaliteten Torvegade i Fakse er koncentrationen af klorerede opløsningsmidler generelt faldet siden opstart i 2001. Koncentrationen i poreluften er i gennemsnit faldet med 73% siden 2001.

#### ***Møllevej, Askov***

Koncentrationen af klorerede opløsningsmidler på lokaliteten Møllevej i Askov er siden etableringen af borerne for passiv ventilation i 1999, reduceret med over 85%. Gennem de seneste monitoringsrunder er koncentrationen i umættet zone stabiliseret og ligger omkring 20 mg/m<sup>3</sup>.

Bygningen på lokaliteten er for nyligt blevet revet ned, og under bygningen er hot-spot for forureningen fundet. Dette fund vil sandsynligvis føre til, at en del af den forurenede jord vil blive fjernet, hvorefter der vil blive etableret en række nye borer for passiv ventilation for at kontrollere spredningen af en eventuel restforurening.

### 3.6 Drift og monitorering

For anlæggene med passiv ventilation har monitoringsfrekvensen typisk været én gang hvert eller hvert andet år. Der er dog en enkelt lokalitet, hvor der ikke er foretaget monitorering af poreluften gennem de første ca. 7 års drift.

Under monitoringen på de enkelte lokaliteter måles generelt følgende parametre:

- Drivtryk i borer for passiv ventilation
- Luftflow i borer for passiv ventilation
- Indhold af klorerede opløsningsmidler i poreluften
- PID-måling på luften efter gennemstrømning af kulfilter

Drivtrykket i borerne kan måles med et micromanometer, mens flowet kan måles med en lufthastighedsmåler, eller på en mere primitiv måde med en plastpose og et stopur. Indholdet af klorerede opløsningsmidler i den udstrømmende luft fra borerne kan måles ved at udtage luftprøver på kulrør eller ved at måle med en gasmåler, der kan måle klorerede

opløsningsmidler. For at afgøre, om der er gennemslag på kulfilteret, måles der for flygtige stoffer på luften efter gennemstrømning af kulfilteret med en PID-måler. Måles der indhold af flygtige stoffer i afkastet fra kulfilteret, skal kullene i filteret skiftes.

De bedste resultater opnås, hvis der måles under faldende tryk, da der derved vil være flow ud af borerne. Er der ikke faldende tryk under monitoringen, kan der ikke måles flow og drivtrykket vil ikke være opadrettet. Der kan dog måles indhold af klorerede opløsningsmidler i poreluften ved aktivt at pumpe luften op.

Under monitoringen tjekkes det om de forskellige komponenter i systemet fungerer. Her er eksempelvis tale om rørføringer, svanehalse, én-vejs ventiler, ventilationsskabe og kulfiltre. Den komponent, der typisk er fundet skadet på, er kulfiltrene, og her er det især filtrene placeret under terræn, der er tale om.

Miljøet i brøndene er ofte fugtigt, hvilket resulterer i rustdannelser på filtrene. På billederne i figur 19 ses eksempler på rustangreb på to kulfiltre, hvor filteret til venstre kun er delvis angrebet, mens filteret til højre er gennemtæret, hvilket har forårsaget, at filterets ydernet er revnet.



Figur 19: Eksempler på rustangreb på kulfiltre.

Kulfiltrene er typisk ikke renoveret, med mindre der har været registreret gennemslag. Dette har betydet, at filtrene på nogle lokaliteter ikke har været renoveret i 7-9 år. Dette er dog ikke hensigtsmæssigt, da ydernetene tæres så kraftigt, at filteret revner, når det skrues af.

Erfaringen viser, at komponenter så som én-vejs ventiler ikke kræver særlig hyppig udskiftning. Det kan dog være nødvendigt at skifte én-vejs ventilerne i forbindelse med renovering af kulfiltrene, da de grundet det fugtige miljø i brøndene kan være rustet. Det er dog kun ståltrådene i én-vejs ventilen, der rustet, jf. figur 20, og der er således ikke konstateret egentlige driftsproblemer som følge af rust.



Figur 20: Én-vejs ventil.

Der er i forbindelse med kulskifte grundet gennemslag udtaget prøver af brugte kul fra 4 kulfiltre fra henholdsvis Allerødvej, Skovlunde Byvej, Torvegade og Nygade. Filteret fra Allerødvej er renoveret sidst i 2001, mens der på Skovlunde Byvej ikke er foretaget kulskift og renovering siden etableringen i 1999. På både Torvegade og Nygade er kulfiltrene sidst renoveret i 2006.

Koncentrationerne af klorerede opløsningsmidler på kullene viser, at der ved en samlet mængde kul på 14 kg pr. filter er adsorberet mellem 444 og 1.030 g stof pr. filter, jf. bilag 2. Dette giver en mætning af kullene på mellem 3 og 9% af kulvægten. Pilotforsøg udført omkring 1999, hvor de første anlæg for passiv ventilation blev etableret viste, at der kunne forventes en adsorptionskapacitet på 10-20% af kullenes vægt. Den fundne mætning af de analyserede kul ligger dermed noget under den forventede adsorptionskapacitet. Ved dimensionering og drift bør der således kun kalkuleres med en adsorptionskapacitet på ca. 3-5% af den samlede vægt af kullene.

### 3.6.1 Økonomi – drift og monitorering

På baggrund af de monitoringsrunder og driftseftersyn, som NIRAS har udført på anlæggene for passiv ventilation, er der i tabel 7 og 8 opstillet et overslag over de drifts- og monitoringsomkostninger, der kan forventes ved passiv ventilation.

	Udgift excl. moms
Monitorering incl. notat	30.000,-
Analyse af kulrør – poreluft	700,- pr. kulrør
Diverse udlæg	1.000,-
I alt	Ca. 35.000 til 40.000 afhængigt af antallet af boringer

Tabel 7: Oversigt over monitoringsomkostninger, excl. moms.

Der bør udføres en årlig monitoringsrunde gennem de første ca. 3-5 år for at sikre, at den passive ventilation fungerer efter hensigten. Når koncentrationerne er faldet til et relativt lavt stabilt niveau, der vurderes at ligge i samme størrelsesorden som fluxen fra dæklaget, kan monitoringsfrekvensen nedsættes til hvert andet til femte år. Monitoringsfrekvensen må vurderes afhængigt af koncentrationsniveauet og lokalitetens omgivelser.

De driftsomkostninger, der er ved passiv ventilation, kommer primært i forbindelse med renovering af kulfiltrene. Som det tidligere er nævnt, vil kulfiltre placeret i et relativt fugtigt miljø under terræn være udsat for rustangreb. Der må derfor påregnes en hyppigere renovering af kulfiltre under terræn i forhold til kulfiltre placeret over terræn. Det kan desuden overvejes at udføre immisionsberegninger for at vurdere om kulfiltre helt kan udelades.

Omkostningerne vil desuden afhænge af koncentrationsniveauet samt luftstrømningen gennem kullene, da høje koncentrationer og luftmængder vil medføre en hurtigere mætning af kullene.

	Udgift excl. moms
Renovering af kulfilter	
- kulsift	1.900,-
- renovering af ydernet	675,-
- renovering af indernet	550,-
Én-vejs ventil	375,-

Tabel 8: Oversigt over driftsomkostninger, excl. moms.

Kulfiltrene benyttet ved passiv ventilation er produceret af Østergaard Filter i Vordingborg og renovering og kulsifte udføres af samme firma. Én-vejs ventiler benyttet til passiv ventilation leveres af Rotek A/S.

De samlede årlige drifts- og monitoringsudgifter, ved én årlig monitoringsrunde og en estimeret renovering og kulsift for to kulfiltre er opstillet i tabel 9.

	Udgift excl. moms pr. år
Renovering af kulfiltre incl. kulsift	6.250,-
Skift af én-vejs ventiler	750,-
Monitering incl. analyser og notat	37.500,-
I alt	44.500,-

Tabel 9: Estimerede samlede drifts- og monitoringsudgifter.excl. moms.

Der kan ved årlig monitering forventes drifts- og monitoringsudgifter i størrelsesordnen 44.500,- pr. år excl. moms, jf. tabel 9.





## 4 Effekten af passiv ventilation som afskæringsmetode

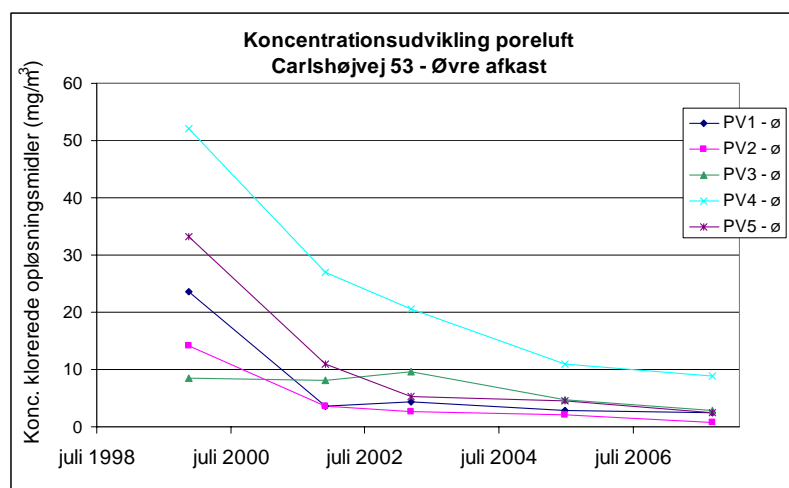
Som beskrevet i afsnit 2.1, er det forventningen, at en reduktion af forureningen i umættet zone alt andet lige vil føre til en reduktion af forureningen i grundvandet, da fluxen fra umættet til mættet zone vil mindskes. For at belyse, om dette er tilfældet, er der udvalgt 4 feltlokaliteter, der har været i drift over en vis årrække. I det følgende vil effekten af passiv ventilation som afværgeløsning for disse lokaliteter blive gennemgået mere indgående.

De 4 lokaliteter er udvalgt ud fra et ønske om at få belyst nogle forskellige typer anlæg og forhold. Desuden har datamængden fra monitoringer o.l. ligeledes været en væsentlig faktor under udvælgelsen af lokaliteterne. I bilag 1 findes data, situationsplaner o.l. for samtlige lokaliteter.

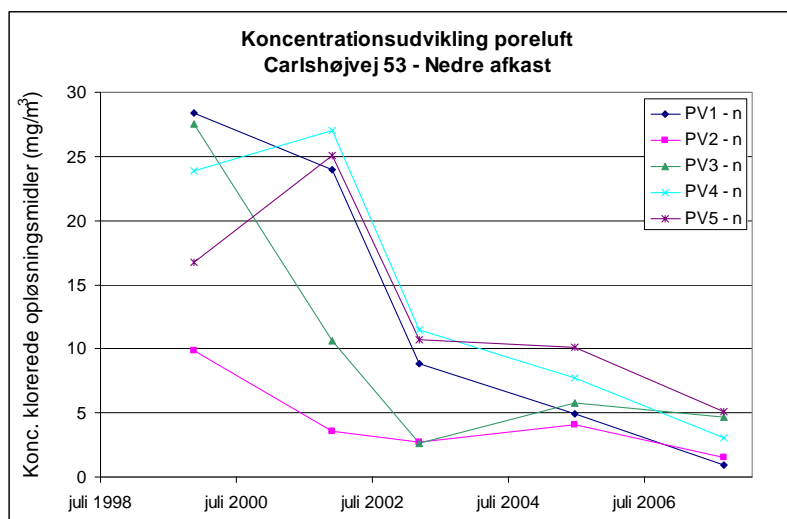
### 4.1 Carlshøjvej, Lyngby

På Carlshøjvej i Lyngby har der fra 1954 til 1970 været et renseri, der har givet anledning til en poreluftforurening i umættet zone med klorerede opløsningsmidler med en udbredelse under dæklaget på ca. 1800 m<sup>2</sup>. På lokaliteten er der i 1999 etableret 5 boringer for passiv ventilation filtersat i umættet zone i to niveauer – 7-12 m u.t. og 18-23 m u.t. Boringerne er afsluttet i ca. 2 m dybe ø1250 mm betonbrønde, hvor et kulfilter er monteret på det samlede afkast fra det øvre og det nedre filter. Fra brønden er et udluftningsrør ført over terræn og afsluttet i en svanehals.

Som illustreret i figur 20 og 21, er poreluftkoncentrationen i de 5 boringer for passiv ventilation faldet siden etableringen i 1999. Koncentrationen i det øvre filter er generelt faldet gennem driftsperioden, mens koncentrationen i det nedre filter har været en anelse svingende. For begge filtre ses dog generelt et fald. De to seneste monitoringsrunder har vist, at koncentrationen er ved at stabiliseres på et niveau under 10 mg/m<sup>3</sup>.



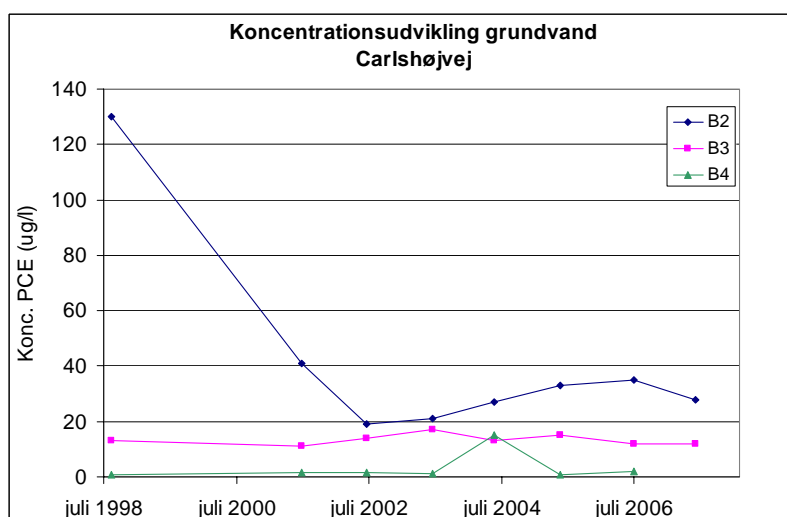
Figur 20: Koncentrationsudvikling for afkastet på det øvre filter.



Figur 21: Koncentrationsudvikling for afkastet på det nedre filter.

#### 4.1.1 Effekt på grundvandsforurening

Koncentrationen af PCE i grundvandet omkring Carlshøjvej er monitoreret fra før de passive ventilationsboringer blev etableret i 1999. Der er foretaget monitorering i 3 boringer (B2, B3, B4) omkring lokaliteten, hvoraf kun boring B2 er beliggende i det område, hvor den passive ventilation har effekt i den umættede zone. Som det fremgår af figur 22, var grundvandskoncentrationen af PCE i 1998 omkring 130  $\mu\text{g/l}$ . Monitoringerne efter etablering af boringerne for passiv ventilation viser en tydelig reduktion i PCE koncentrationen i grundvandet til ca. 20  $\mu\text{g/l}$ . Under de seneste 4 monitoringsrunder har koncentrationen i B2 været svingende, men har ligget i intervallet mellem 20 og 40  $\mu\text{g/l}$ . For de øvrige to monitoringsboringer har koncentrationen været stabil siden 1998, hvilket viser at grundvandsforureningen ikke har spredt sig til områderne omkring disse boringer.



Figur 22: Koncentrationsudvikling i grundvandet, Carlshøjvej

Filtersætningen af boringerne for passiv ventilation i 2 niveauer gør det muligt at vurdere forureningens vertikale spredning i den umættede zone. Koncentrationsniveauet for klorerede opløsningsmidler i umættet zone har været nogenlunde ens for den øvre og den nedre del. Hvis ikke

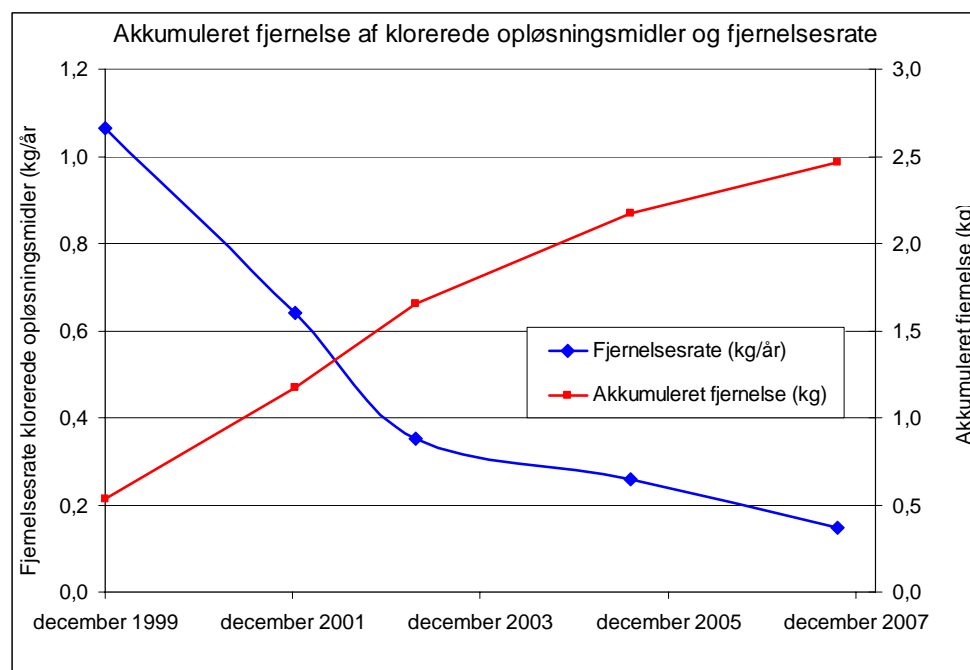
koncentrationen af klorerede stoffer i den øvre del af den umættede zone bliver reduceret, må det forventes, at forureningen ville spredes til den nedre del, og videre ned i den mættede zone.

Moniteringen af koncentrationerne i både umættet og mættet zone viser altså, at den passive ventilering har opfyldt formålet således, at der er sket begrænset spredning af forureningen med klorerede opløsningsmidler fra de øvre jordlag og gennem den umættede zone til grundvandet.

Som vist i tabel 5, er koncentrationen af klorerede opløsningsmidler i poreluften gennemsnitligt reduceret med 86% siden opstarten af passiv ventilation i 1999. I samme periode er koncentrationen i grundvandet reduceret næsten tilsvarende, nemlig med 78%.

#### 4.1.2 Fjernelsesrate

Målinger på Carlshøjvej har vist et gennemsnitligt flow på  $0,51 \text{ m}^3$  pr. time pr. filter, jf. tabel 4. Dette giver et gennemsnitligt flow for hele systemet på  $5,1 \text{ m}^3/\text{time}$ , da der er 5 boringer med 2 filtre i hver. På baggrund af dette flow er fjernelsesraten for det samlede system estimeret og illustreret i figur 23. Fjernelsesraten lå ved opstarten af boringerne for passiv ventilation omkring  $1,1 \text{ kg}/\text{år}$ , mens den ved den seneste monitoringsrunde var faldet til ca.  $0,15 \text{ kg}/\text{år}$ . Koncentrationerne er som nævnt på nuværende tidspunkt efter ca. 8 års drift ved at stabiliseres, og fjernelsesraten på  $0,1-0,2 \text{ kg}/\text{år}$  må formodes at svare til fluxen fra dæklaget til umættet zone. Den samlede fjernelse af klorerede opløsningsmidler på Carlshøjvej gennem de ca. 8 års drift ligger omkring  $2,5 \text{ kg}$ .

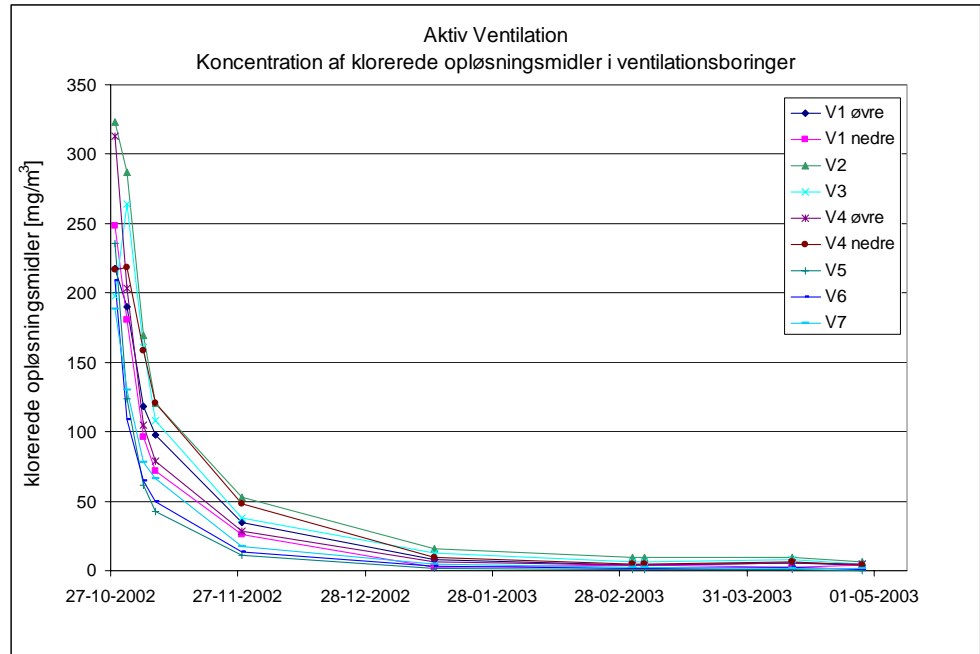


Figur 23: Akkumuleret fjernelse samt fjernelsesrate for Carlshøjvej.

#### 4.2 Virumvej, Virum

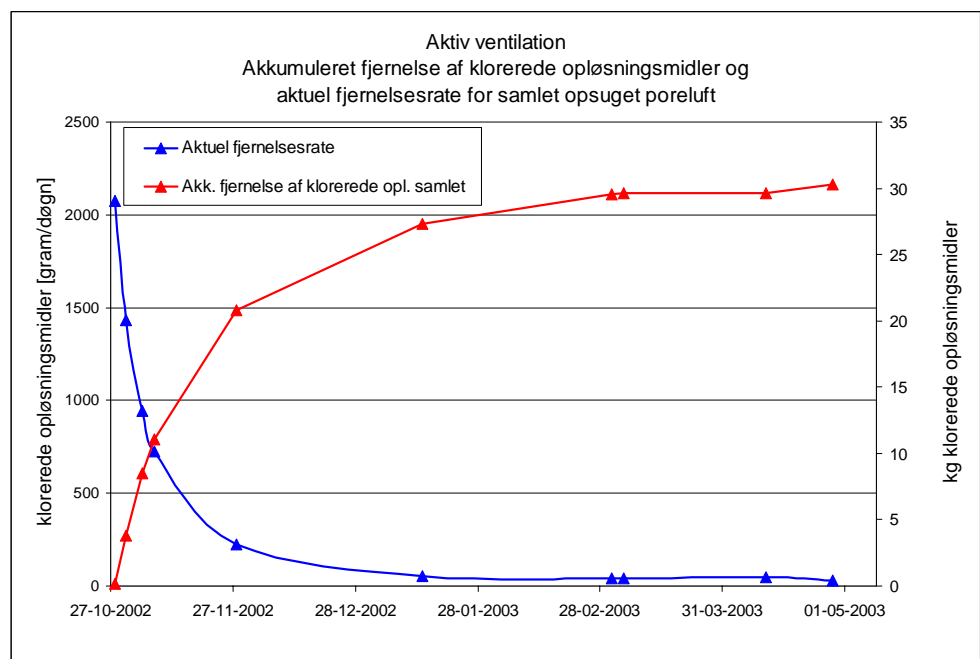
Fra 1963 til 1998 har der på Virumvej 84B i Virum ligget et renseri, der har forårsaget en relativt kraftig forurening med klorerede opløsningsmidler i såvel den umættede zone som i grundvandet.

I 2002 blev der på lokaliteten etableret et anlæg til aktiv ventilation af den umættede zone. Der blev etableret 7 ventilationsboringer filtersat fra 5 til 17 m u.t., hvoraf to af boringerne er filtersat i 2 intervaller. Den aktive ventilering af den umættede zone har kørt over en periode på 6 måneder, hvilket har resulteret i et fald i koncentrationen af klorerede opløsningsmidler fra ca. 300 mg/m<sup>3</sup> til mindre end 10 mg/m<sup>3</sup>, jf. figur 24.



Figur 24: Koncentrationsudvikling under aktiv ventilation.

Under den aktive ventilation har den mest markante fjernelse og dermed også den højeste fjernelsesrate forekommet i den første måned under den aktive ventilation. Dernæst har fjernelsesraten stabiliseret sig omkring 15 kg/år, jf. figur 25. Der er under den aktive ventilering i alt fjernet ca. 30 kg klorerede opløsningsmidler fra den umættede zone.



Figur 25: Fjernelsesrate og akkumuleret fjernelse under aktiv ventilation.

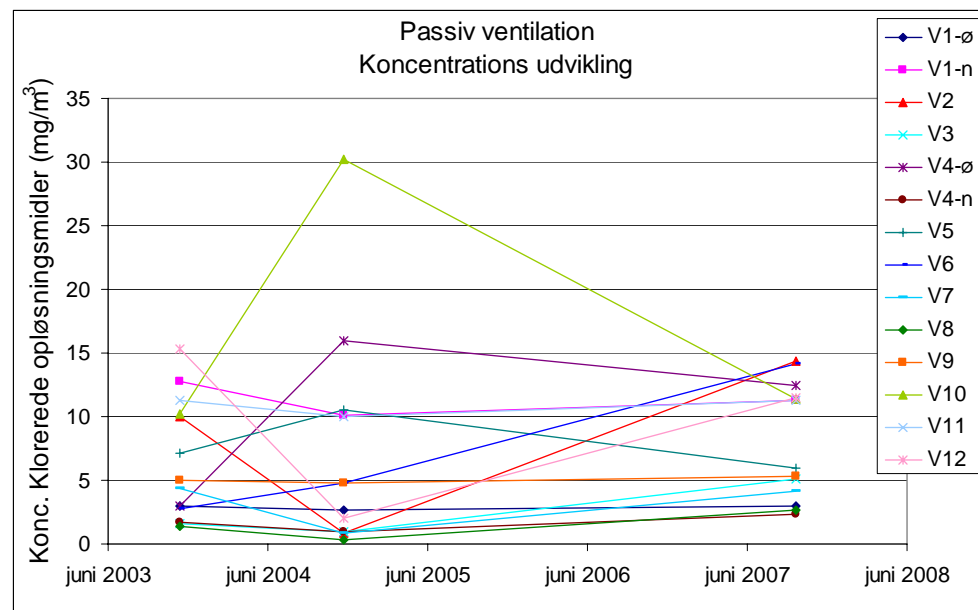
Efter at den aktive ventilation på Virumvej blev afsluttet i maj 2003 er der etableret 5 nye ventilationsboringer, således at der er i alt på lokaliteten er 12 boringer til brug for passiv ventilation. Boringerne er via ventilationsledninger ført til en fælles manifold over terræn, jf. figur 26. Efter den aktive ventilering er koncentrationerne reduceret tilstrækkeligt til, at det ikke er nødvendigt at lede det fælles afkast fra boringerne gennem et kulfilter for rensning.



Figur 26: Ventilationsledninger i fælles manifold på Virumvej.

Efter at den passive ventilation er igangsat på Virumvej i efteråret 2003, er der foretaget monitoring af poreluftkoncentrationerne 3 gange.

Moniteringsrunderne viser, at koncentrationen af klorerede opløsningsmidler i stort set alle boringerne er forblevet på samme niveau som ved afslutningen af den aktive ventilation – under  $15 \text{ mg/m}^3$ , jf. figur 27.

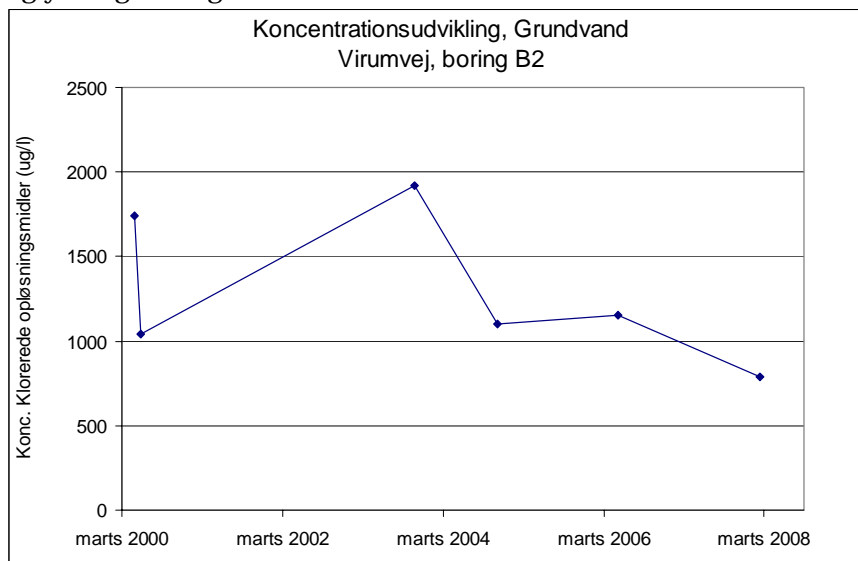


Figur 27: Koncentrationsudvikling i poreluft under passiv ventilation.

#### 4.2.1 Effekt på grundvandsforurening

Grundvandskoncentrationen af klorerede opløsningsmidler på Virumvej er monitoreret siden 2000, jf. figur 28. Koncentrationen har været svingende, men det ses dog, at der siden ventilationen på Virumvej er startet, er sket et fald i koncentrationen af klorerede opløsningsmidler. Koncentrationsniveauet i grundvandet er dog stadig relativt høj, ca.  $800 \mu\text{g/l}$ , men der er dog sket en

reduktion af koncentrationen på næsten 60% siden 2003. Faldet i grundvandskoncentrationen viser, at den aktive og senere den passive ventilation har fungeret efter hensigten og afskåret forureningen fra at sprede sig yderligere til grundvandet.

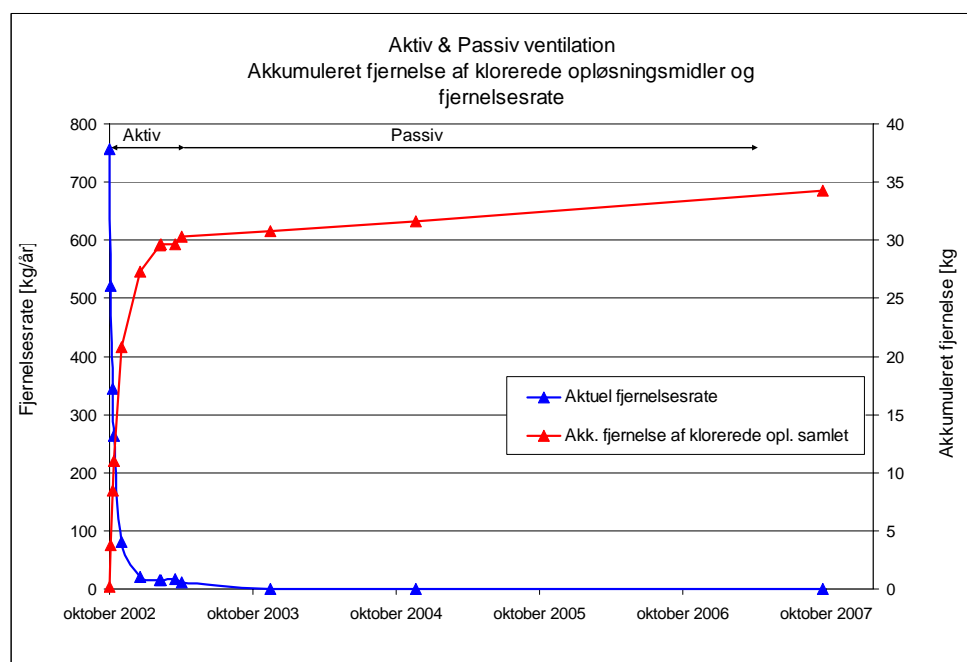


Figur 28: Koncentrationsudvikling for grundvandet v. Virumvej.

På Virumvej er koncentrationen af klorerede opløsningsmidler faldet med 98% siden opstarten af den aktive og efterfølgende passive ventilation i henholdsvis 2002 og 2003. I samme periode er koncentrationen af klorerede opløsningsmidler i grundvandet generelt faldet med 55%.

#### 4.2.2 Fjernelsesrate

Middelflowet på Virumvej er fundet til 1,2 m<sup>3</sup> pr. time pr. filter, hvilket resulterer i et gennemsnitligt samlet flow fra systemet på ca. 14 m<sup>3</sup>/time. Det gennemsnitlige flow giver en fjernelsesrate på ca. 0,9 kg/år for de passive boringer, og der er under perioden med passiv drift blevet fjernet ca. 4 kg klorerede opløsningsmidler.



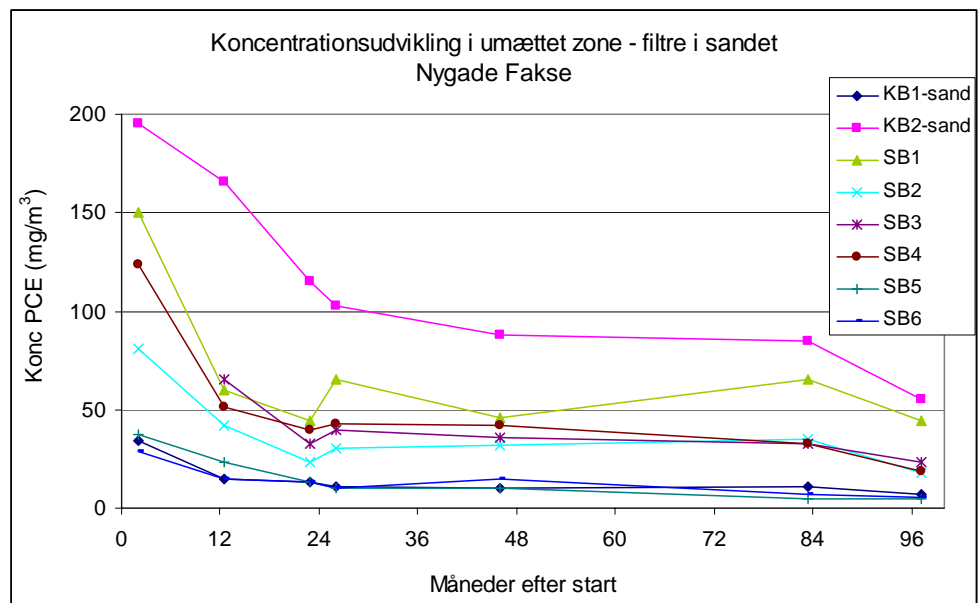
Figur 29: Fjernelsesrate og akkumuleret fjernelse for både den aktive og passive driftsperiode.

Fjernelsesraten på ca. 0,9 kg/år har været stabil de seneste år, og det vurderes derfor, at denne værdi er svarende til fluxen fra dæklaget til umættet zone.

#### 4.3 Nygade, Fakse

På Nygade 37 i Fakse har et renseri forårsaget en jordforurening med en udbredelse på ca. 500 m<sup>2</sup>. For at reducere risikoen for, at denne forurening skulle brede sig til grundvandet, er der i 1999 etableret 8 boringer for passiv ventilation. 6 af boringerne er filtersat i det 2-3 m tykke umættede sandlag under dæklaget. 2 boringer er ført ned i kalken og er filtersat fra 15-20 m u.t. Afkastet fra de 8 boringer er ført til en fælles manifold under terræn og videre til en brønd med kulfilter, jf. figur 12.

Koncentrationsudviklingen i den umættede zone viser et markant fald i koncentrationerne i løbet af de første 2 år efter start. Derefter stabiliseres koncentrationen og niveauet har været stabilt under de seneste 4 monitoringsrunder.



Figur 30: Koncentrationsudvikling i umættet zone – sandet, Nygade, Fakse.

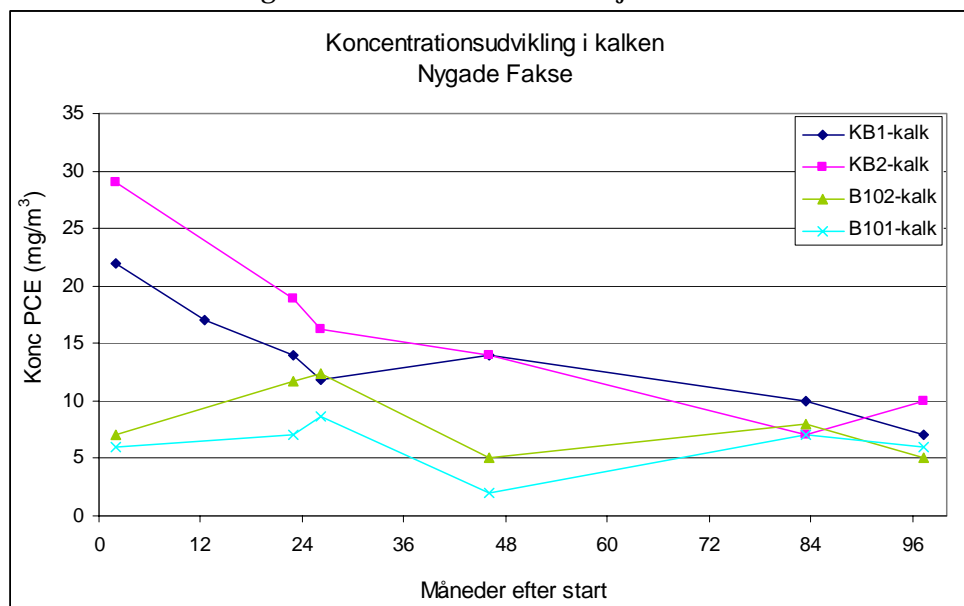
Koncentrationen i sandet i boring KB2 er faldet, men har stabiliseret sig på et relativt højt niveau lige under 100 mg/m<sup>3</sup>. Dette skyldes, at denne boring ligger i området hvor hot-spot findes i den overliggende moræneler. Der findes desuden en PCE koncentration på over 50 mg/m<sup>3</sup> i SB1 efter 96 måneders drift, hvilket ligeledes kan hænge sammen med boringens placering i nærheden af et hot-spot.

##### 4.3.1 Effekt i kalken

To af boringerne for passiv ventilation er ført til kalken ca. 14 m u.t. (KB1 og KB2). Desuden findes der på nabomatriklen to boringer filtersat i kalken, der er benyttet til monitoring.

I figur 31 er koncentrationsudviklingen i kalken, illustreret og heraf fremgår det, at der er sket et fald i koncentrationen siden opstarten af den passive

ventilation. Koncentrationsfaldet er mest markant i ventilationsboringerne (KB1 og KB2), hvor koncentrationen er faldet omkring 65% i løbet af driftsperioden. En nogenlunde tilsvarende reduktion af koncentrationen ses i det umættede sandlag, hvor reduktionen er 76%, jf. tabel 5.



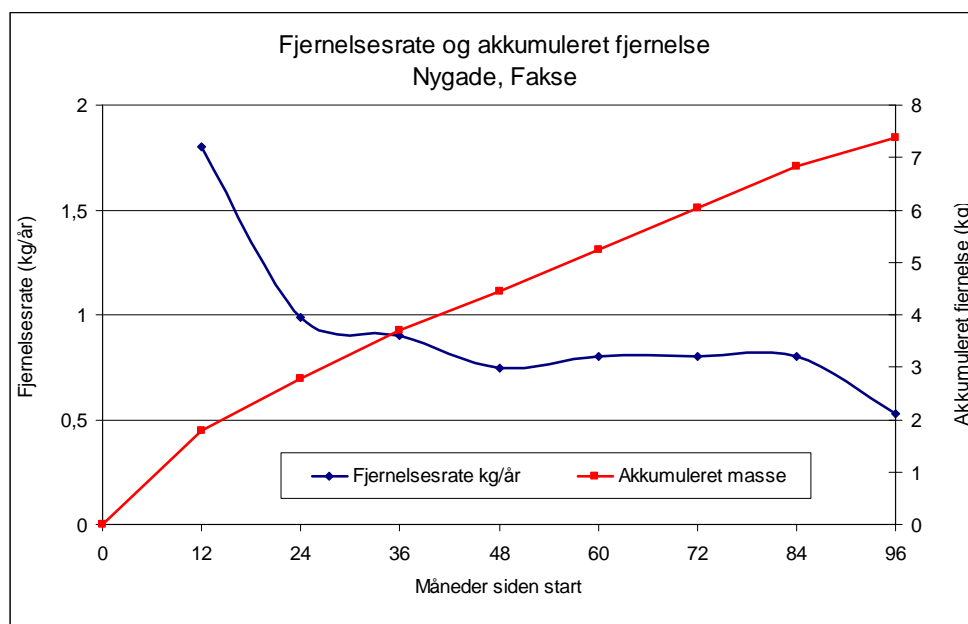
Figur 31: Koncentrationsudvikling i umættet zone – kalken, Nygade, Fakse.

I borerne på nabogrunden (B101 og B102) er der ikke set markante fald siden opstarten af den passive ventilering, men koncentrationen er forblevet på samme niveau, hvilket indikerer, at forureningen ikke har spredt sig yderligere. Der kan ikke umiddelbart forventes fald i koncentrationen i kalken i B102 og B101, da disse borer ligger for langt fra det område der ventileres, samt at kun to passive ventilationsboringer er filtersat i kalken. Det vil kræve et større antal borer, der ventilerer i kalken for at nedbringe koncentrationerne i kalken i et større område.

#### 4.3.2 Fjernelsesrate

Fjernelsesraten og den akkumulerede fjernelse for Nygade er illustreret i figur 32. Det ses, at fjernelsesraten i det første år lå omkring 2 kg/år, hvorefter raten er faldet og efter ca. 3 år har stabiliseret sig på omkring 0,5-0,75 kg/år. Da denne rate stort set har været stabil gennem de seneste 4 monitoringsrunder, vurderes det, at værdien er svarende til fluxen fra dæklaget til umættet zone.





Figur 32: Fjernelsesrate og akkumuleret fjernelse – Nygade, Fakse.

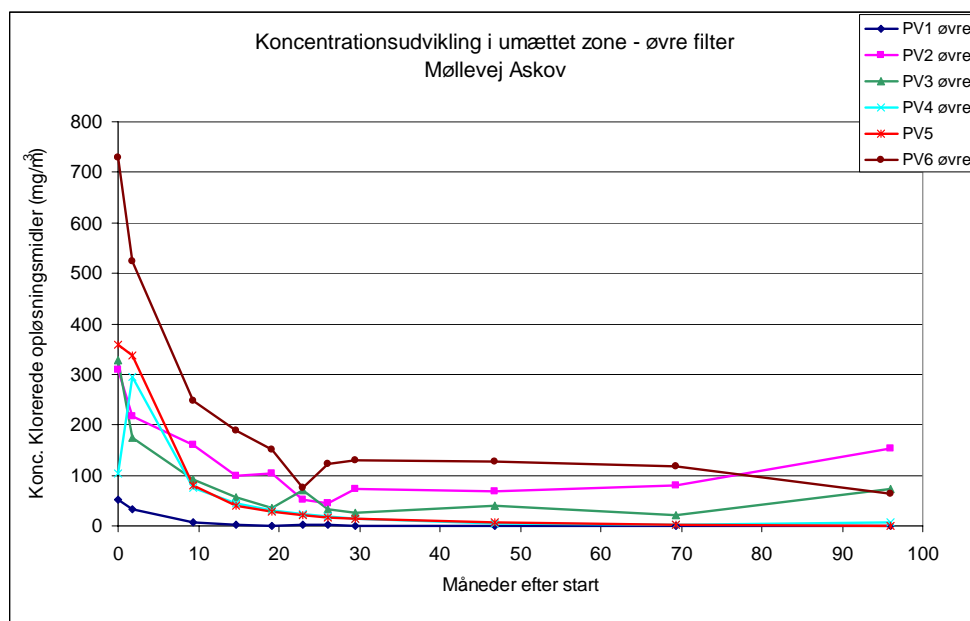
Siden opstarten af den passive ventilation på Nygade i Fakse i 1999 er der i alt fjernet omkring 7,5 kg klorerede opløsningsmidler.

#### 4.4 Møllevej, Askov

På Møllevej 12 i Askov har der tidligere ligget et renseri, der har forårsaget en jordforurening med en vurderet udbredelse på ca. 900 m<sup>2</sup>. For at afskære denne forurening fra at blive spredt gennem den umættede zone til grundvandet, er der i 1999 etableret 6 borer for passiv ventilation. 5 af borerne er filtersat i 2 intervaller fra 7-12 og fra 15-20 m u.t. Den sidste boring er kun filtersat i ét niveau, fra 6-20 m u.t. Samtlige filtre er ført til afkast på bygningens tag, og der er ikke benyttet kulfilter til rensning.

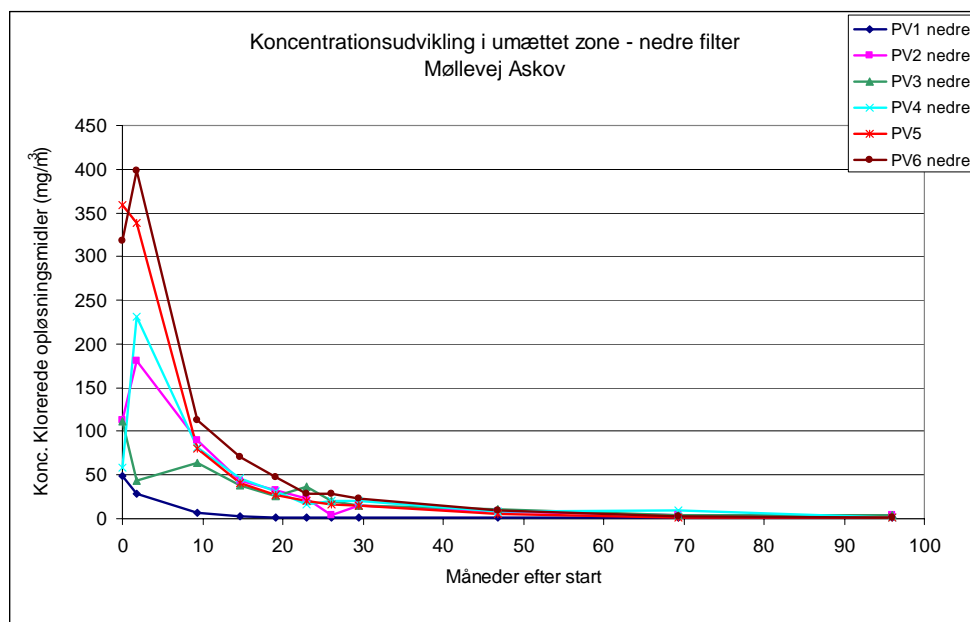
Udover borerne for passiv ventilation, har der på et delområde af lokaliteten i en periode været drevet en afværgepumpning i grundvandet. Pumpeboringen er beliggende på den østlige del af grunden, mens området, der ventileres, ligger længere mod vest, jf. bilag 1.

I figur 33 og 34 er koncentrationsudviklingen i den øvre og nedre del af den umættede zone illustreret. Koncentrationen af klorerede opløsningsmidler i den øvre del af den umættede zone var ved opstarten af anlægget næsten dobbelt så høj som i den nedre del. Monitoringen i de øvre filtre har vist, at koncentrationen er faldet relativt kraftigt i løbet af de første 2 år, hvorefter koncentrationen har stabiliseret sig.



Figur 33: Koncentrationsudvikling i den øvre del af den umættede zone.

I den nedre del af den umættede zone er koncentrationerne ligeledes faldet markant i løbet af de første 2 år efter opstart. Koncentrationen har efter dette tidspunkt stabiliseret sig og lå ved den seneste monitoringsrunde på under 5 mg/m<sup>3</sup> for alle de nedre filtre.



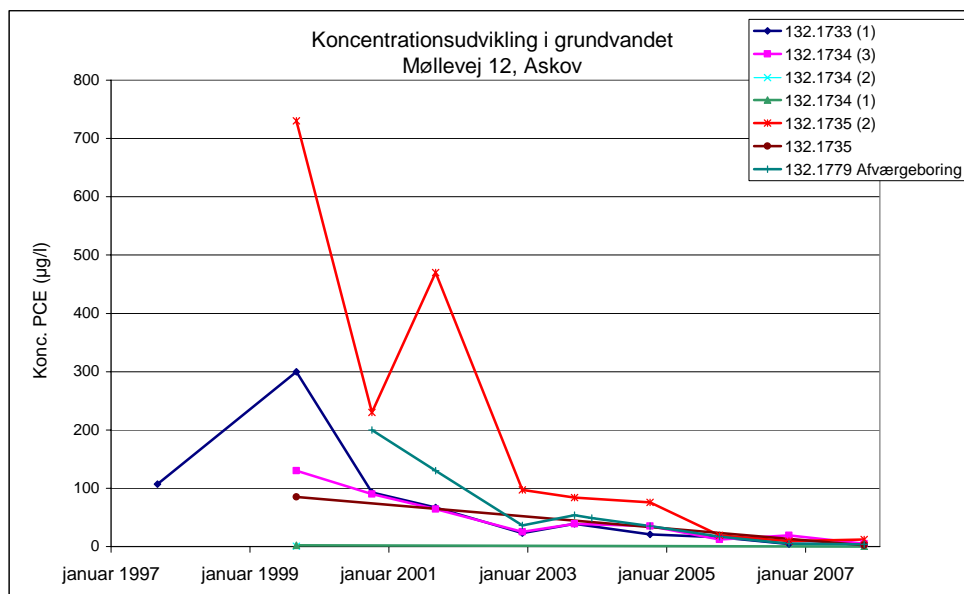
Figur 34: Koncentrationsudvikling i den nedre del af den umættede zone.

Koncentrationsfaldet i både den øvre og nedre del af den umættede zone indikerer, at borerne fungerer efter formålet, og at forureningens spredning fra dæklaget gennem den umættede zone til grundvandet er reduceret.

#### 4.4.1 Effekt på grundvandsforurening

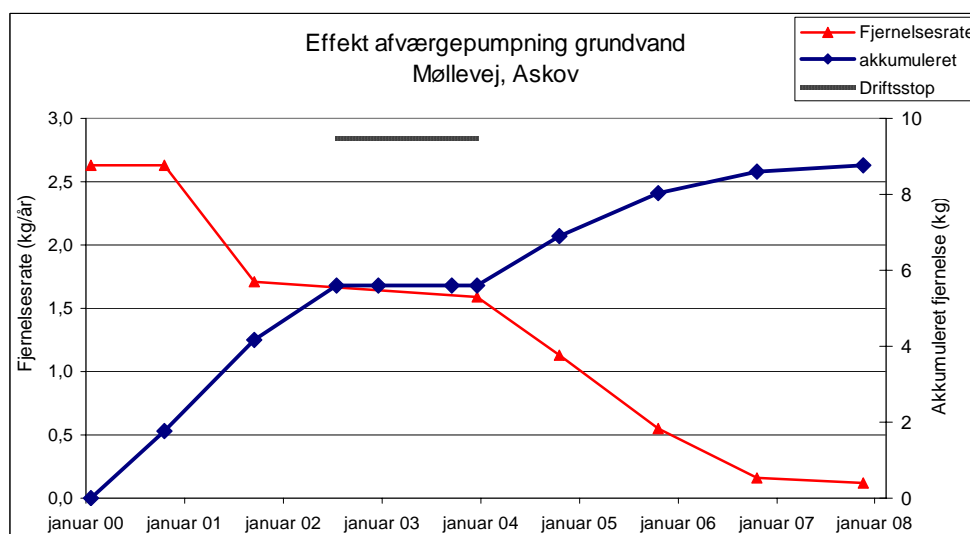
Siden borerne for passiv ventilation blev etableret i 1999, er der sket et fald i koncentrationen af PCE i grundvandet, jf. figur 35. Der har dog sideløbende med ventilationen foregået en afværgepumpning i grundvandet på den østlige del af grunden, ca. 20 m fra det område, der ventileres ved passiv ventilation.

Pumpen har pumpet med en rate på 1,5 m<sup>3</sup>/t i 2000-2002 og med ca. 3,7 m<sup>3</sup>/t fra 2004-2007. I den mellemliggende periode har pumpen været stoppet. Afværgepumpningen blev indstillet i slutningen af 2007.



Figur 35: Koncentrationsudvikling i grundvandet, Møllevvej, Askov.

Effekten af afværgepumpningen er illustreret i figur 36, hvoraf det fremgår, at der gennem de ca. 8 år, hvor afværgepumpningen har kørt, er fjernet ca. 9 kg PCE ved denne metode.



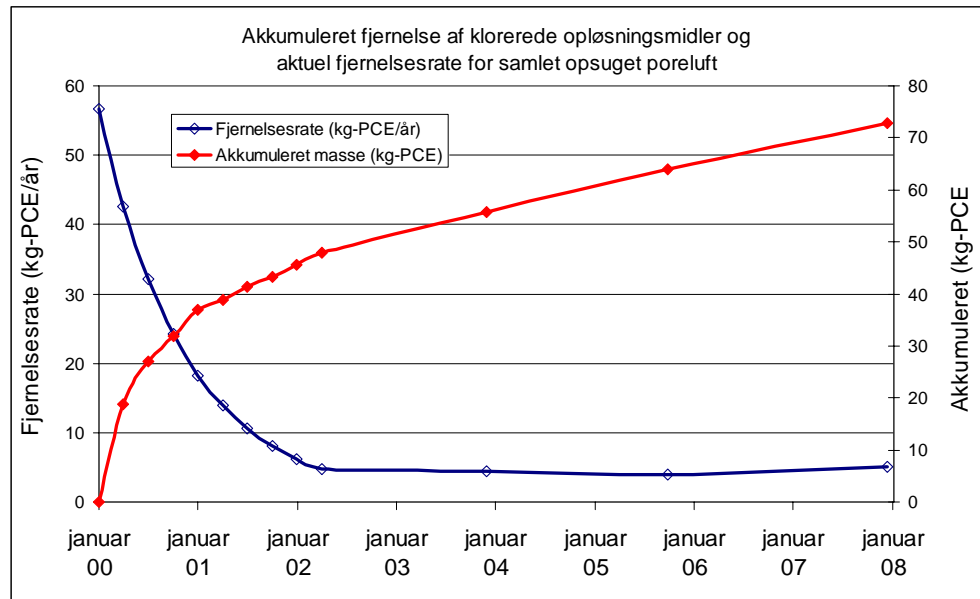
Figur 36: Effekt af afværgepumpning, Møllevvej, Askov.

Grundvandskoncentrationen på Møllevvej er reduceret med 98%, siden opstart af afværgepumpning og passiv ventilation, mens koncentrationen i den umættede zone i gennemsnit er faldet 88%.

#### 4.4.2 Fjernelsesrate

På Møllevvej er der fundet et gennemsnitsflow ud af borerne på 2,2 m<sup>3</sup> pr. time pr. filter, hvilket er et relativt højt flow sammenlignet med de øvrige lokaliteter, jf. tabel 4. Dette høje flow har da også gennem de første 2 års drift givet anledning til nogle høje fjernelsesrater, jf. figur 37. Som

koncentrationerne er faldet, er fjernelsesraten ligeledes faldet og har stabiliseret sig omkring ca. 5 kg/år. Den meget stabile fjernelsesrate gennem de seneste 4-5 monitoringsrunder giver en indikation af, at fluxen fra dæklaget og ned i den umættede zone er ca. 5 kg/år.



Figur 37: Akkumuleret fjernelse og fjernelsesrate i umættet zone, Møllevvej, Askov.

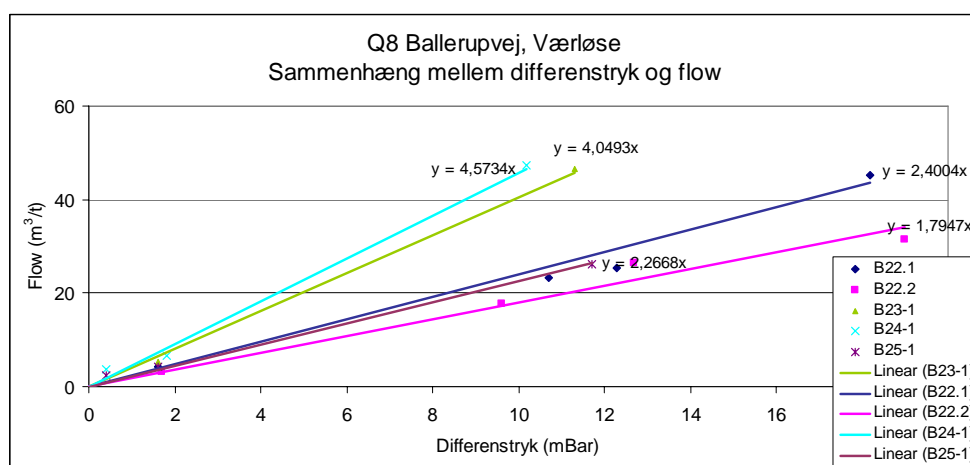
Den akkumulerede fjernelsesrate viser, at der er fjernet over 70 kg PCE fra den umættede zone gennem de ca. 8 år, hvor der har kørt passiv ventilation på lokaliteten. Denne fjernelse er over 7 gange så høj som den mængde, der er fjernet i grundvandet ved afværgepumpningen.

## 5 Lokalteter med relevante data for ventilering af umættet zone

### 5.1 Q8 Ballerupvej, Værløse

På lokaliteten Ballerupvej 20 i Værløse findes en MTBE-holdig benzinfurening, og der er på lokaliteten etableret et vakuumentilationsanlæg, der har til formål at afværge spredning af furening fra umættet zone til det primære grundvandsmagasin. Der er på lokaliteten foretaget sammenhørende øjeblikmålinger af differenstræk og flow for at undersøge, om passiv ventilation på længere sigt vil være en mulig afskæringsmetode, der kan erstatte det aktive anlæg.

Resultaterne af målingerne af differenstræk og flow i 5 forskellige punkter på Ballerupvej er illustreret i figur 38, hvoraf det ligeledes fremgår, at der er en tilnærmelsesvis lineær sammenhæng mellem differenstræk og flow.



Figur 38: sammenhæng mellem differenstræk og flow, Ballerupvej, Værløse.

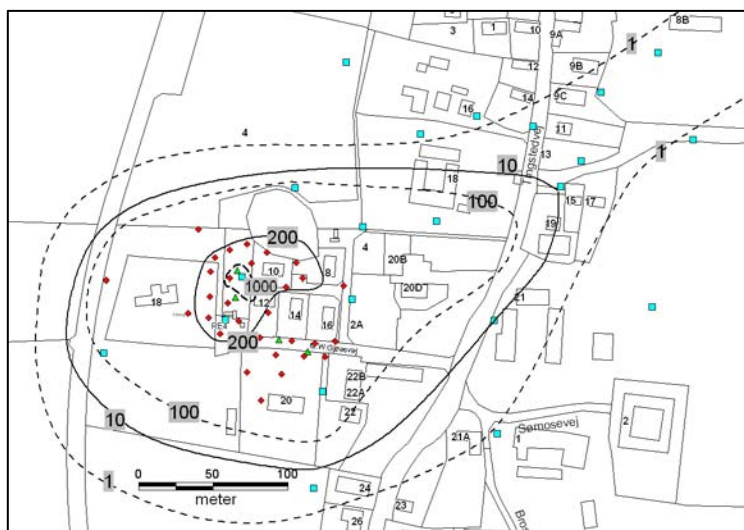
Flere af øjeblikmålingerne har resulteret i relativt høje værdier for differenstræk og flow set i forhold til, hvad der er observeret ved tilsvarende målinger på andre lokaliteter, jf. figur 14. Sammenhængen mellem differenstræk og flow viser, at der gennemsnitligt kan forventes et flow på 3 m³/t pr. mBar differenstræk. På baggrund af disse målinger vurderes lokaliteten at være særdeles velegnet til passiv ventilation.

De maksimale flow på op til 45 m³/t målt ved passiv ventilation er af samme størrelsesorden som det flow, der konstant pumpes med fra hver boring ved det aktive ventilationsanlæg (50 m³/t). Det gennemsnitlige flow for borerne på Ballerupvej er estimeret til 5-10 m³ pr. timer pr. m filter.

### 5.2 MW Gjøesvej, Reerslev

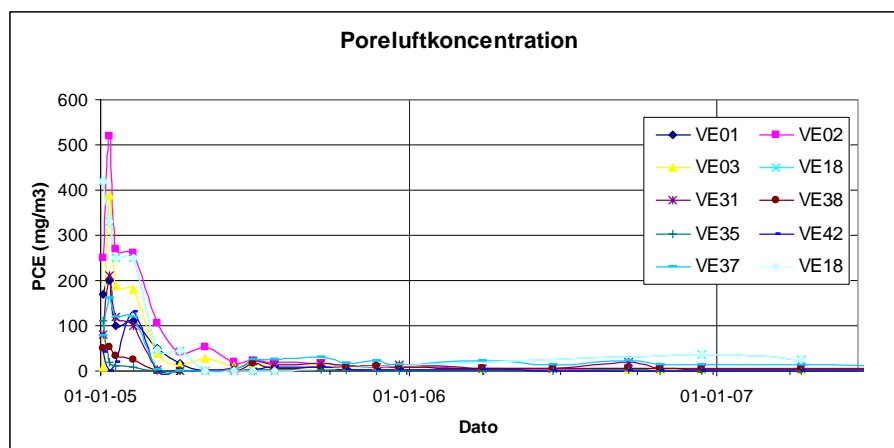
På lokaliteten M.W. Gjøesvej, Reerslev, er der konstateret en meget omfattende furening af jord og grundvand, primært med PCE.

Forureningen er meget massiv i de øverste 6-8 m af lagfølgen der udgøres af et sammenhængende moreænlerslag. Under dette lag findes en ca. 15 m umættet zone bestående af sand og grus, der i ca. 22 m bliver mættet ved overgangen til det underliggende sekundære grundvandsmagasin, der består af 1-3 m mættet sand og grus. Forureningen i den umættede zone er illustreret på figur 39, der viser udbredelsen af PCE i poreluften i 2004 forud for igangsættelsen af afværgeforanstaltninger. Udbredelsen af hovedkildeområdet i dæklaget er i 2008 kortlagt til ca. 5000 m<sup>2</sup> og påvist i området svarende til ca. 200 mg-PCE/m<sup>3</sup> konturen på figur 39. Under de kraftigst forurenede delområder ses op til 1000 mg-PCE/m<sup>3</sup> i den underliggende umættede zone.



Figur 39: Forureningsudbredelse i umættet zone, MW Gjøesvej.

I perioden januar 2005 til maj 2007 er der kontinuert ventileret med ca. 14.050 m<sup>3</sup>/t fra ca. 45 boringer placeret indenfor et ca. 200 m x 150 m stort område, svarende til 100 mg-PCE/m<sup>3</sup> konturen på figur 39. Der ventileres med separate filtre i hhv. toppen og bunden af den umættede zone. På figur 40 er den tidlige udvikling i PCE-indholdet i den oppumpede poreluft vist for 6 repræsentative filtre.

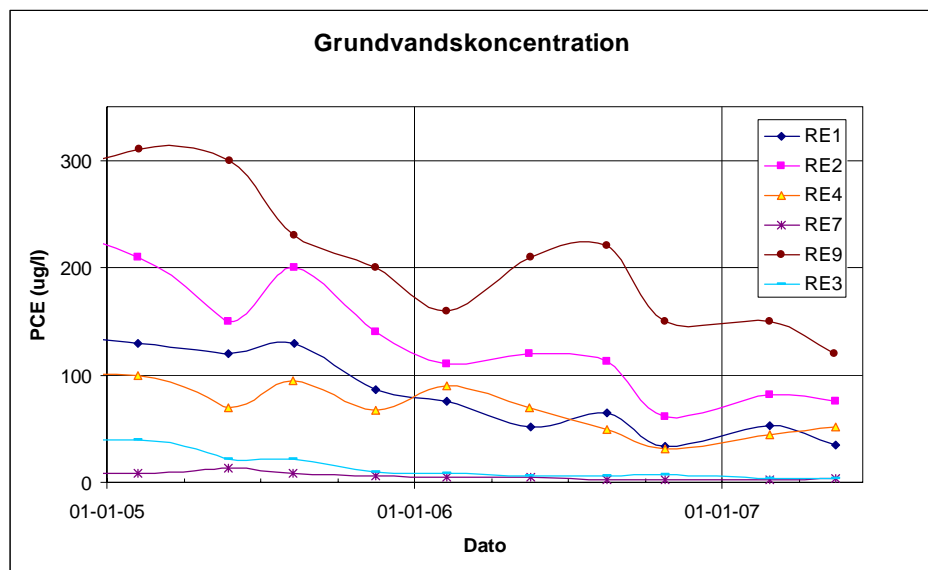


Figur 40: Koncentrationsudvikling i poreluften, MW Gjøesvej.

Allerede efter 3 måneders drift ses en meget signifikant reduktion i koncentrationerne, og efter ca. 6 mdr. er der opnået en ca. 95% reduktion og et næsten stabilt niveau, der herefter langsomt aftager. Efter 2 års drift vurderes der at være fjernet samlet ca. 1000 kg opløsningsmidler – primært PCE. Fjernelsesraten for ventilationssystemet er efter ca. 2 års drift reduceret til ca.

35 kg-PCE/år, og den samlede masse, der vurderes at være nedsivet til den umættede zone, vurderes at være mindst ca. 1500 kg.

Effekten af, at den aktive ventilation relativt hurtigt reducerer forureningskoncentrationen af PCE i den umættede zone (og dermed også massen) med ca. 95%, ses meget tydeligt på koncentrationen i de filtersatte boringer i det underliggende sekundære magasin. Dette er illustreret på figur 41, der viser den tidlige udvikling i indholdet af PCE i det sekundære grundvand. Allerede 4-5 måneder efter, at ventilationen er igangsat (og poreluftkoncentrationerne er reduceret ca. 60-75%), ses et begyndende fald i grundvandskoncentrationen. Denne trend fortsætter meget tydeligt over de næste 2 år, og efter maj 2007 er koncentrationerne enten fortsat faldende eller viser tegn på stabilisering. For filtrene, der udviser en fortsat aftagende trend i maj 2007, er koncentrationerne generelt reduceret med ca. 75-90%, mens der for det ene filter med et stabilt niveau ses en mindre reduktion på kun ca. 50%.



Figur 41: Koncentrationsudvikling i grundvandet.

På baggrund af det samlede datasæt kan det konkluderes, at der er en meget tydelig sammenhæng mellem koncentrationen i den umættede zone og den underliggende mættede zone, og at den gennemførte reduktion af koncentrationen af PCE i gasfasen i den umættede zone meget hurtigt resulterer i et begyndende fald i koncentrationen i grundvandet.





# 6 Diskussion

## 6.1 Effekt i umættet zone

Ved gennemgang af data fra de i alt 14 anlæg for passiv ventilation, der er fundet i forbindelse med denne erfaringsopsamling, har langt de fleste anlæg vist fald i poreluftkoncentrationen. For flere af lokaliteterne er poreluftkoncentrationerne gennemsnitligt reduceret med over 70%. For de lokaliteter, hvor koncentrationerne har været relativt lave fra starten, har den passive ventilation holdt koncentrationen på dette lave niveau, og der er ikke sket yderligere spredning af forureningen. Der er dog specielt to lokaliteter, hvor den passive ventilation ikke umiddelbart har reduceret poreluftkoncentrationen – Smallegade og Skovlunde Byvej.

På Smallegade har der forud for den passive ventilation foregået aktiv ventilation, hvor koncentrationen er blevet nedbragt fra 19.000 til omkring 450 mg/m<sup>3</sup>. Den efterfølgende passive ventilation har ikke kunnet holde koncentrationen nede, og denne er igen steget. Årsagen til at passiv ventilation i dette tilfælde ikke umiddelbart har kunnet stabilisere eller reducere koncentrationen af TCE i poreluften kan være, at det volumen, der ventileres, er relativt lille, da sandlaget kun er 30 cm tykt. Desuden er forureningen på lokaliteten forholdsvis kraftig, hvorfor passiv ventilation sandsynligvis ikke er tilstrækkelig til at reducere koncentrationen.

På Skovlunde Byvej lå poreluftkoncentrationen af klorerede opløsningsmidler ved opstarten af passiv ventilering i 1999 på omkring 500 mg/m<sup>3</sup>, mens den under den seneste monitoringsrunde i 2008 var steget til over 1.200 mg/m<sup>3</sup>. Denne stigning tyder på, at stof-fluxen fra dæklaget til umættet zone er større end fjernelsesraten ved passiv ventilation. Forureningen på Skovlunde Byvej er muligvis for kraftig til, at passiv ventilation alene kan kontrollere forureningsspredningen. Aktiv ventilering i en periode ville måske kunne have fjernet en tilstrækkelig stofmængde til, at den passive metode efterfølgende kunne holde koncentrationen nede.

Erfaringerne fra de forskellige lokaliteter med passiv ventilation indikerer, at metoden har haft den største effekt på poreluftkoncentrationerne i de tilfælde, hvor startkoncentrationen har været mindre end 250 mg klorerede opløsningsmidler pr. m<sup>3</sup>. Ved kraftigere forurening vil fluxen fra dæklaget sandsynligvis overstige fluxen ud af systemet genereret ved passiv ventilation, og koncentrationen af klorerede opløsningsmidler i poreluften vil derfor ikke blive reduceret. I disse situationer vil det være nødvendigt først at drive aktiv ventilation i ca. 6 måneder, hvorefter den passive ventilation kan igangsættes.

For lokaliteterne i Allerød har andre faktorer end for kraftig forurening givet problemer i forhold til den passive ventilering. Ved etableringen af anlæggene i Allerød i 1999 fandtes en umættet zone i sandlaget med en mægtighed på 2-2,5 m /ref. 1/. Siden etableringen af borerne for passiv ventilation er vandspejlet steget og det umættede sandlag er blevet mindre og mindre, og under den seneste monitoring i 2007 var det umættede sandlag stort set væk. Ventilationen har dog haft en effekt på poreluftkoncentrationen, men nu hvor

den umættede zone i sandformationen er væk og der dermed ikke findes et højpermeabelt lag at ventilere, vil restforureningen i dæklaget spredes direkte til grundvandet. I tilfælde med geologiske forhold svarende til Allerød, viser erfaringen derfor, at sandsynligheden for, at den umættede zone relativt hurtigt vil forsvinde som følge af reduceret grundvandsindvinding i området eller lignende, bør vurderes inden etablering af passive ventilationsboringer.

## 6.2 Effekt på grundvand

Erfaringsopsamlingen har vist, at der på de lokaliteter, hvor den passive ventilation har resulteret i reducerede eller stabiliserede poreluftkoncentrationer, ligeledes ses en reduktion af koncentrationen i grundvandet. Det er dog ikke på alle lokaliteter, at der er udført monitoring af grundvandet, men for de lokaliteter hvor disse data er fundet, ses enten et fald i koncentrationerne eller koncentrationer i samme størrelsesorden som ved opstart af anlægget. Data viser altså, at hvis passiv ventilation har den ønskede effekt på poreluftkoncentrationen, kan der ligeledes forventes en reduktion af grundvandskoncentrationen på længere sigt. Det samme ses af data fra den aktive ventilation på MW Gjøesvej, jf. afsnit 5.2, hvor det tydeligt ses, at en reduktion af koncentrationen i umættet zone resulterer i en reduktion af koncentrationerne i grundvandet. Dette betyder, at den reelle koncentrationsudvikling og sammenhæng i umættet og mættet zone stemmer overens med den konceptuelle model, jf. afsnit 2.1. Reduktion af poreluftkoncentrationen vil resultere i en reduktion af fluxen fra umættet til mættet zone, og herved vil grundvandskoncentrationen på længere sigt reduceres. Resultaterne viser ligeledes, at den %-vise reduktion af grundvandskoncentrationen ligger på samme niveau som reduktionen af poreluftkoncentrationen.

## 6.3 Flux

Moniteringsdata fra en række af lokaliteterne med passiv ventilation har vist, at poreluftkoncentrationen falder markant gennem de først 2-3 år. Herefter ses der en stabilisering af koncentrationerne, og det vurderes, at der opnås en ligevægtskoncentration mellem den mængde, der tilføres fra det overliggende moræneler, og den mængde, der fjernes ved passiv ventilation. Sammenholdes dette med den konceptuelle model, må der ved denne ligevægt forekomme en situation, hvor fluxen fra moræneleret (dæklaget) til det umættede sandlag svarer til fjernelsesraten ved passiv ventilation.

Fluxen til umættet zone ligger i størrelsesordenen 1-5 kg/år, mens de akkumulerede fjernelsesrater fra umættet zone ligger mellem 2-70 kg klorerede opløsningsmidler.

## 6.4 Forslag til standardparametre ved design af passiv ventilering af umættet zone

Erfaringsopsamlingen for passiv ventilation har vist, at metoden kan benyttes til ventilering af umættet zone med en tykkelse på såvel 2 som 20 m. Anlæggene for passiv ventilation er etableret på lokaliteter med dæklag bestående af 5-10 m moræneler. Ved dæklagstykkelser i denne størrelsesorden, kan der forventes differensterik mellem umættet zone og atmosfæren på ca.  $\pm 20$  mBar.

Trykforskellen mellem umættet zone og atmosfæren vil ved faldende atmosfæretryk kunne drive et flow ud af boringerne på op til 12 m<sup>3</sup> pr. time pr. m filter. Der kan forventes flow ud af boringerne i ca. 50% af tiden, hvilket vil give anledning til et middelflow på mellem 0,01 og 0,7 m<sup>3</sup> pr. time pr. m filter. Ved design af anlæg for passiv ventilation kan der benyttes et forventet flow på 0,2-0,3 m<sup>3</sup> pr. time pr. m filter for sand, da værdierne ligger i denne størrelsesorden for de velfungerende anlæg.

Ved fremtidige design af passiv ventilation viser erfaringerne fra de eksisterende anlæg, at boringstætheden skal være i størrelsesordenen 1 boring pr. 160 m<sup>2</sup> for en umættet zone bestående af sand/grus. Dette svarer til, at der kan forventes en influensradius på ca. 7 m pr. boring.

Erfaringsopsamlingen har vist, at både boringer med lange filtre og boringer filtersat med kortere filtre i to niveauer er effektive til passiv ventilation. Det vurderes at være en fordel at filtersætte boringerne så det nederste af filteret går ned i den mættede zone. På den måde er muligt at udtage vandprøver fra boringerne og derved følge grundvandskoncentrationerne i den øverste del af den mættede zone.

Den passive ventilation af umættet zone kan som minimum forventes at reducere poreluftkoncentrationerne til omkring 20% af startkoncentrationen. Reduktionen kan i løbet af de første ca. 3 år forventes at følge en første ordensudvikling med en fjernelsesrate på 0,002 pr. dag. Efter ca. 3 år stabiliseres poreluftkoncentrationen. På nuværende tidspunkt findes der ingen anlæg for passiv ventilation, der har været i drift i over 9 år, hvorfor koncentrationsudviklingen på længere sigt ikke kendes. Koncentrationerne bør derfor fortsat følges.

Det vurderes, at tidshorizonten for passiv ventilation som afskæringsmetode er minimum 50 år, hvis kilden til forureningen ikke fjernes. Findes der fortsat en flux fra dæklaget til umættet zone, vil det være nødvendigt at fortsætte ventilationen for at undgå, at koncentrationen i umættet zone stiger. Der kan derfor ikke sættes et generelt stopkriterium for metoden. Fjernes kilden derimod skal der udarbejdes en lokalitetsspecifik risikovurdering for at vurdere et eventuelt stopkriterium.

Er der tale om en kraftig forurening i umættet zone med koncentrationer på over 250 mg klorerede opløsningsmidler pr. m<sup>3</sup>, anbefales det, at der drives aktiv ventilation over en periode på minimum et halvt år, afhængigt af koncentrationen og den vurderede kildestyrke.



## 7 Konklusion og anbefalinger

Erfaringsopsamlingen på passiv ventilation har ved gennemgang af i alt 14 lokaliteter forurenede med klorerede opløsningsmidler (primært PCE) vist, at metoden for de fleste lokaliteter har haft den tilsigtede effekt. For lokaliteter med relativt lave poreluftkoncentrationer er det ved passiv ventilation muligt at holde koncentrationerne på det lave niveau. Ved startkoncentrationer af klorerede opløsningsmidler i poreluften på op til  $250 \text{ mg/m}^3$  har passiv ventilation i flere tilfælde reduceret koncentrationen med over 70% over en periode på 7-8 år. For lokaliteter, hvor startkoncentrationen i poreluften har ligget over  $500 \text{ mg/m}^3$ , har passiv ventilation ikke altid haft den tilsigtede virkning. Dette vurderes at skyldes, at fluxen fra dæklaget til umættet zone, kombineret med den masse der er akkumuleret i den umættede zone, er for stor i forhold til fjernelsesraten ved passiv ventilation. I sådanne tilfælde anbefales det, at der i første omgang ventileres aktivt, hvorefter man på længere sigt kan gå over til passiv ventilation.

Moniteringsdata fra lokaliteter med faldende poreluftkoncentrationer viser, at der generelt ses et fald i koncentrationen gennem de første 2-3 år, mens koncentrationen derefter stabiliseres. Ved stabil poreluftkoncentration vurderes fjernelsesraten ved passiv ventilation at svare til stof-fluxen fra moræneleren til umættet zone. De estimerede fluxe ligger i niveauet mellem  $70 \text{ g/år}$  til  $5,3 \text{ kg/år}$ . Det anbefales, at monitoringen på anlæggene fortsat følges med henblik på at belyse koncentrationsudviklingen i umættet zone på længere sigt.

Erfaringsopsamlingen viser, at passiv ventilation fungerer som delvis afskæring for forureningen til grundvandet i de tilfælde hvor der ses en effekt i poreluftkoncentrationen. Den %-vise reduktion af koncentrationen i poreluft og grundvand ligger på nogenlunde samme niveau.

For at opnå et større kendskab til sammenhængen mellem koncentrationsudviklingen i umættet og mættet zone, anbefales det som nævnt, at udviklingen i umættet zone fortsat følges. Desuden bør koncentrationsudviklingen i grundvandet ligeledes følges, således at langtidseffekten på grundvandet kan belyses nærmere.

Ved design af anlæg for passiv ventilation anbefales det, at anlægstypen med ventilationsledninger tilsluttet fælles manifold placeret i skab over terræn benyttes, jf. afsnit 3.1.2. Denne anlægstype har ikke givet anledning til rustangreb på de monterede kulfiltre, og monitoringen er nemmere at udføre, da afkastet fra alle boringer er samlet, og der kræves ikke tunge løft af kulfiltre op og ned i brøndene.

Monitoringen af koncentrationerne i umættet zone bør så vidt muligt foretages i perioder, hvor der er naturlig udstrømning fra boringerne. Er dette ikke tilfældet, kan der dog udføres monitorering ved aktiv pumpning. Ved monitorering under aktiv pumpning bør der renpumpes svarende til 3-5 porevolumener og der bør under denne renpumpning måles indhold af flygtige stoffer i den oppumpede luft (v. PID-måling). Når der ses et stabilt niveau af flygtige stoffer, kan koncentrationen måles ved fx at udtage en

luftprøve på kulrør. Det er vigtigt, at der ved prøvetagning under aktiv pumpning ikke renpumpes for meget, da der herved kan ske fortynding, eller der kan trækkes forurening fra et andet område.

Erfaringerne fra driften af anlæggene for passiv ventilation viser, at der bør udføres en årlig monitoringsrunde gennem de første 3-5 år, for at sikre, at den passive ventilation fungerer efter hensigten. Ved hver monitoringsrunde måles koncentrationen i den umættede zone samt flow og differenstryk hvis monitoringen udføres under faldende tryk. Det anbefales, at der det første år af driften monitoreres ved hhv. opstart, efter et halvt år og efter et år. Monitoringsfrekvensen bør ligeledes vurderes i forhold til, hvor ofte der bør skiftes kul i filtrene. Dette kan vurderes på baggrund af adsorptionskapaciteten på ca. 1-1,5 kg stof pr. kulfilter, det gennemsnitlige flow samt koncentrationen i den udstrømmende luft.

Når koncentrationen vurderes at være stabil, kan monitoringsfrekvensen nedsættes til hvert andet til femte år, afhængigt af koncentrationsniveau og lokalitetens omgivelser. Det kan på dette tidspunkt ligeledes vurderes, om kulfiltrene kan fjernes, således at der udledes direkte til atmosfæren. Denne vurdering bør foretages på baggrund af immisionsberegninger samt hensyntagen til anlæggets beliggenhed. Driftsomkostningerne ved passiv ventilation vil primært forekomme i forbindelse med renovering af kulfiltre samt kulskifte. Kulskifte og renovering udføres rutinemæssigt af leverandøren af filtrene – Østergaard Filter i Vordingborg.

## 8 Referencer

- /Ref. 1/ Christensen, A.G., Nielsen, H.H., Fischer, E.V. Passiv ventilation til fjernelse af PCE fra den umættede zone – Hovedrapport. Miljøprojekt nr. 805. Miljøstyrelsen 2003.
- /Ref. 2/ Larsen, T.H. Oprensning af klorerede opløsningsmidler ved dampstripning, Brüel og Kjær grunden. Miljøprojekt 543. Miljøstyrelsen 2000.
- /Ref. 3/ Københavns Amt. Supplerende undersøgelse og afværgeprogram, Carlshøjvej 53, Lyngby. Hedeselskabet, Miljø- og energidivisionen. September 1998.
- /Ref. 4/ Københavns Amt. Carlshøjvej 53, Lyngby. Drift- og monitoringsinstruks, Passiv ventilation. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Januar 2000.
- /Ref. 5/ Københavns Amt. Carlshøjvej 53, Lyngby. Forsøg med passiv ventilation. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Maj 1999.
- /Ref. 6/ Københavns Amt. Læssevej 3, Værløse. Afslutningsrapport. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. December 2006
- /Ref. 7/ Københavns Amt. Rekord Rens, Læssevej 3, Værløse. Omfattende undersøgelser. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Juni 2000.
- /Ref. 8/ Københavns Amt. Rekord Rens, Læssevej 3, Værløse. Indkøring. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. December 2006.
- /Ref. 9/ Københavns Amt. Affaldsdepot nr. 151-15, tidligere renseri. Skovlunde Byvej 96A, Ballerup Kommune. Afværgeprojekt, Afslutningsrapport. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Februar 2000.
- /Ref. 10/ Københavns Amt. Skovlunde Byvej 96A, Ballerup. Forsøg med passiv ventilation. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Juli 1999.
- /Ref. 11/ Frederiksberg Kommune. Tidligere forkromningsanstalt. Smallegade 52, Frederiksberg, V2-147.11. Supplerende undersøgelser. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. November 2000.
- /Ref. 12/ Frederiksberg Kommune. Smallegade 52, Frederiksberg. Indkøring af anlæg med passiv ventilation. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. December 2005.

- /Ref. 13/ Frederiksberg Kommune. Smallegade 52, Frederiksberg, Indledende test af passiv ventilation. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Februar 2002.
- /Ref. 14/ Frederiksberg Kommune. Smallegade 52, Frederiksberg, In-situ test. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. September 2001.
- /Ref. 15/ Københavns Kommune Miljøkontrollen. Svenskelejren 23, 2700 Brønshøj, Omfattende undersøgelser af grundvandsforurening. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. August 2002.
- /Ref. 16/ Københavns Kommune, Miljøkontrollen. Svenskelejren 23, 2700 Brønshøj, Afslutningsrapport. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. August 2004.
- /Ref. 17/ Københavns Kommune, Miljøkontrollen. Svenskelejren 23, 2700 Brønshøj, Ventilationstest. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Februar 2003.
- /Ref. 18/ Københavns Kommune, Miljøkontrollen. Svenskelejren 23, 2700 Brønshøj, Indkøring. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. August 2004.
- /Ref. 19/ Københavns Amt. Virum Rens, Virumvej 84B, Lyngby-Taarbæk, Afværgeprojekt. Afslutningsrapport. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. August 2003.
- /Ref. 20/ Københavns Amt. Virumvej 84B, Virum. Forsøg med passiv ventilation. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Maj 2003.
- /Ref. 21/ Frederiksborg Amt. Toftebakken 5-9, Birkerød. Supplerende undersøgelser og afværgeforanstaltninger, Fase 2 – Nye boringer. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Juli 1999.
- /Ref. 22/ Frederiksborg Amt. Toftebakken 5-9, Birkerød., Afværgeforanstaltninger, Fase 4 – Etablering og indkøring. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Maj 2003.
- /Ref. 23/ Frederiksborg Amt. Gillelejevej 28B i Esbønderup, Afværgeprojekt, Afslutningsrapport. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. November 2006.
- /Ref. 24/ Frederiksborg Amt. Gillelejevej 28B i Esbønderup, Afværgeprojekt, Supplerende undersøgelser (B30 – B34). NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. November 2004.
- /Ref. 25/ Frederiksborg Amt. Gillelejevej 28B i Esbønderup, Drift af midlertidigt aktivt anlæg. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Oktober 2006.



- /Ref. 26/ Storstrøms Amt. Passiv ventilation, Torvegade 26, Fakse. Drift- og monitoringsinstruks. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Februar 2002.
- /Ref. 27/ Storstrøms Amt. Torvegade 26, Fakse, Forsøg med passiv ventilation. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Juli 2000.
- /Ref. 28/ Storstrøms Amt. Torvegade 26, Fakse, Indkøring af anlæg med passiv ventilation. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. Februar 2002.
- /Ref. 29/ Københavns Amt. Carlshøjvej 53, Lyngby. Immissionsberegninger på chlorerede opløsningsmidler fra afværgeboring for passiv ventilation. NIRAS Rådgivende ingeniører og planlæggere A/S. September 2005.



# OPLYSNINGER OM FELTLOKALITETERNE

PRINS VALDEMARS ALLÉ & ALLERØDVEJ, ALLERØD	69
AMTSVEJ 2-4, ALLERØD	75
CARLSHØJVEJ 53, LYNGBY	81
LÆSSEVEJ 3, VÆRLØSE	85
SKOVLUNDE BYVEJ 96A, SKOVLUNDE	91
SMALLEGADE 52, FREDERIKSBERG	99
SVENSKELEJREN 23, BRØNSHØJ	105
VIRUMVEJ 84B, VIRUM	109
TOFTEBAKKEN, BIRKERØD	115
GILLELEJEVEJ 28B, ESBØNDERUP	119
NYGADE 37, FAKSE	125
TORVEGADE 26, FAKSE	131
MØLLEVEJ 12, ASKOV	135



# Prins Valdemars Allé & Allerødvej, Allerød

## Forurening

Kilde	Renseri
Beskrivelse	PCE Forurening <ul style="list-style-type: none"><li>• Poreluftforurening: Op til 300 mg PCE pr. m<sup>3</sup></li><li>• Primære grundvandsmagasin: 500-600 µg/l</li></ul> Forureningsudbredelse: 600 m <sup>2</sup> (jordforurening)
Formål med afværge	Reduktion af risiko for grundvandsressourcen (afskæring)

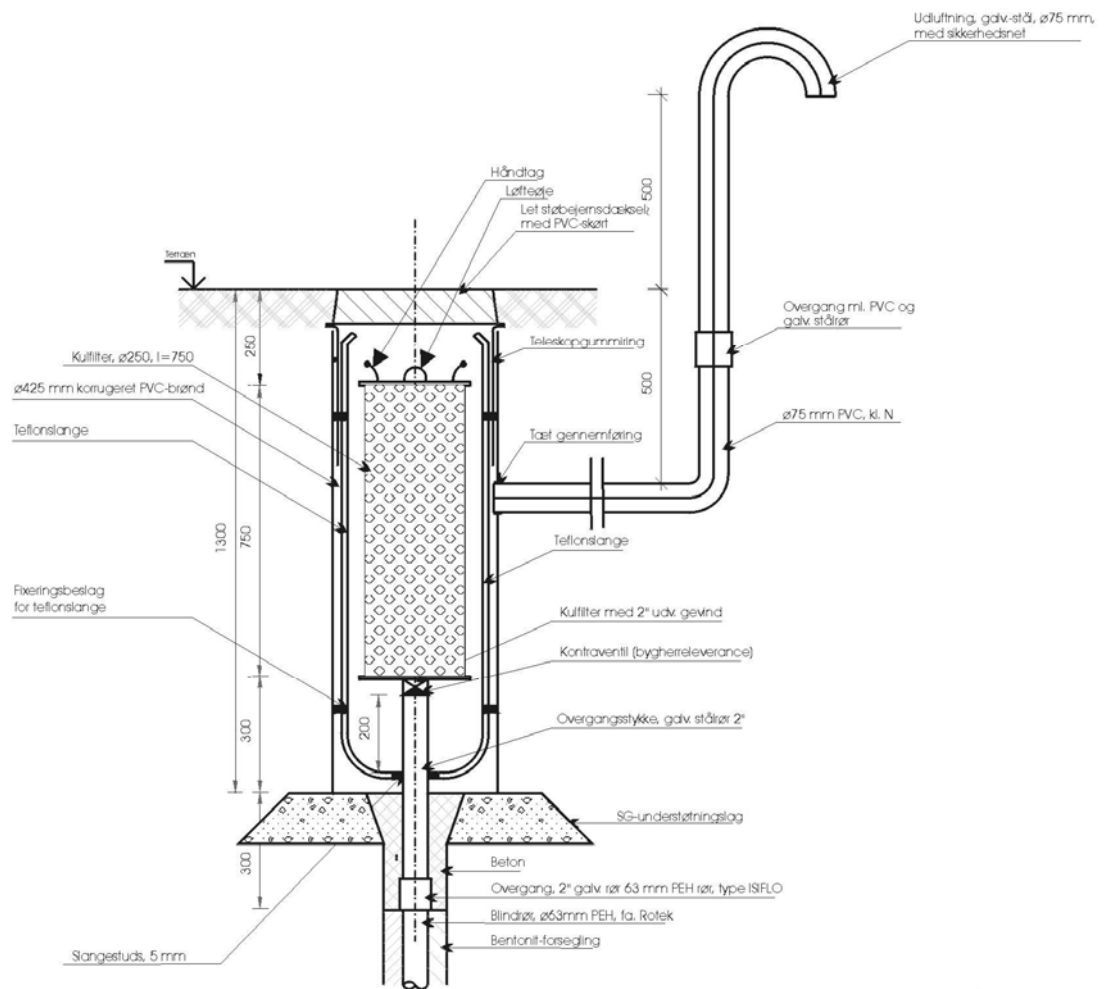
/Ref. 1/

## Systembeskrivelse

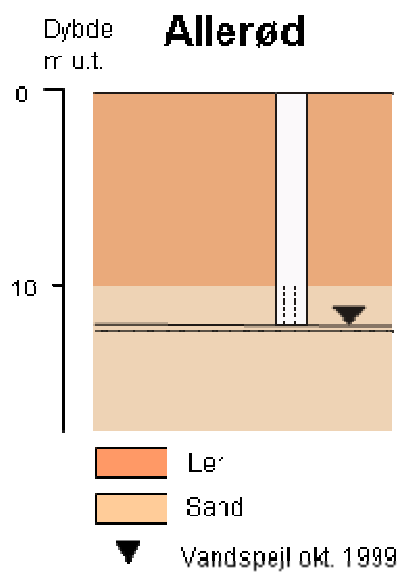
Antal boringer	5 (PV1-PV5) – Prins Valdemars Alle 2 (FHB5 og FHB6) – Allerødvej
Boringer type/materiale	Filtersætning med ø63 mm PEH-rør fra bunden af boringen til ca. 1-2 m op i moræneleren. Udluftningsrør fra brønd under terræn er ført over terræn og afsluttet i en svane Hals. Blindrøret over filteret er i øvre ende monteret et overgangsstykke hvor på kulfilteret er monteret.
Type afkast	Afkast fra hver boring. Afkast via udluftningsrør/svane Hals fra hver boring
Brug af kulfilter	Ja, 1 kulfilter monteret i hver brønd
Dæklagstykkelse	Ca. 10 m
Umættet zone	Areal der ventileres: 900 + 350 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 2 m Jordvolumen der ventileres: 1800 + 700 m <sup>3</sup>
Flow	Differenstryk ±11 mBar Gennemsnitligt luftflow pr. filter 0,42 m <sup>3</sup> /t
Fjernelsesrate	1-4 kg PCE pr. år
Diverse	

/Ref. 1/

## Illustration af system



## Geologi

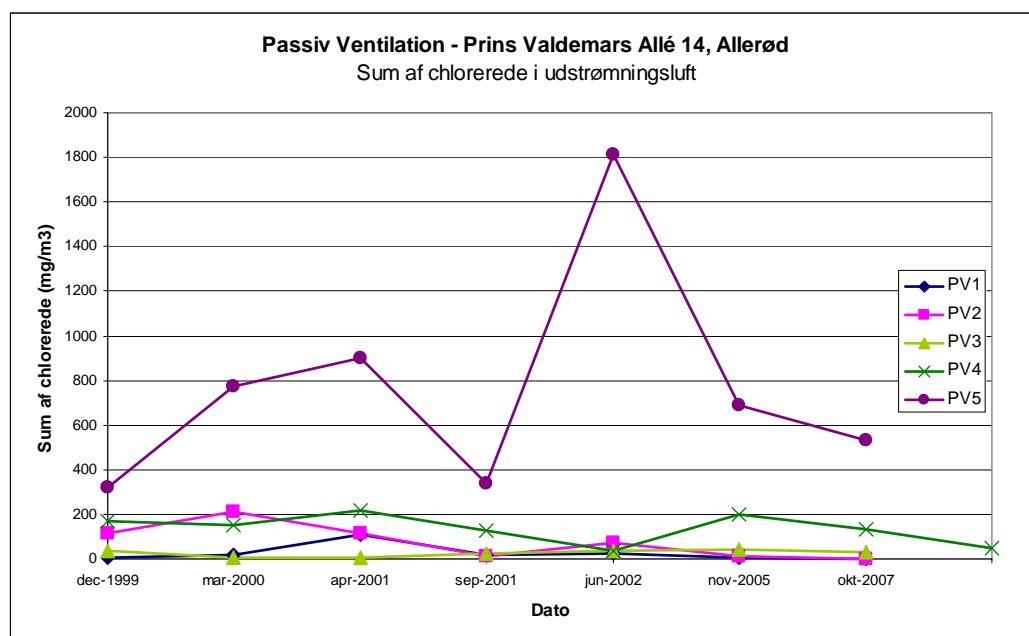


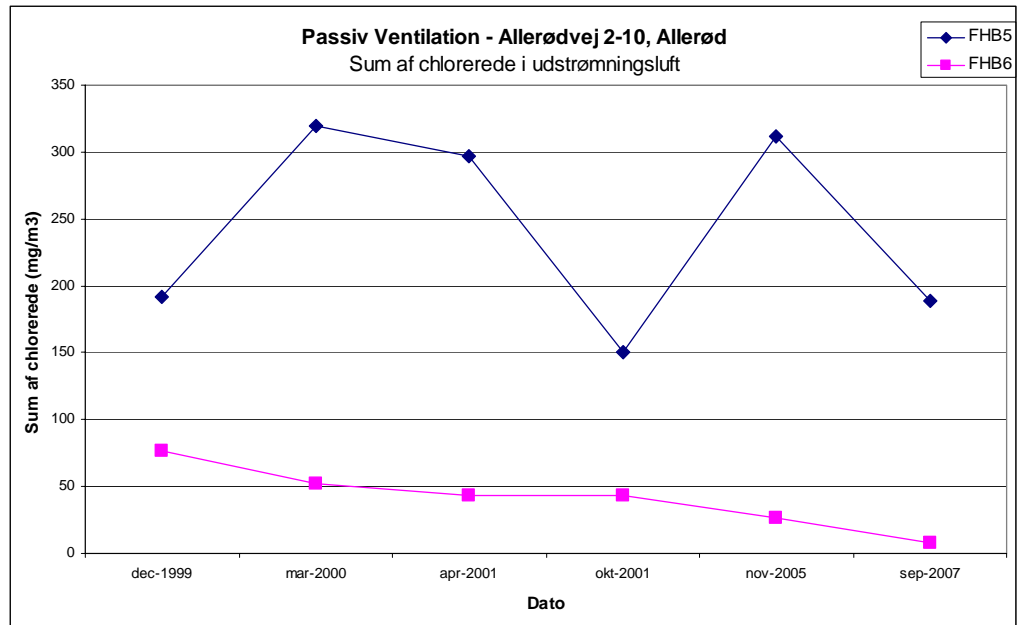
0-10 m.u.t: Moræneler  
10-20 m.u.t: Smelttevandssand

Vandspejl: 12-15 m.u.t (1999) og 11-12,5 m.u.t (2007)  
/Ref. 1/

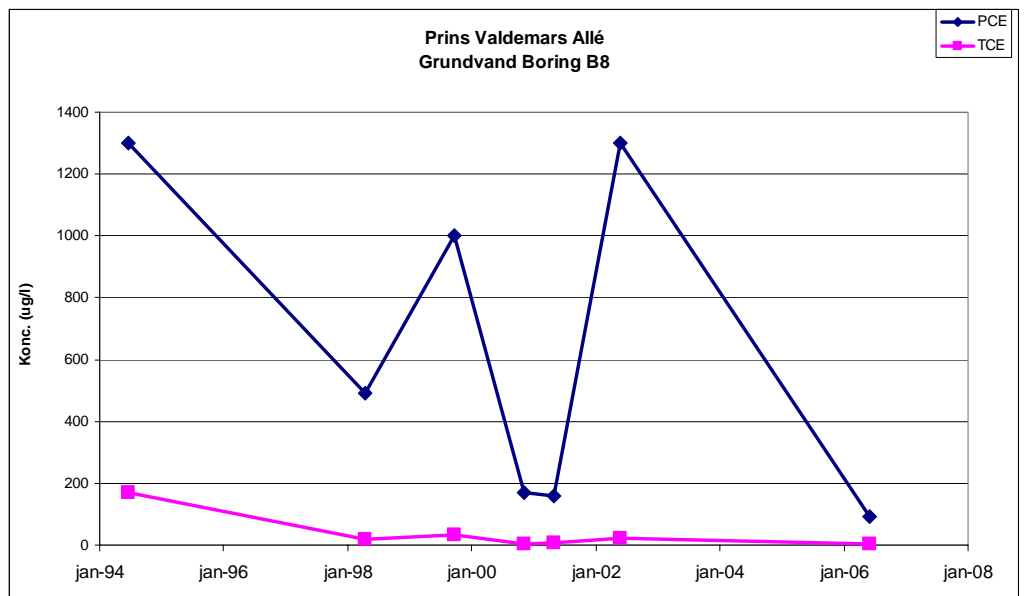
## Tidlig koncentrationsudvikling

### Poreluft



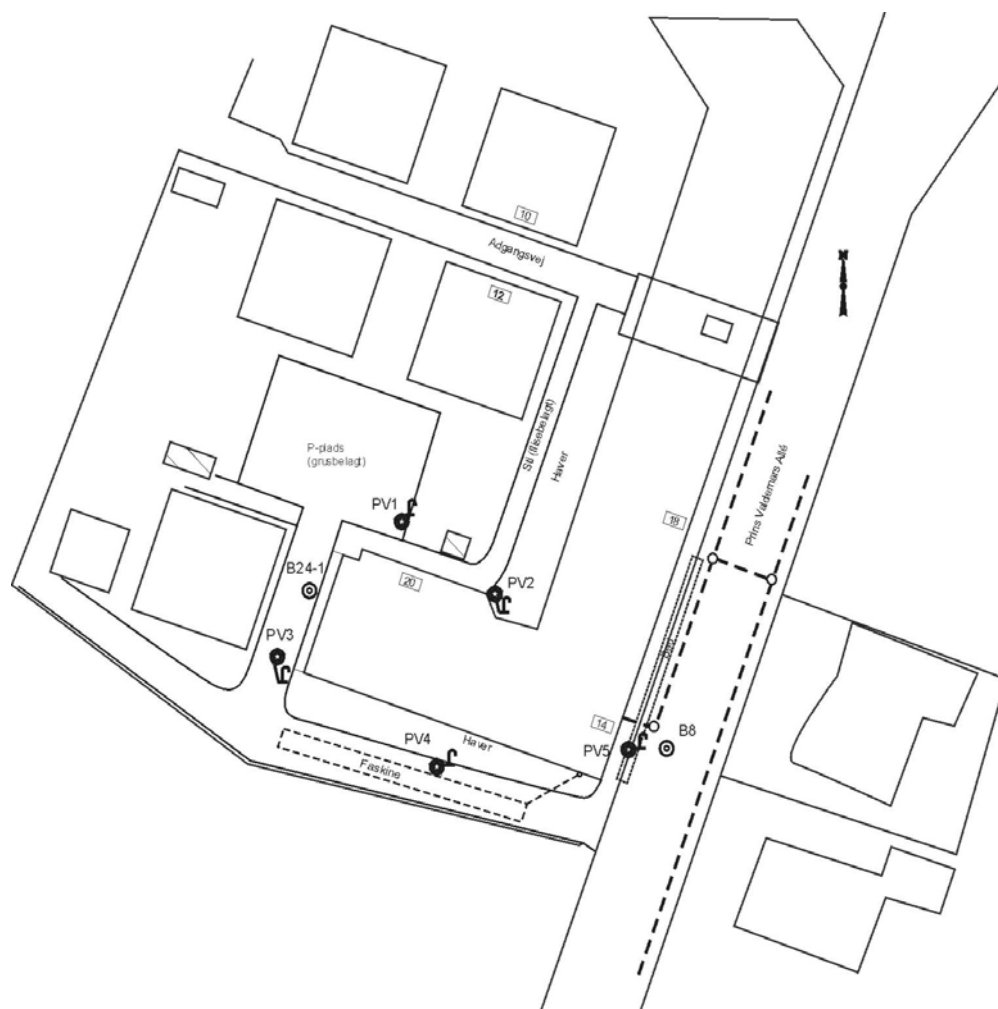


**Grundvand**



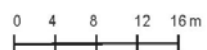


# Situationsplan

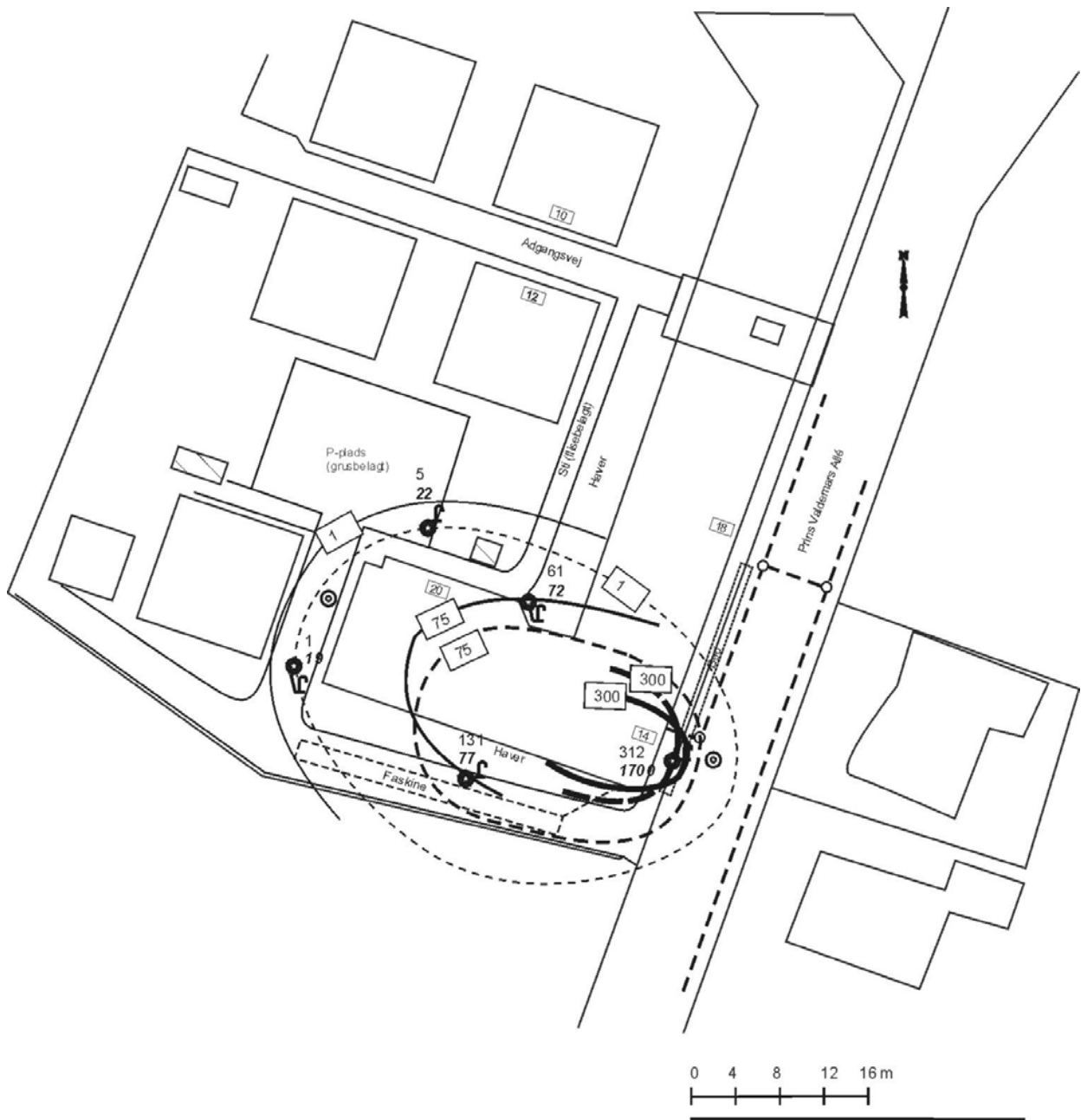


Passivt ventilerende boringer:

- Filtersat i sandlaget
- ⊙ Eksisterende filtersat monteringsboring
- ┌ Udluftning og udluftningsrør



# Forureningsudbredelse



- Passivt ventilerende boringer:
- Filtersat i sandlaget
  - ⊙ Eksisterende filtersat monteringsboring
  - ⌋ Udluftning og udluftningsrør

	14	PCE (mg/m <sup>3</sup> ) dec. 1999
	10	PCE (mg/m <sup>3</sup> ) jun. 2002

# Amtsvej 2-4, Allerød

## Forurening

Kilde	Renseri
Beskrivelse	PCE Forurening <ul style="list-style-type: none"><li>• Poreluftforurening: Op til 300 mg PCE pr. m<sup>3</sup></li><li>• Primære grundvandsmagasin: 500-600 µg/l</li></ul> Forureningsudbredelse: 600 m <sup>2</sup> (jordforurening)
Formål med afværge	Reduktion af risiko for grundvandsressourcen (afskæring)

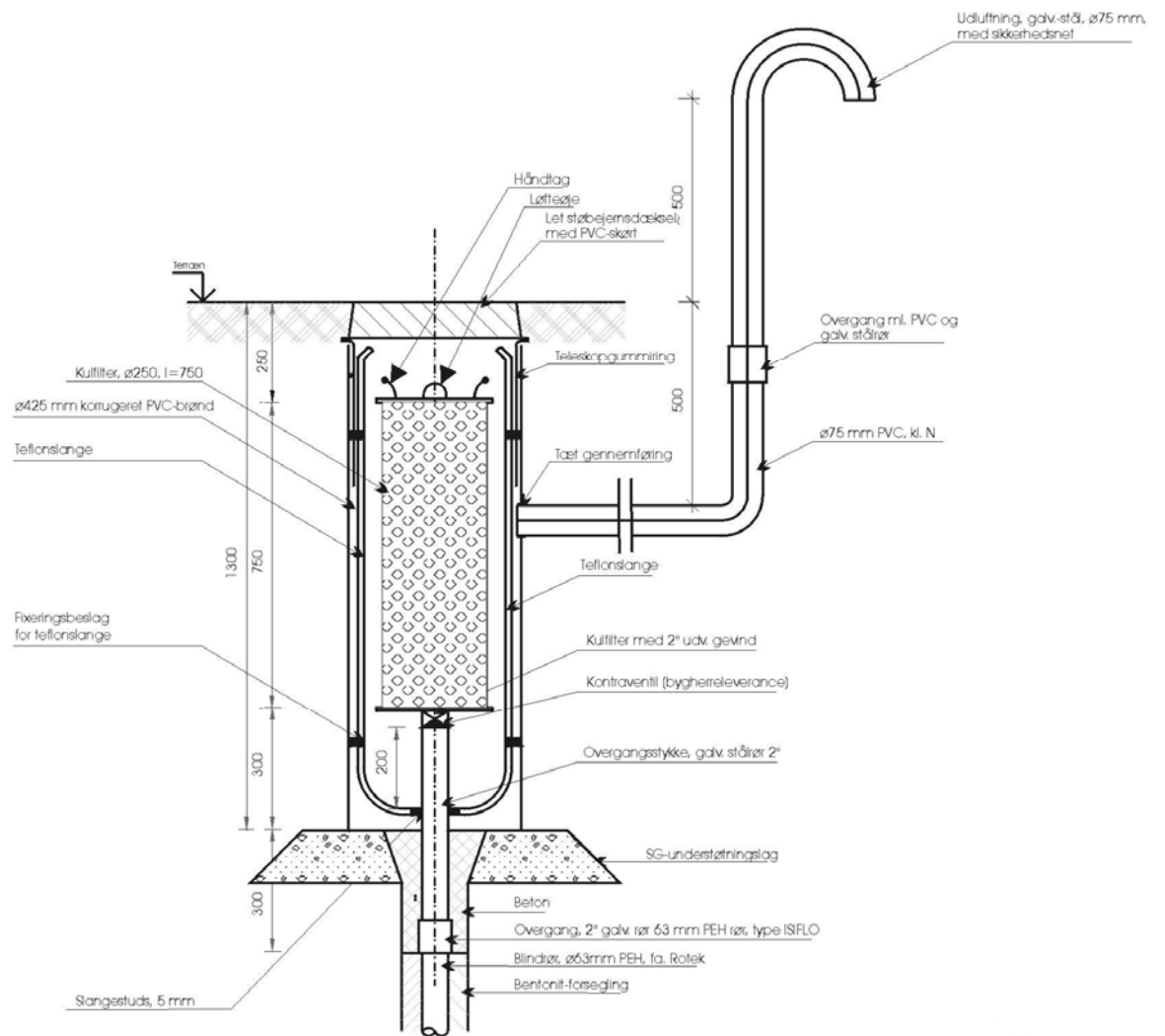
/Ref. 1/

## Systembeskrivelse

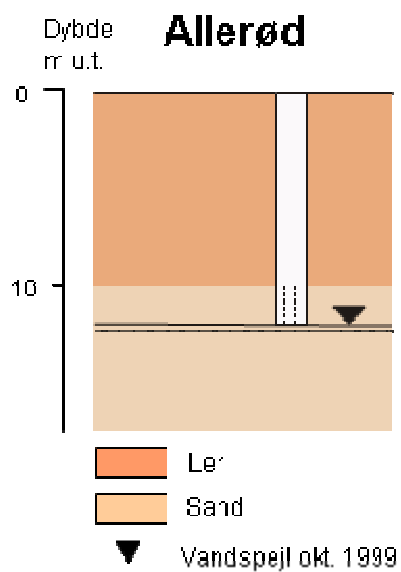
Antal boringer	6 (PV10-PV15)
Boringer type/materiale	Filtersætning med ø63 mm PEH-rør fra bunden af boringen til ca. 1-2 m op i moræneleren. Udluftningsrør fra brønd under terræn er ført over terræn og afsluttet i en svane Hals. Blindrøret over filteret er i øvre ende monteret et overgangsstykke hvor på kulfilteret er monteret.
Type afkast	Afkast fra hver boring. Afkast via udluftningsrør/svane Hals fra hver boring
Brug af kulfilter	Ja, 1 kulfilter monteret i hver brønd
Dæklagstykkelse	Ca. 10 m
Umættet zone	Areal der ventileres: 900 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 2 m Jordvolumen der ventileres: 1800 m <sup>3</sup>
Flow	Gennemsnitligt luftflow for de 6 filtre 0,49 m <sup>3</sup> /t Differenstryk -11 til +11 mbar
Fjernelsesrate	2-9 kg PCE pr. år
Diverse	

/Ref. 1/

## Illustration af system



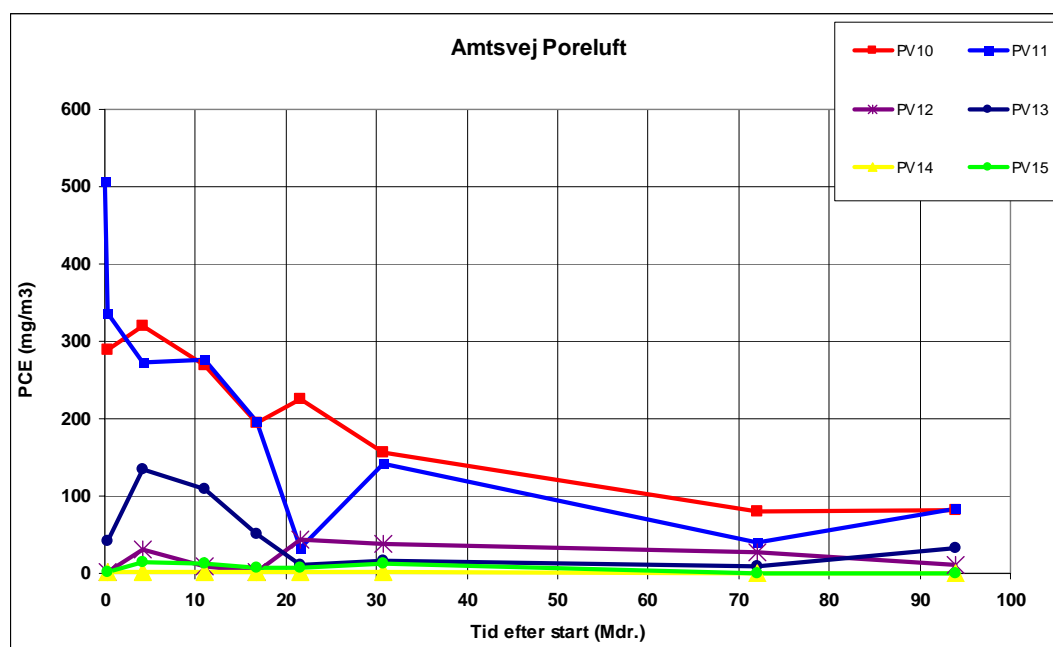
## Geologi



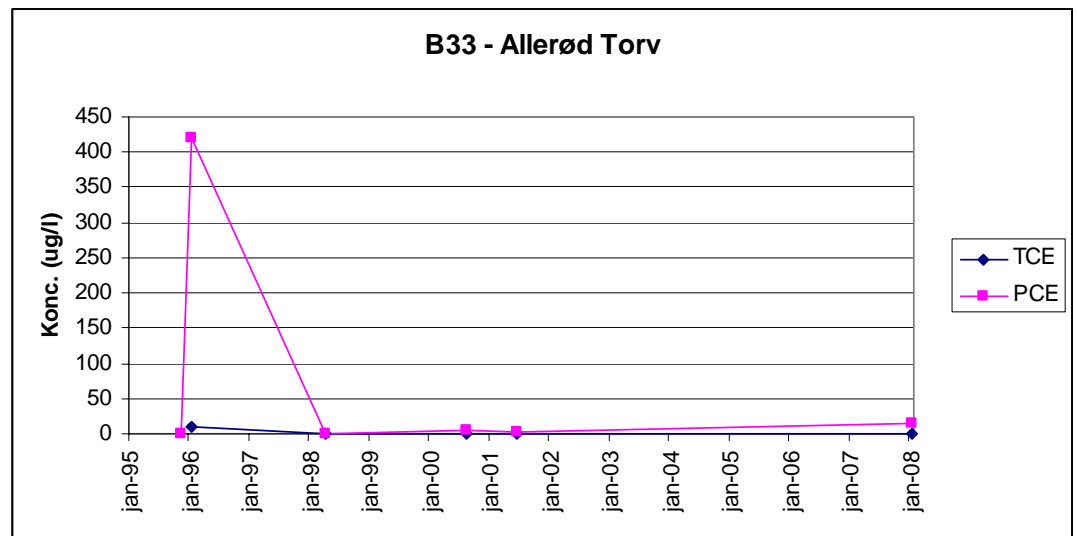
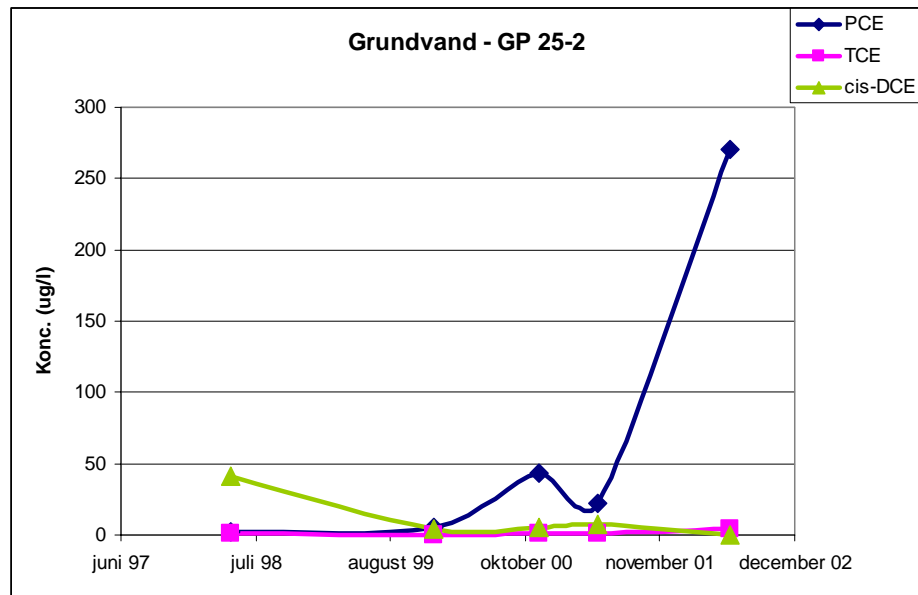
0-10 m.u.t: Moræneler  
10-20 m.u.t: Smeltevandssand

Vandspejl: 12-15 m.u.t (1999) og 9-9,5 m.u.t (2007)  
/Ref. 1/

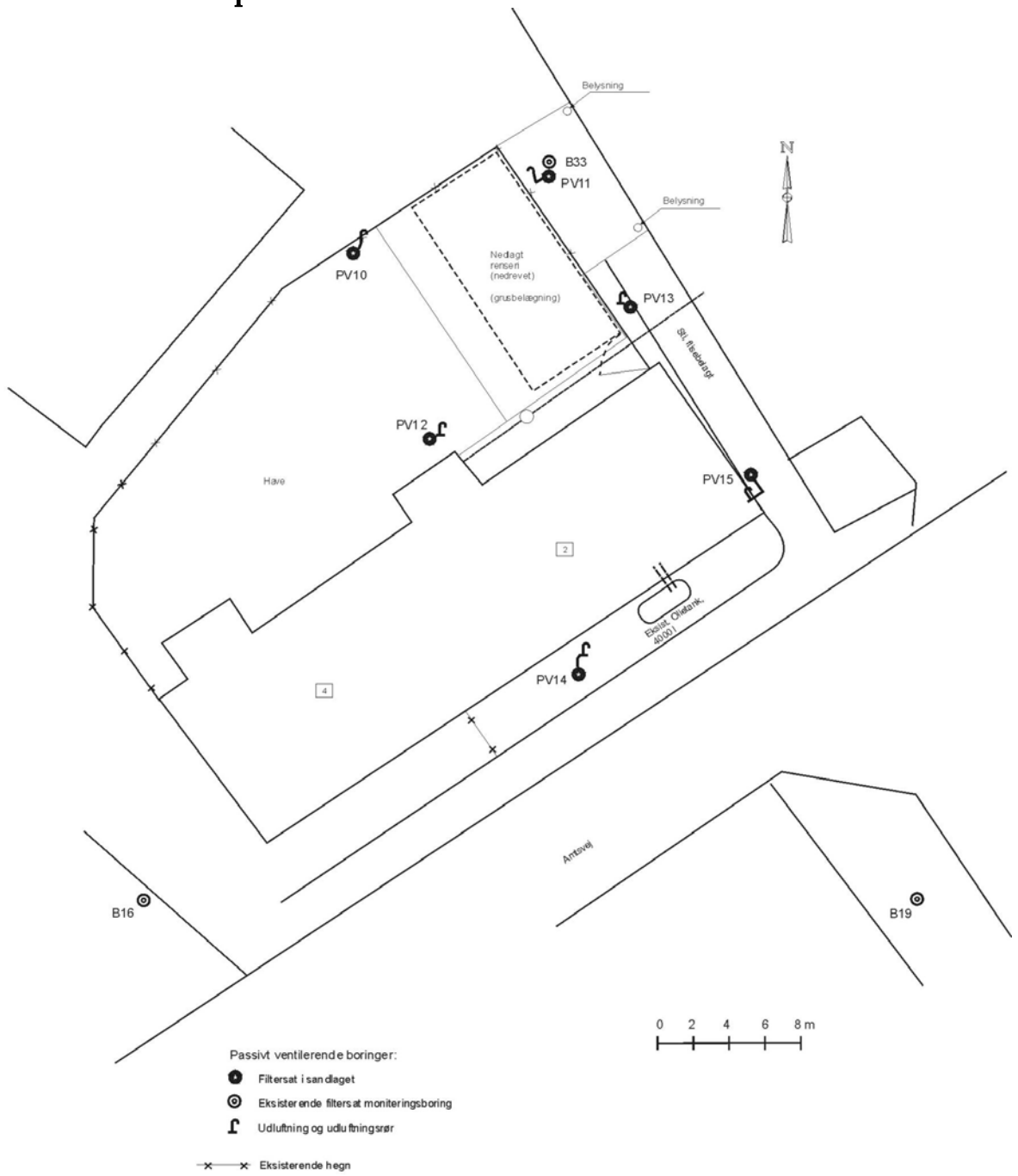
## Tidlig koncentrationsudvikling *Poreluft*



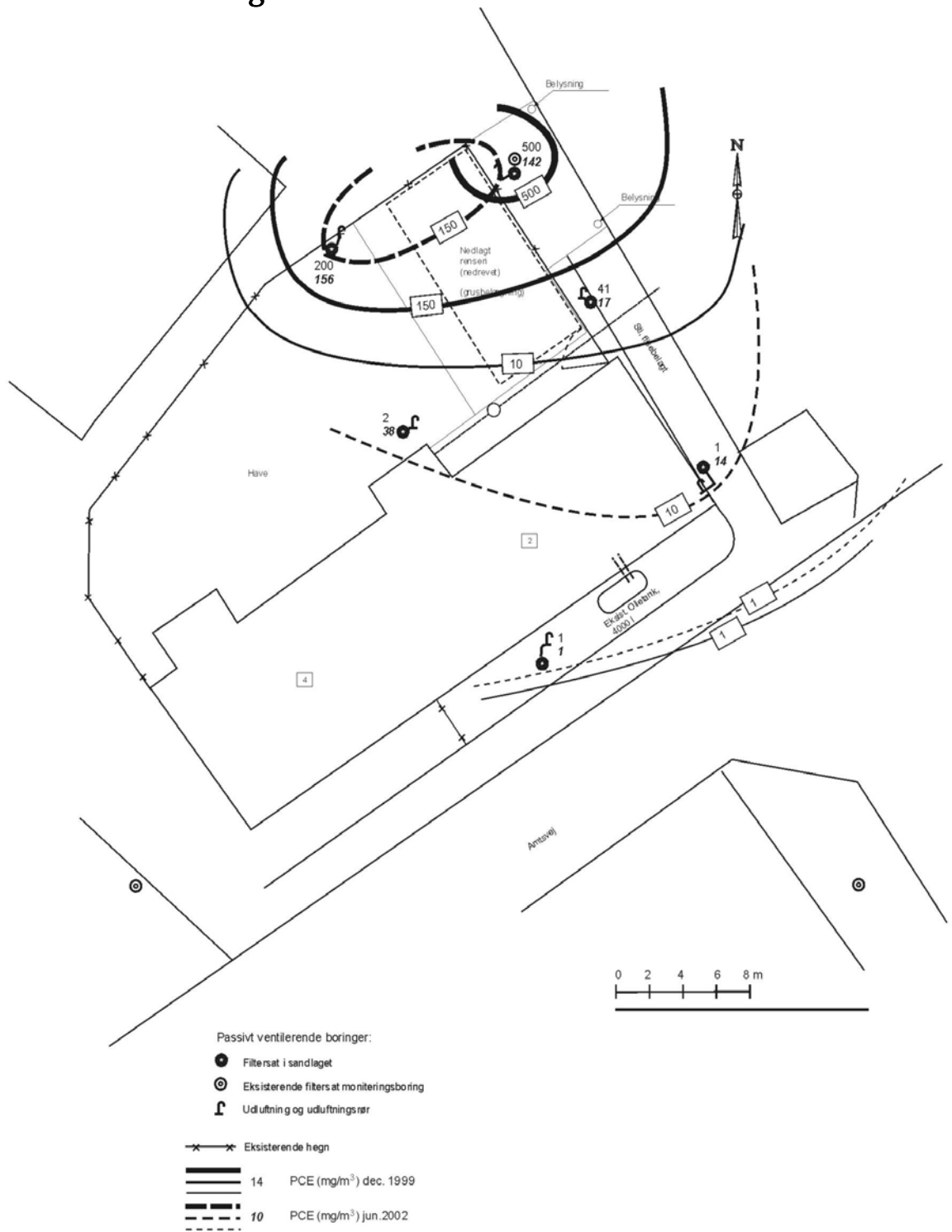
## Grundvand



# Situationsplan



# Forureningsudbredelse





# Carlshøjvej 53, Lyngby

## Forurening

Kilde	Renseri 1954-1970
Beskrivelse	Klorerede opløsningsmidler Koncentrationer: <ul style="list-style-type: none"><li>• Poreluft: 33 mg/m<sup>3</sup></li><li>• Grundvand: Op til 130 µg PCE/l</li></ul> Forureningsudbredelse: ca. 1800 m <sup>2</sup> (poreluft)
Formål med afværge	Reduktion af risiko for grundvandsressourcen (afskæring)

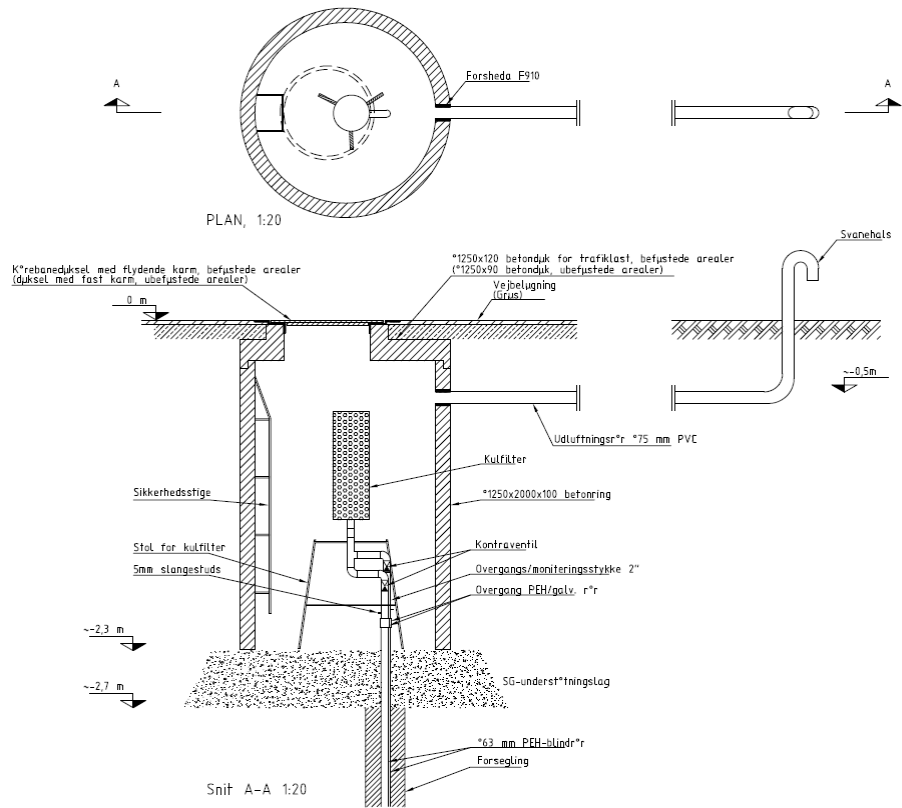
/Ref. 3/

## Systembeskrivelse

Antal	5 (PV1-PV5) – hver boring er filtersat i 2 intervaller Øvre filter 7-12 m.u.t Nedre filter 18-23 m.u.t
Type/materiale	Udluftningsrør fra brønd under terræn er ført over terræn og afsluttet i en svanehal. Blindrøret over filteret er i øvre ende monteret et overgangsstykke hvor på kulfilteret er monteret. Boringer for passiv ventilation inkl. Kulfilter er afsluttet i ca. 2 m dybe ø1250 mm betonbrønde.
Type afkast	Afkast fra øvre og nedre filter i hver boring samles sådan at der er et afkast fra hver boring. Afkast via udluftningsrør/svanehal fra hver boring
Brug af kulfilter	Ja, 1 kulfilter monteret i hver brønd (3 kulfiltre er fjernet efter ca. 7 år)
Dæklagstykkelse	Ca. 6 m
Umættet zone	Areal der ventileres: 700 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 19 m Jordvolumen der ventileres: 7000 m <sup>3</sup>
Flow	Gennemsnitligt flow 0,51 m <sup>3</sup> /t /Ref. 5/ Differenstryk -25 mBar til +15 mBar /Ref. 5/
Fjernelsesrate	125 g/år per. filter /Ref. 5/
Diverse	

/Ref. 4/ hvis ikke andet er angivet

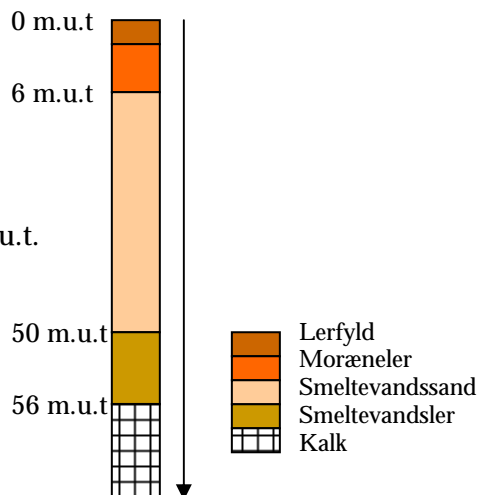
# Illustration af system



## Geologi

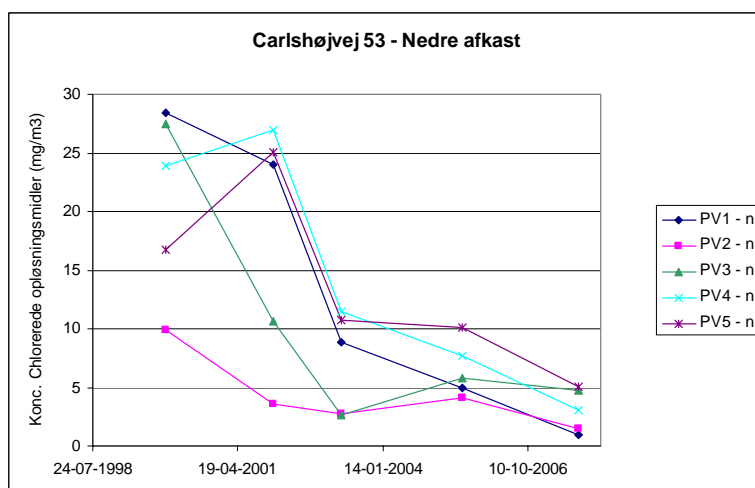
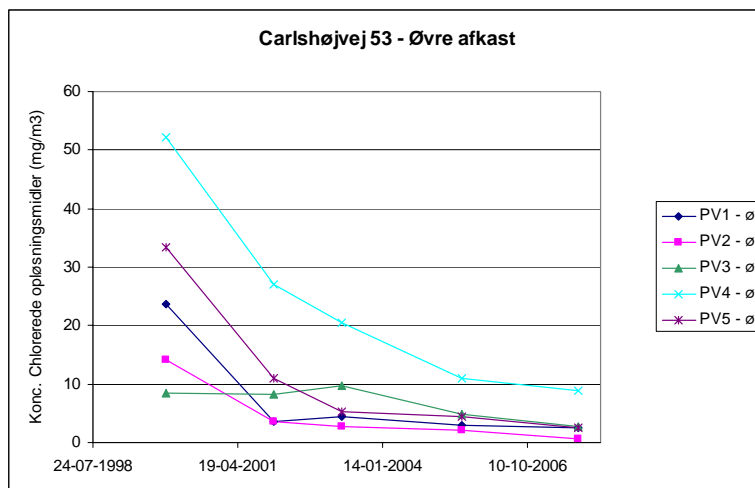
0,5-2 m.u.t: Lerfyld  
 2-6 m.u.t: Moræner  
 6-50 m.u.t: Smeltevandssand  
 50-56 m.u.t: Smeltevandsler  
 Kalk

Grundvand sekundært mag. Ca. 25 m u.t.  
 /Ref. 5/

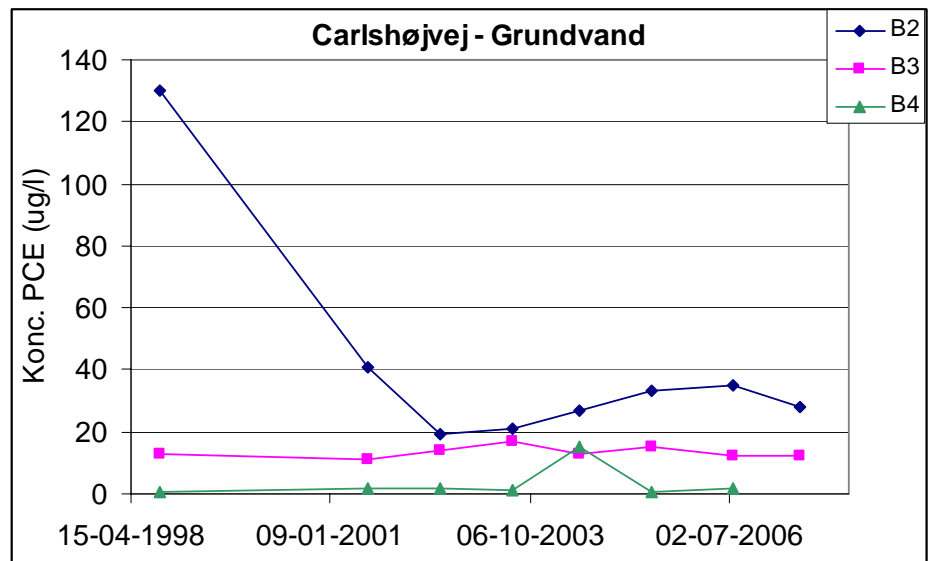


## Tidlig koncentrationsudvikling

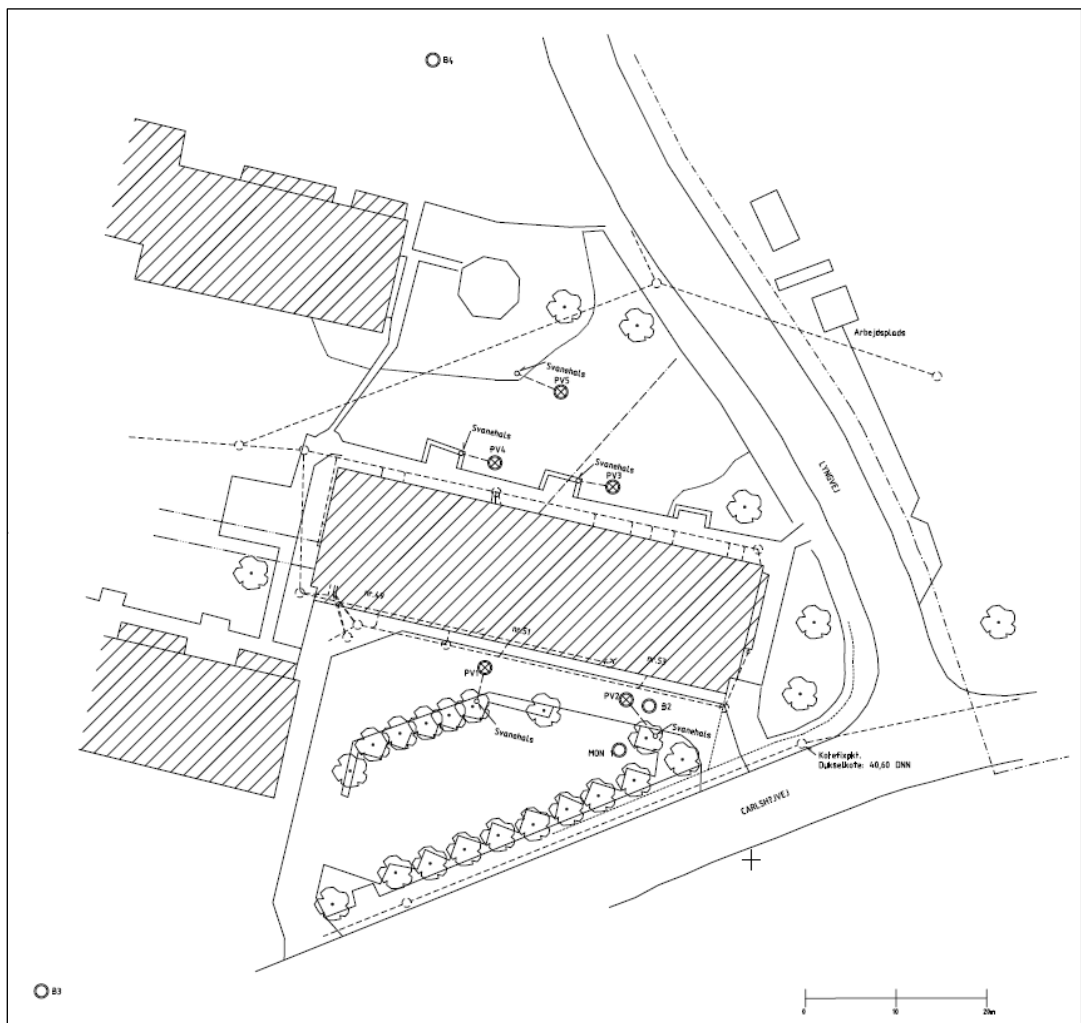
### Poreluft



## Grundvand



## Situationsplan



# Læssevej 3, Værløse

## Forurening

Kilde	Renseri 1965-1983
Beskrivelse	Primært PCE Forurening: <ul style="list-style-type: none"><li>• Poreluft hotspot: Op til 5.400 mg/m<sup>3</sup> PCE (0-4 m.u.t) og 25 mg/m<sup>3</sup> i bunden af umættet sandlag (30,5-31,5 m.u.t)</li><li>• Jord hotspot: Op til 190mg/kg TS</li><li>• Porevand hotspot: 940 µg/l</li><li>• Primære grundvand u. hotspot: 0,75 µg/l</li></ul> Forureningsudbredelse: 400 m <sup>2</sup> (poreluft)
Formål med afværge	Reduktion af risiko for uacceptabel påvirkning af grundvandsressourcen og hermed drikkevandsforsyningen (afskæring)

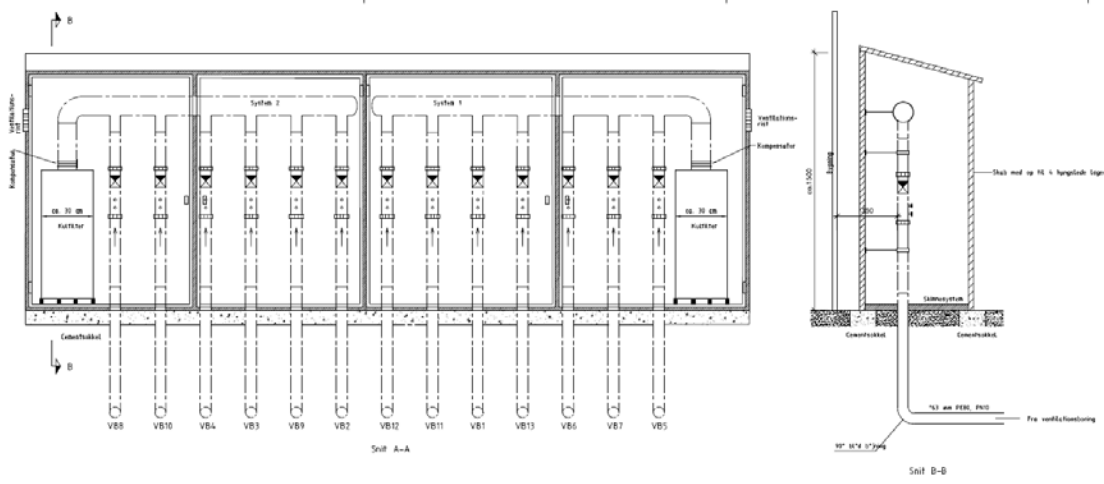
/Ref. 6/

## Systembeskrivelse

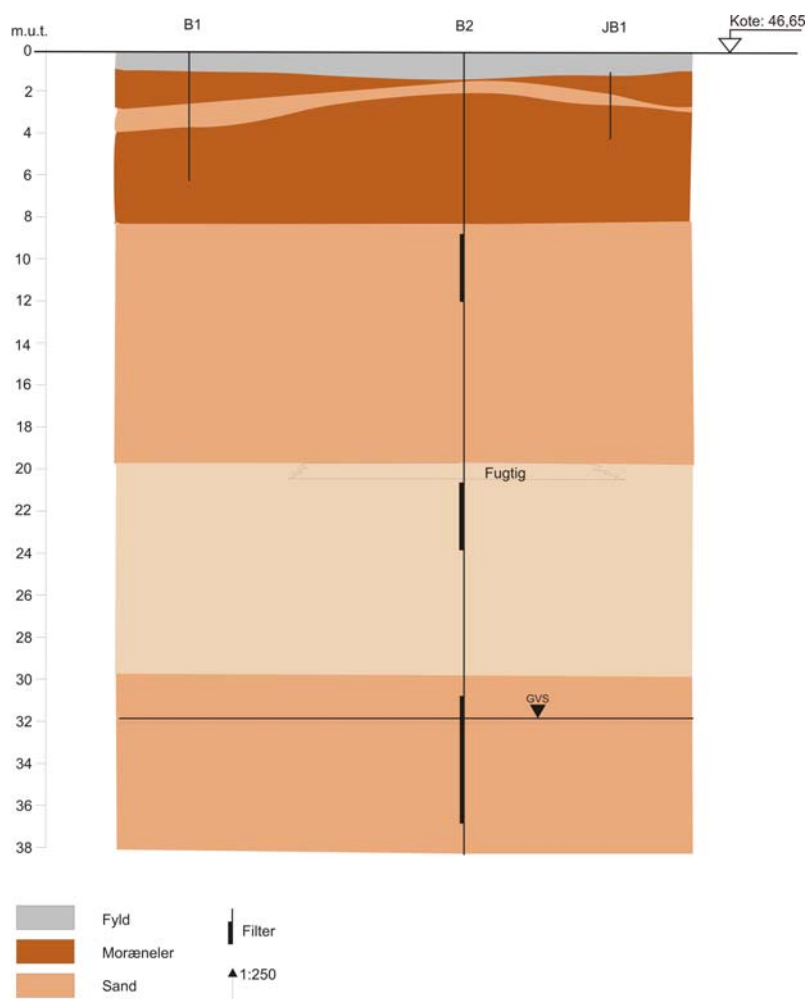
Antal boringer	13 (V1-V13)
Boringer type/materiale	10'' boringer til 20 m.u.t med ø63 mm PE80, PN10 filterrør. Filtersat 10-20 m.u.t Afsluttet 0,7-1,0 m.u.t og tilsluttet ventilationsledninger Ventilationsledninger udført i ø63, PE80, PN10 Ventilationsledningerne er tilsluttet en fælles manifold før kulfilter
Type afkast	Fælles afkast
Brug af kulfilter	Ja, 2 kulfiltre monteret
Dæklagstykkelse	Ca. 8 m
Umættet zone	Areal der ventileres: ca. 1100 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 24 m Jordvolumen der ventileres: 11000 m <sup>3</sup>
Flow	Gennemsnitligt flow: 1,3 m <sup>3</sup> /t /Ref. 8/ Maks flow: 5,4 m <sup>3</sup> /t /Ref. 9/ Differenstryk ± 15-20 mbar /Ref. 6/
Fjernelsesrate	Vurderet: 3-16 g klorerede kulbrinter pr. døgn /Ref. 7/
Diverse	

/Ref. 6/ hvis ikke andet er angivet

# Illustration af system



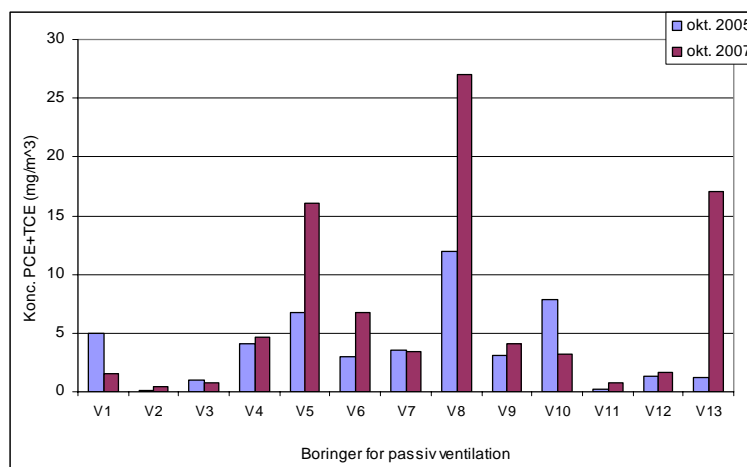
# Geologi



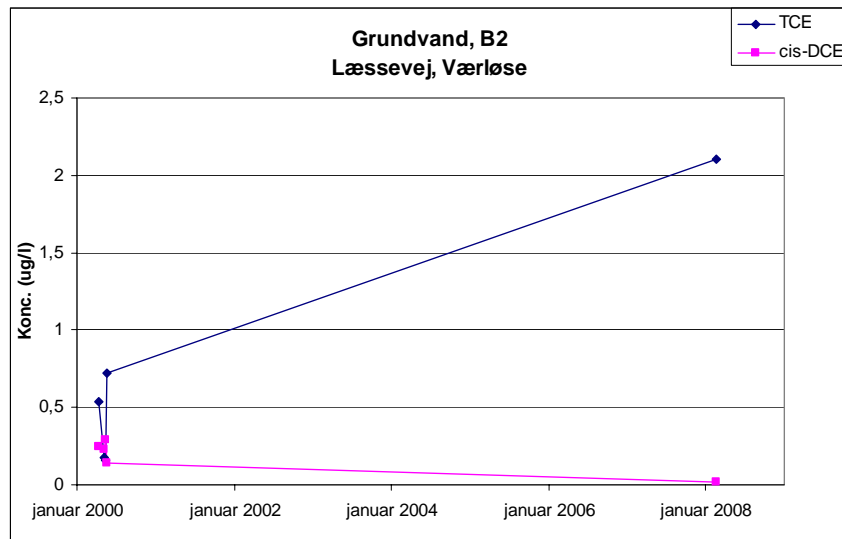
/Ref. 7/

## Tidlig koncentrationsudvikling

### Poreluft

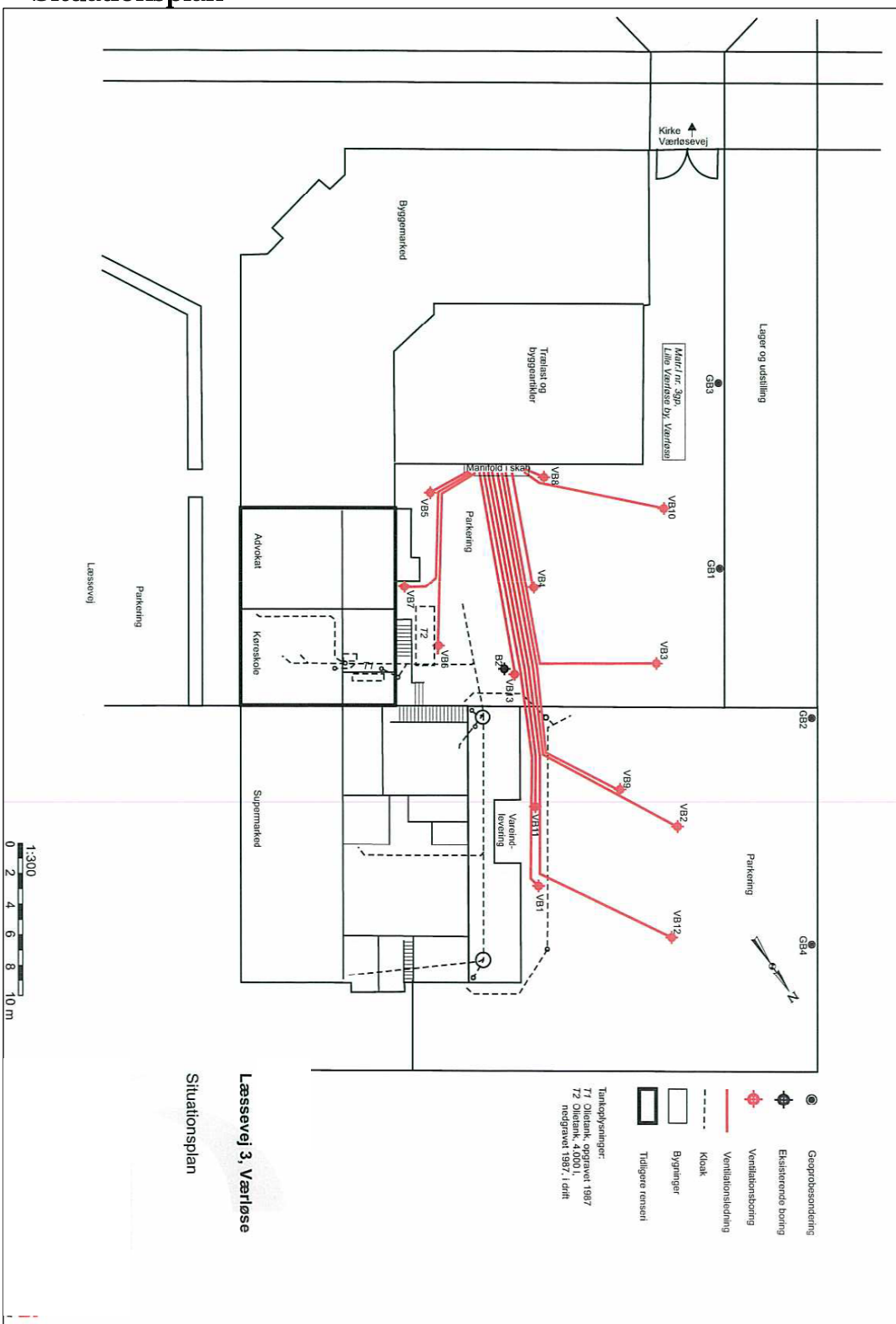


## Grundvand

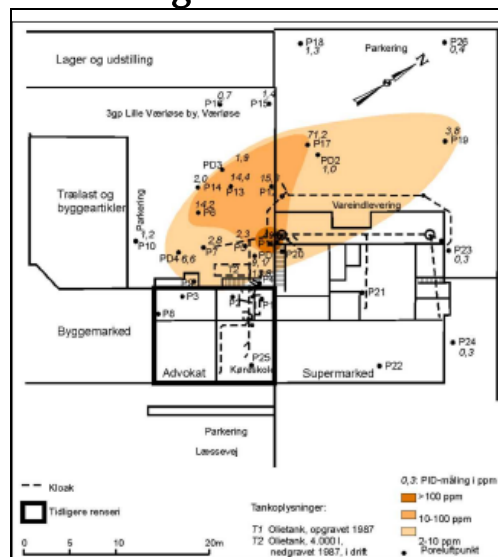




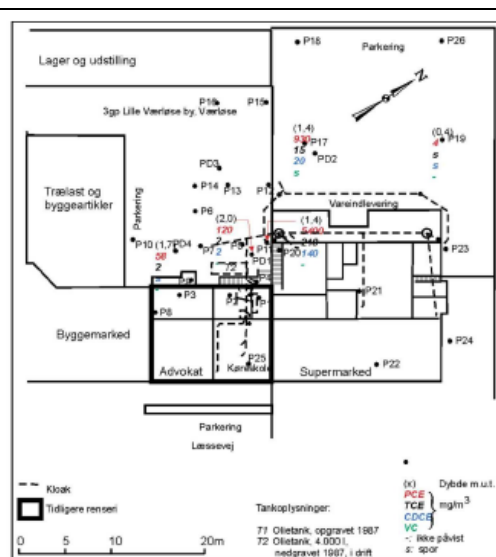
# Situationsplan



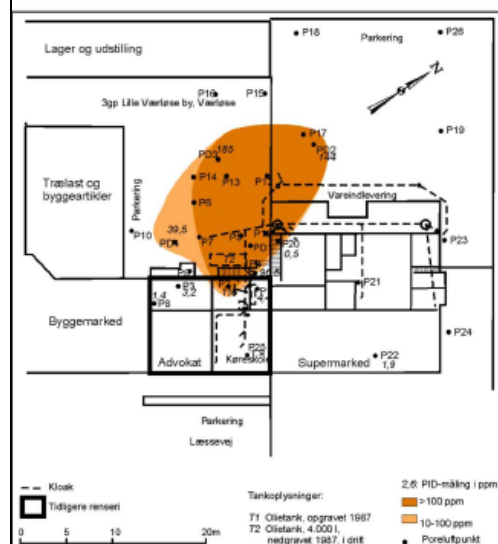
# Forureningsudbredelse



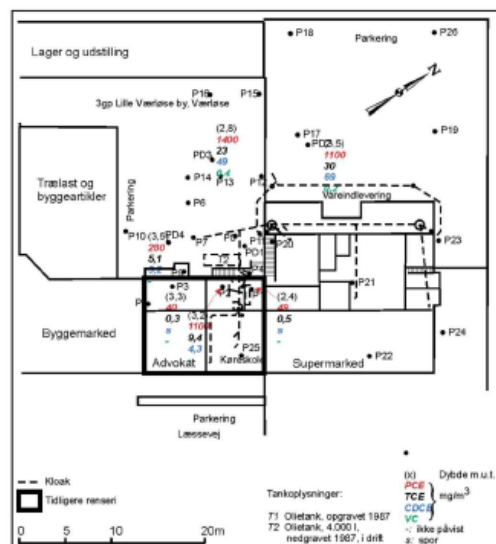
PID-målinger af poreluften 0-2 m.u.t.



Analysen af poreluften 0-2 m.u.t.



PID-målinger af poreluften 2-4 m.u.t.



Analysen af poreluften 2-4 m.u.t.

# Skovlunde Byvej 96A, Skovlunde

## Forurening

Kilde	Renseri 1960-1987
Beskrivelse	Primært PCE Forurening: <ul style="list-style-type: none"><li>• Poreluftforurening: Terrænnære jordlag, Over 20.000 mg/m<sup>3</sup>.</li><li>• Jord: Op til 100 mg/kg TS</li></ul> Forureningsudbredelse: ca. 700 m <sup>2</sup> (grundvand)
Formål med afværge	Reduktion af risiko for grundvandsressourcen (afskæring)

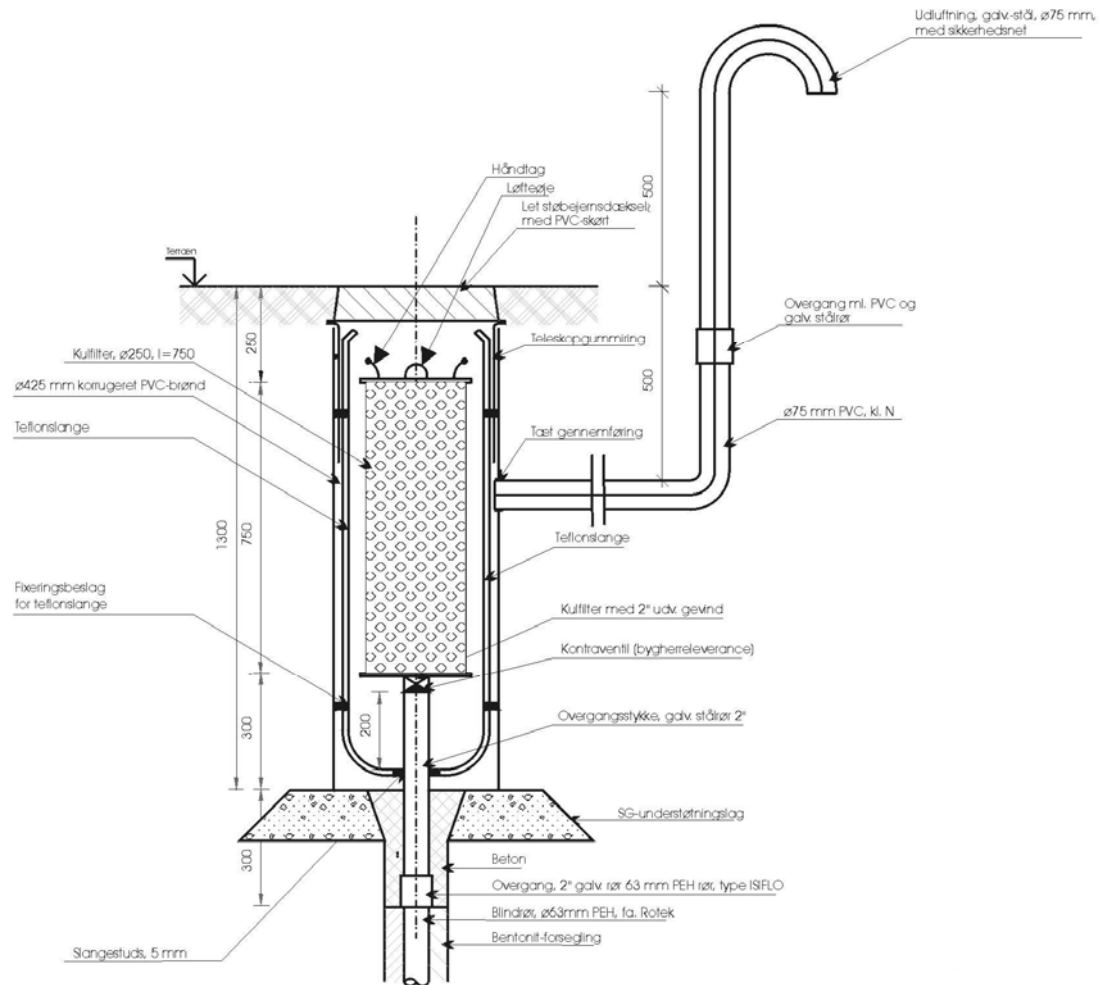
/Ref. 9/

## Systembeskrivelse

Antal boringer	6 (B54-B59)
Boringer type/materiale	Udluftningsrør fra brønd under terræn er ført over terræn og afsluttet i en svanehal. Øverste meter af blindrøret er udført i stålrør og kulfilter er monteret på dette.
Type afkast	Afkast via udluftningsrør/svanehal fra hver boring
Brug af kulfilter	Ja, 1 kulfilter monteret i hver brønd
Dæklagstykkelse	Ca. 10 m
Umættet zone	Areal der ventileres: 1000 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 3 m Jordvolumen der ventileres: 3000 m <sup>3</sup>
Flow	Test: Gennemsnitligt flow 0,65 m <sup>3</sup> /t /Ref. 10/
Fjernelsesrate	91 g klorerede opløsningsmidler pr. døgn /Ref. 10/
Diverse	Etableret sammen med afværgedræn

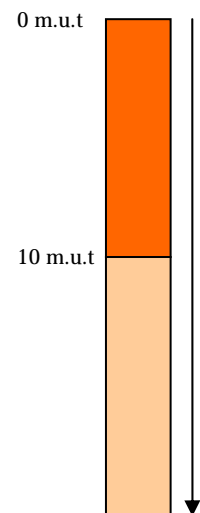
/Ref. 9/ hvis ikke andet er angivet

## Illustration af system



## Geologi

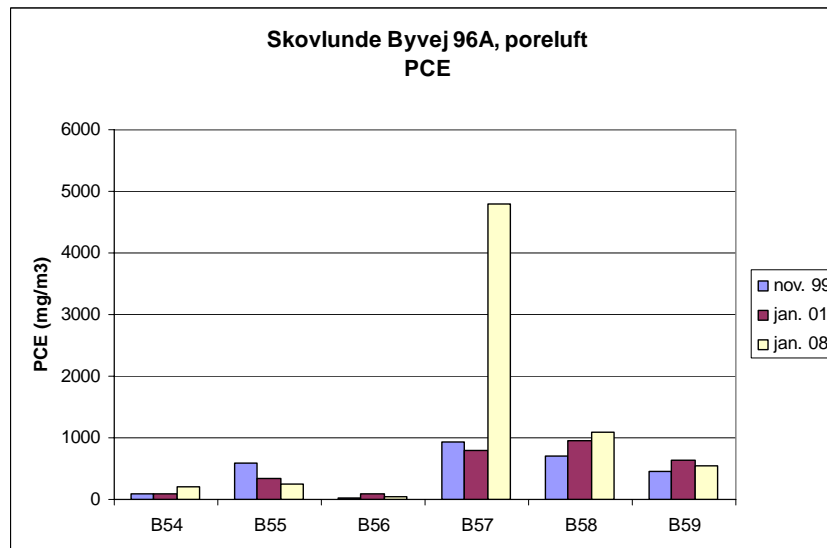
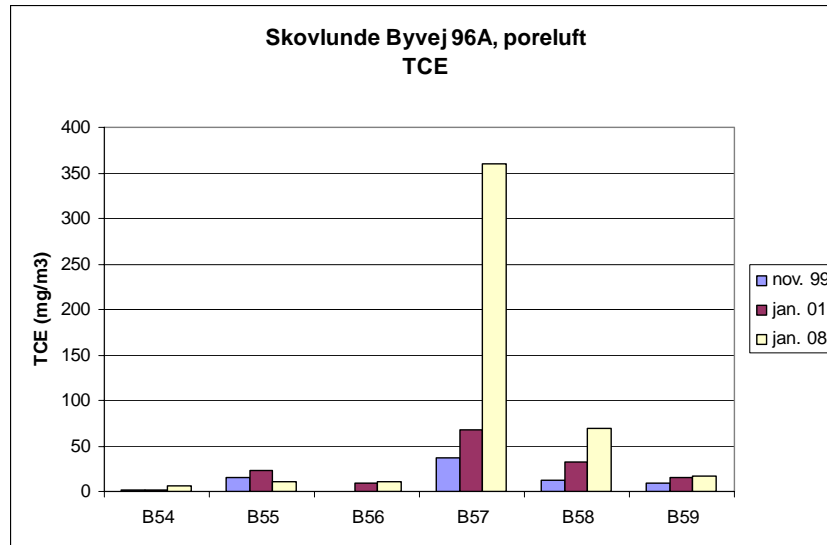
0-10 m.u.t: Moræner  
 10-? (mindst 16 m.u.t): Sand  
 Vandspejl: 13 m.u.t  
 /Ref. 10/



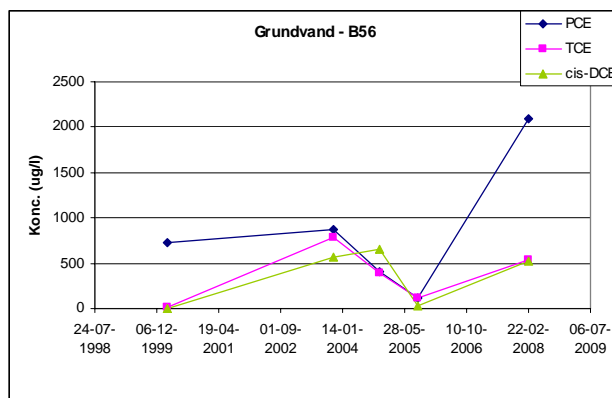
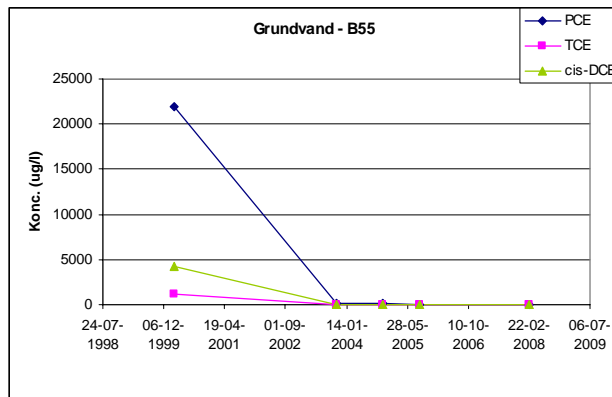
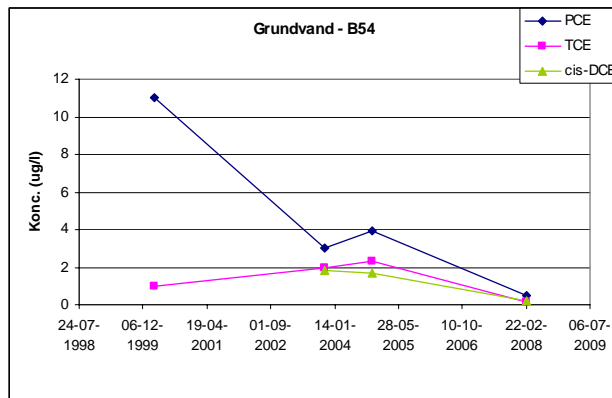
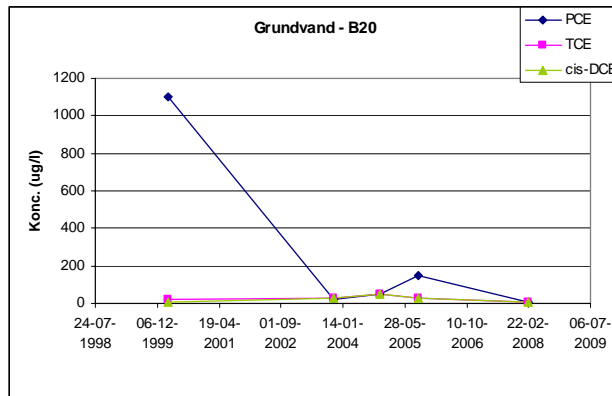
Moræner  
 Sand

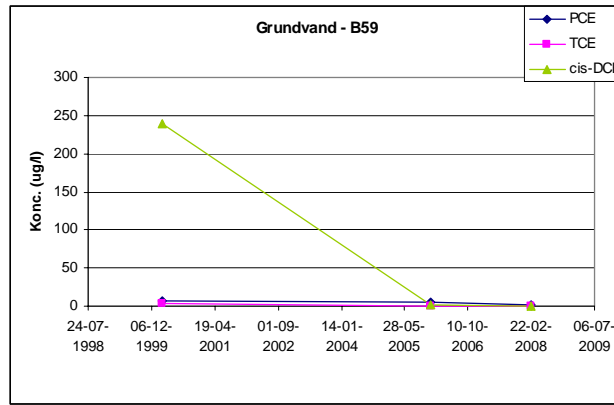
# Tidslig koncentrationsudvikling

## Poreluft



## Grundvand

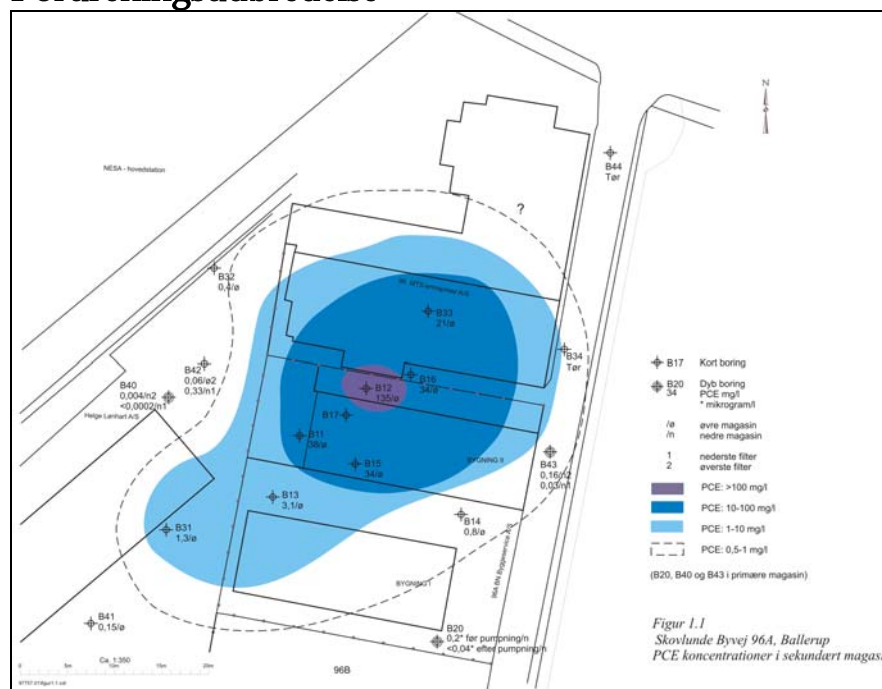




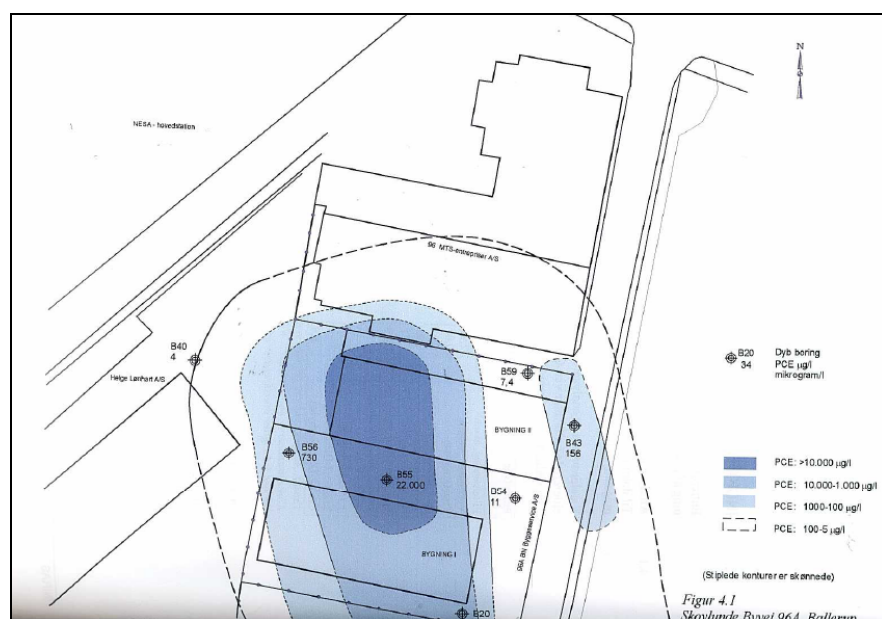




## Forureningsudbredelse



Sekundært grundvandsmagasin /Ref. 9/



Primært grundvandsmagasin /Ref. 9/



# Smallegade 52, Frederiksberg

## Forurening

Kilde	Forkromningsanstalt 1932-1979
Beskrivelse	Primært TCE Forurening: <ul style="list-style-type: none"><li>• Grundvand: Max 12.000 µg/l /Ref. 14/</li><li>• Poreluft: Op til 38.000 mg TCE pr. m<sup>3</sup> (7-8 m.u.t)</li><li>• Jord: Max 22 mg/kg TS /Ref. 14/</li></ul> Forureningsudbredelse: 800 m <sup>2</sup> (grundvand)
Formål med afværg	Reduktion af risiko for grundvandsressourcen (afskæring)

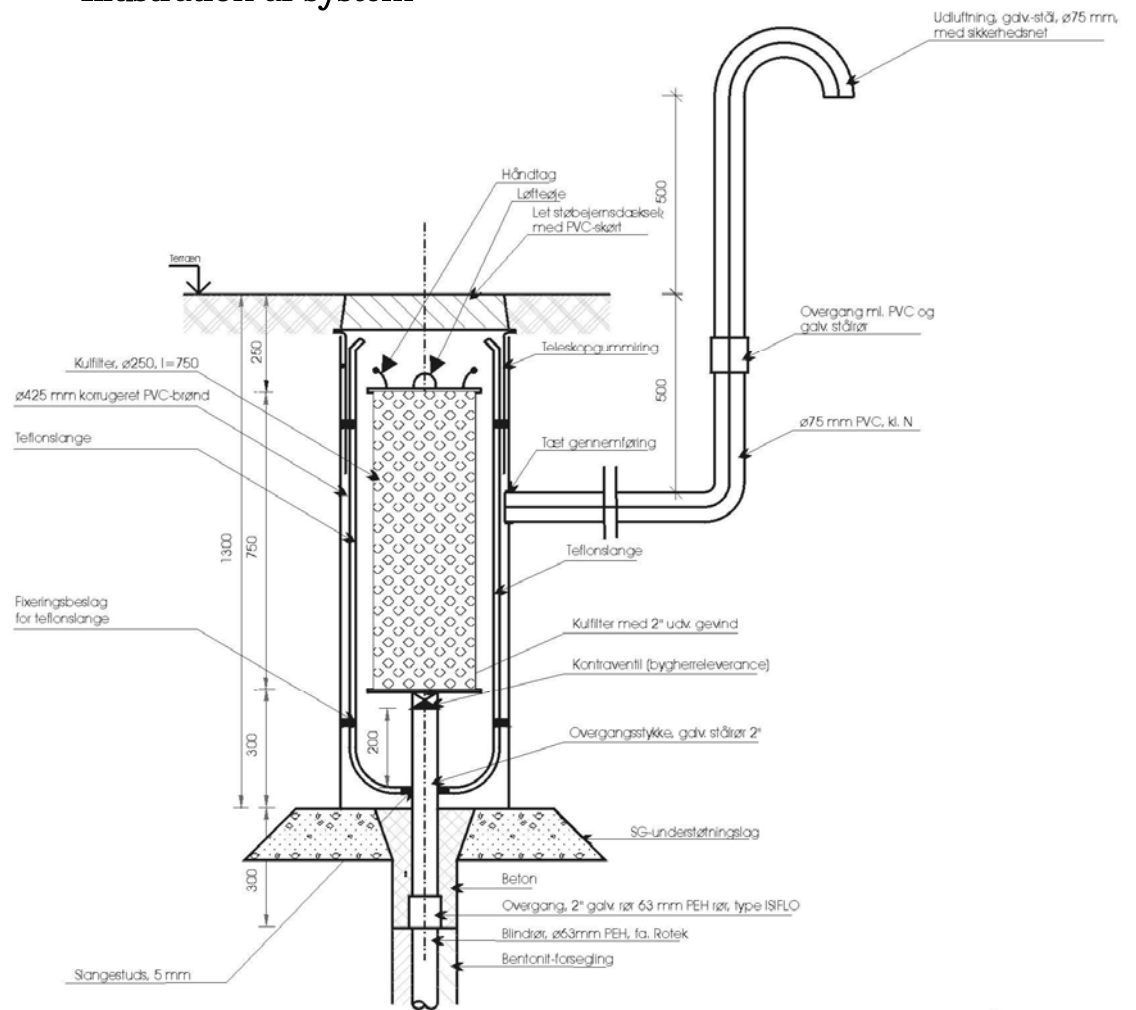
/Ref. 11/ hvis ikke andet er angivet

## Systembeskrivelse

Antal boringer	4 (PV1-PV4)
Boringer type/materiale	Boringerne er bestykket med en ø425 mm plastbrønd med tæt kørebanedæksel. Udluftningsrør fra brønd under terræn er ført over terræn og afsluttet i en svanehal. Blindrøret over filteret er i øvre ende monteret et overgangsstykke hvor på kulfilteret er monteret.
Type afkast	Afkast via udluftningsrør/svanehal fra hver boring
Brug af kulfilter	Ja, 1 kulfilter monteret i hver brønd
Dæklagstykkelse	5-7 m
Umættet zone	Areal der ventileres: 750 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 30 cm Jordvolumen der ventileres: 225 m <sup>3</sup>
Flow	0,2 m <sup>3</sup> /time /Ref. 13/ Differenstryk ± 8 mBar /Ref. 13/
Fjernelsesrate	2,5 kg/døgn v. aktiv ventilation /Ref. 14/
Diverse	

/Ref. 12/ hvis ikke andet er angivet

## Illustration af system

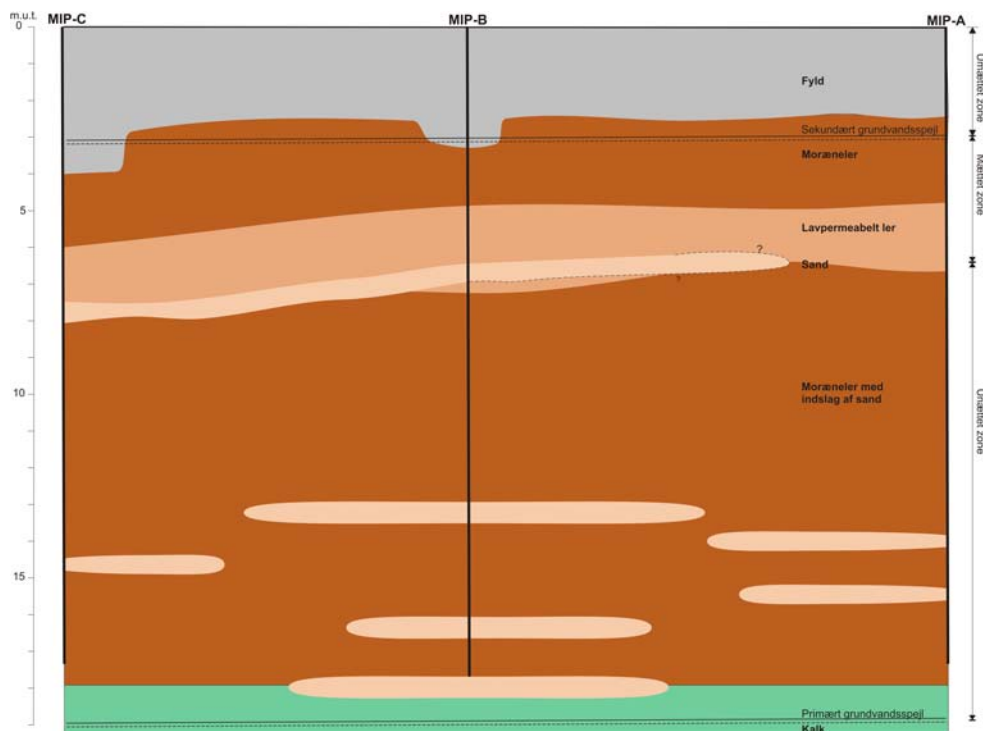


## Geologi

Kvartære aflejringer med en mægtighed på 18-20 m, - overvejende moræneler, herunder træffes kalken.

Ca. 5-7 m.u.t - formation af fed ler, der er så lavpermeabelt, at der over denne zone er en mættet zone. Herunder er der en umættet zone på 30 cm. 13-16 m.u.t er der konstateret sandede formationer.

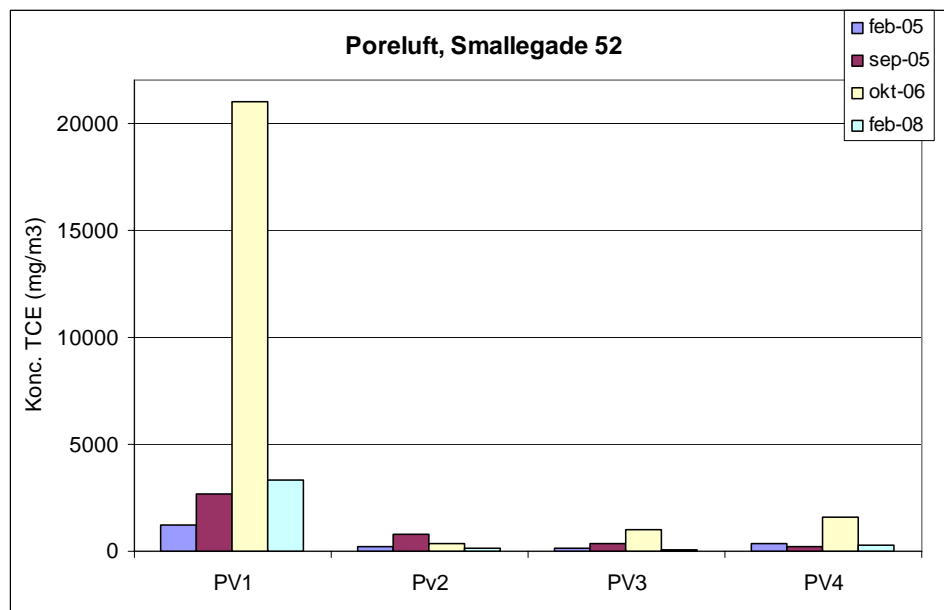
/Ref. 11/



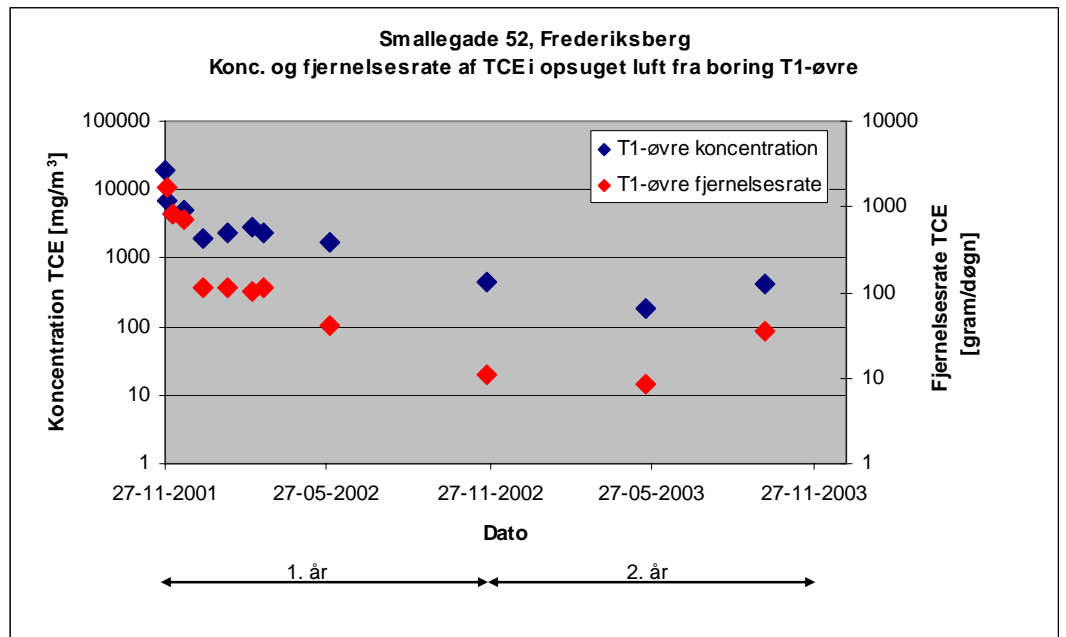
/Ref. 12/

## Tidlig koncentrationsudvikling

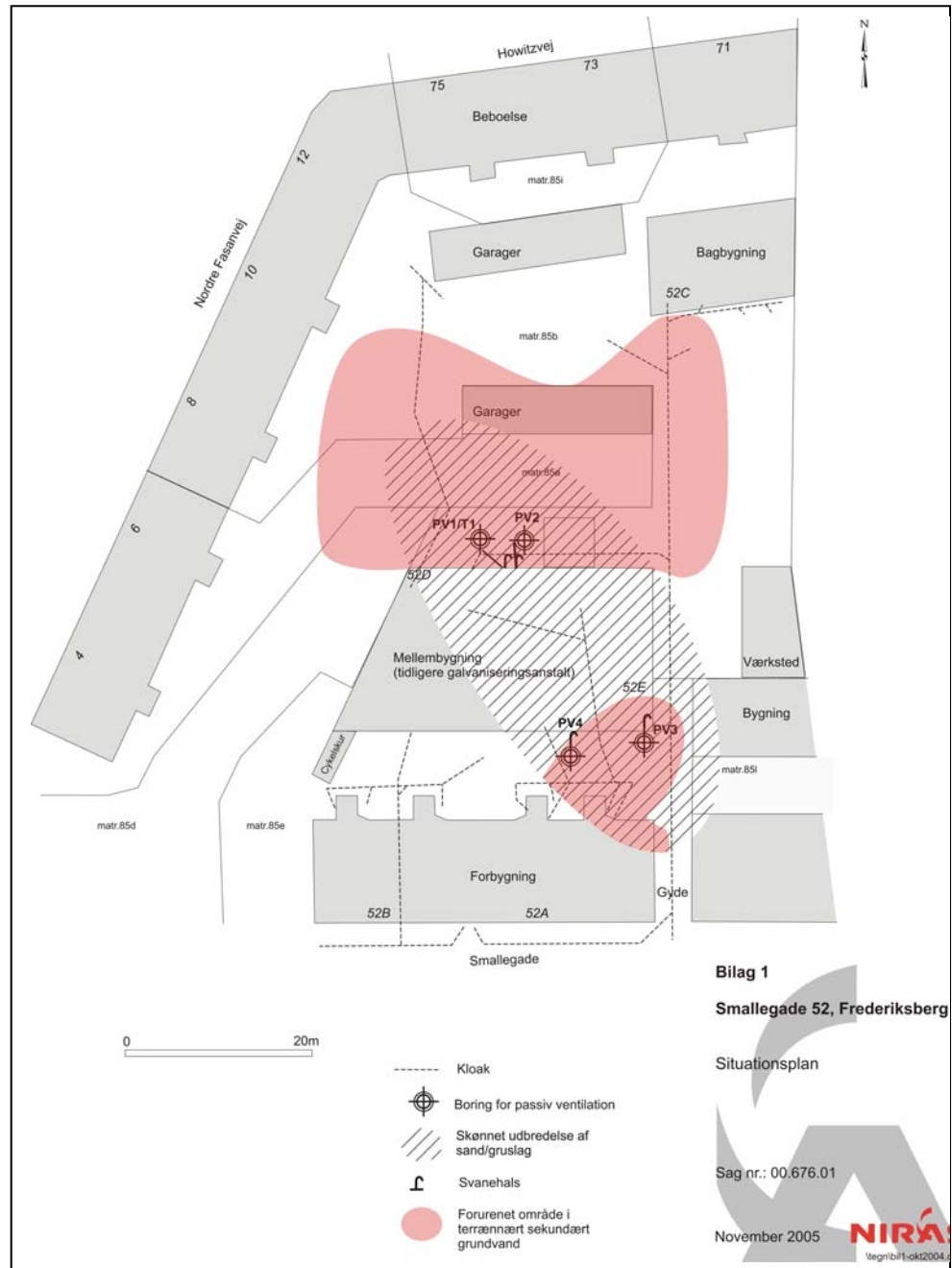
### Poreluft - Passiv ventilation



**Poreluft - Aktiv ventilation**



# Situationsplan med forureningsudbredelse







# Svenskelejren 23, Brønshøj

## Forurening

Kilde	Renseri 1951-1991
Beskrivelse	Kloreerede opløsningsmidler Forurening: <ul style="list-style-type: none"><li>• Poreluftforurening: Op til 270 mg/m<sup>3</sup> PCE</li><li>• Grundvand: Op til 520 µg/l PCE</li></ul> Forureningsudbredelse: ca. 300 m <sup>2</sup>
Formål med afværge	Reduktion af risiko for grundvandsressourcen (afskæring)

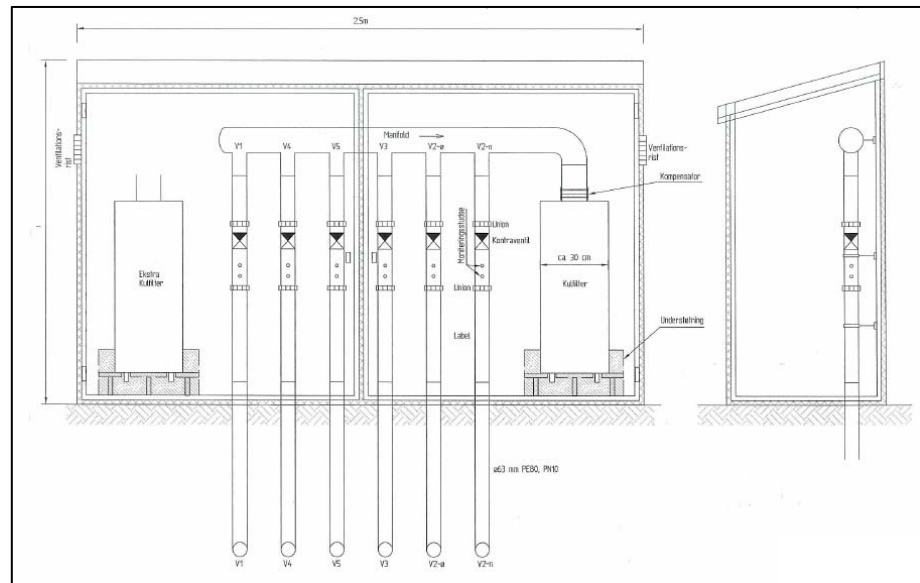
/Ref. 15/

## Systembeskrivelse

Antal boringer	5 (V1-V5) – V2 er filtersat i 2 niveauer
Boringer type/materiale	10'' boringer til 20 m.u.t med ø63 mm PE80, PN10 filterrør. Filtersat over 3-6 m Afsluttet 0,7-1,0 m.u.t og tilsluttet ventilationsledninger Ventilationsledninger udført i ø63, PE80, PN10 Ventilationsledningerne er tilsluttet en fælles manifold før kulfilter
Type afkast	Fælles afkast
Brug af kulfilter	Ja, 1 kulfilter monteret
Dæklagstykkelse	Ca. 10 m
Umættet zone	Areal der ventileres: 800 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 3 m Jordvolumen der ventileres: 2400 m <sup>3</sup>
Flow	Gennemsnits flow: 1,6 m <sup>3</sup> /t /Ref. 18/ Maks flow: 10,8 m <sup>3</sup> /t /Ref. 18/ Differenstryk ± 15 mbar /Ref. 17/
Fjernelsesrate	Konc. 0-25 mg/m <sup>3</sup> /Ref. 18/ Gennemsnitligt flow ca. 150 m <sup>3</sup> /døgn /Ref. 18/ Fjernelsesrate ca. 4 g pr. døgn
Diverse	Kildestyrkeareal (moræneler) 150 m <sup>2</sup> 2,5 udskiftninger af poreluften pr. måned /Ref. 18/

/Ref. 16/ hvis ikke andet er anført

## Illustration af system



## Geologi

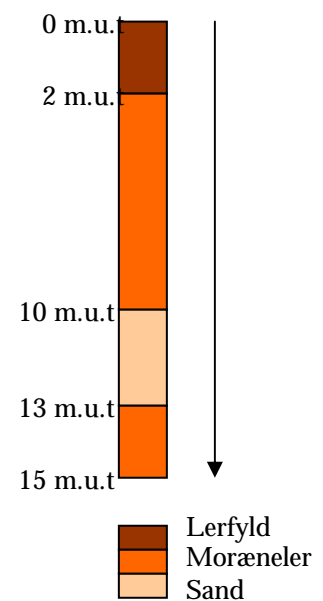
0-2 m.u.t: Lerfyld  
 2-10 m.u.t: Moræneler  
 10-13 m.u.t.: Sand  
 13-15 m.u.t: Moræneler

Forventes:

15-20 m.u.t.: Moræneler m. smeltevandssand  
 20-40 m.u.t: Smeltevandssand  
 40-?? m.u.t: Kalk

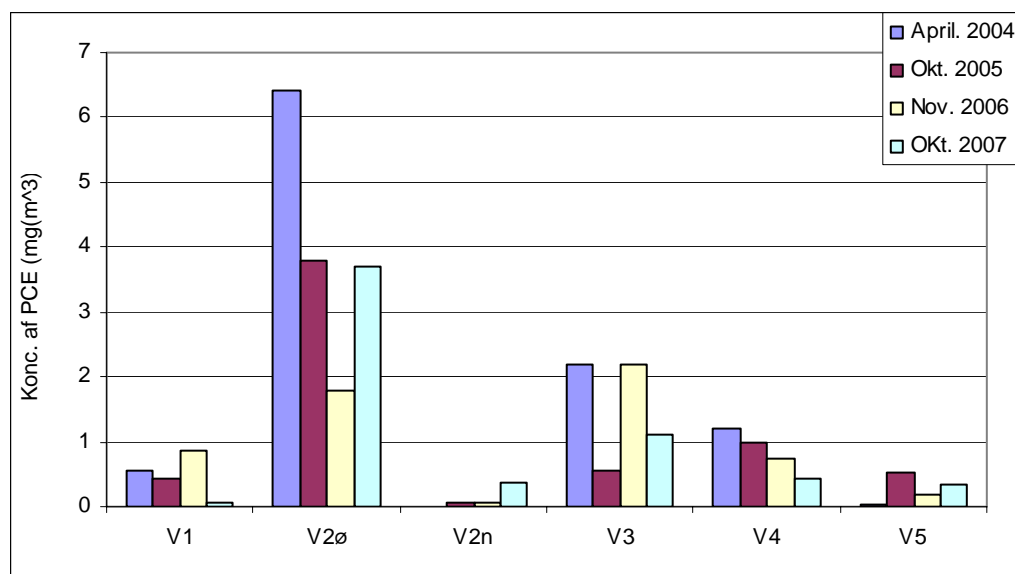
Vandspejl: ca. 22-24 m.u.t.

/Ref. 15/

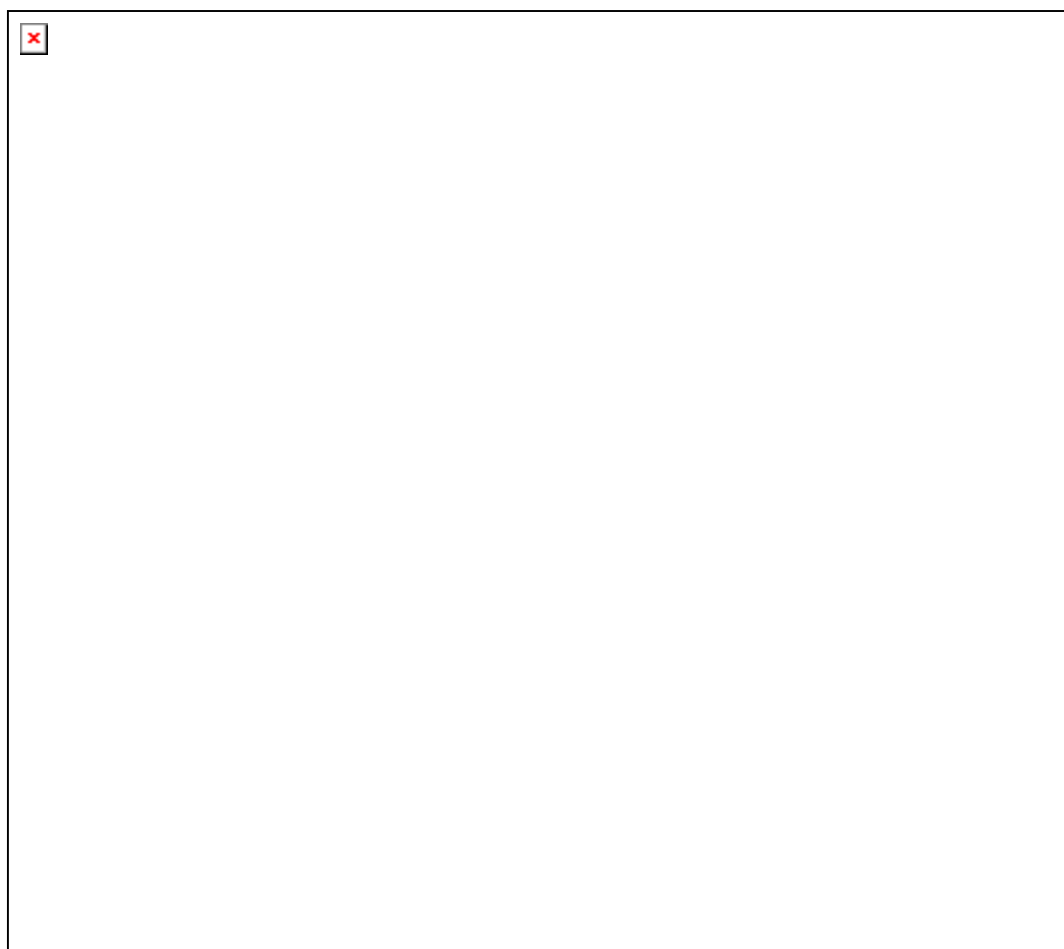


## Tidslig koncentrationsudvikling

### Poreluft



## Situationsplan med forureningsudbredelse





# Virumvej 84B, Virum

## Forurening

Kilde	Renseri 1963-1998
Beskrivelse	Klorerede opløsningsmidler Koncentrationer: <ul style="list-style-type: none"><li>• Poreluftforurening: Terrænnære jordlag, ca. 350 m<sup>2</sup> – 1-3.400 mg/m<sup>3</sup>. Umættet zone, ca. 20.000 m<sup>2</sup> – 1-500 mg/m<sup>3</sup></li><li>• Jord: Op til 0,72 mg/kg TS</li><li>• Grundvand: 1500 µg PCE/l</li></ul> Forureningsudbredelse: <ul style="list-style-type: none"><li>• Grundvand: 7500 m<sup>2</sup></li><li>• Poreluft: 10.000 m<sup>2</sup></li></ul>
Formål med afværge	Reduktion af risiko for grundvandsressourcen (ikke risiko for vandindvinding) (afskæring)

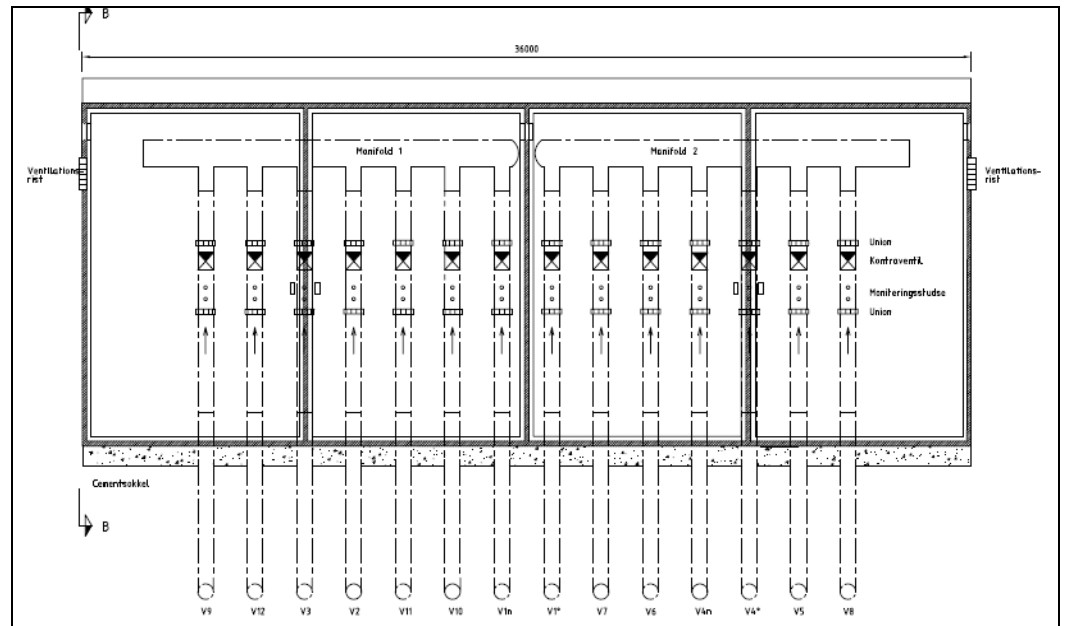
/Ref. 19/

## Systembeskrivelse

Antal boringer	12 (V1-V12) – V1 og V4 er filtersat i 2 niveauer
Boringer type/materiale	boringer til 17 m.u.t forsynet med ø63 mm filterrør og forerør Filtersat 5-17 m.u.t Afsluttet 0,7-1,0 m.u.t og forbundet med ø63 mm PE-rør Ventilationsledningerne er tilsluttet en fælles manifold
Type afkast	Fælles afkast
Brug af kulfilter	Nej
Dæklagstykkelse	Ca. 5 m
Flow	Gennemsnitligt flow: 1,2 m <sup>3</sup> /t pr. filter /Ref. 20/ Maks flow: 18m <sup>3</sup> /t Differenstryk ± 20 mbar /Ref. 20/
Umættet zone	Areal der ventileres: 900 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 15 m Jordvolumen der ventileres: 10.800 m <sup>3</sup>
Fjernelsesrate	10-500 g klorerede opløsningsmidler pr. døgn
Diverse	Aktiv ventilation V1-V7 forud for passiv ventilation Flow 300-330 m <sup>3</sup> /t Kildestyrke: 600 g klorerede opløsningsmidler pr. år Estimeret massebalance for klorerede opløsningsmidler: I alt 25 kg, 13 kg i kilden, 8 kg vandfasen, 3 kg sorberet og 1 kg i gasfasen

/Ref. 19/ hvis ikke andet er angivet

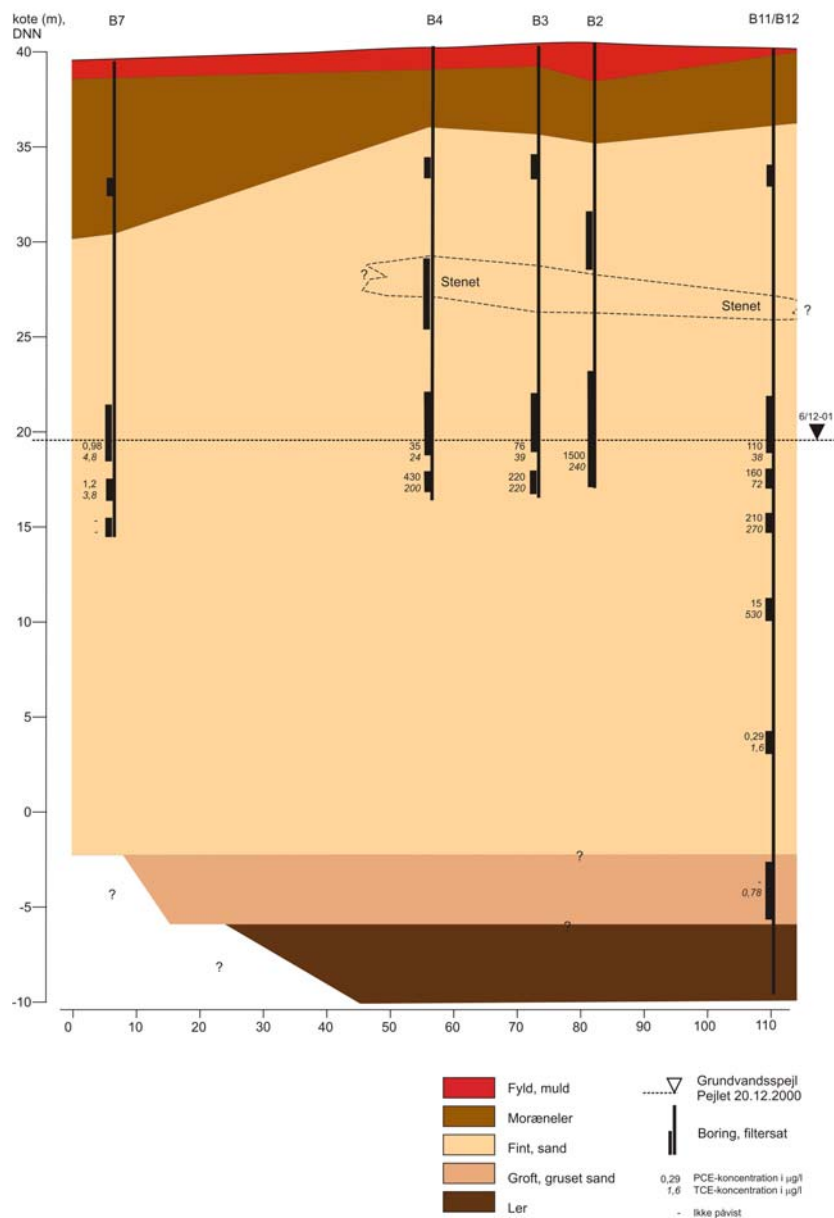
## Illustration af system



# Geologi

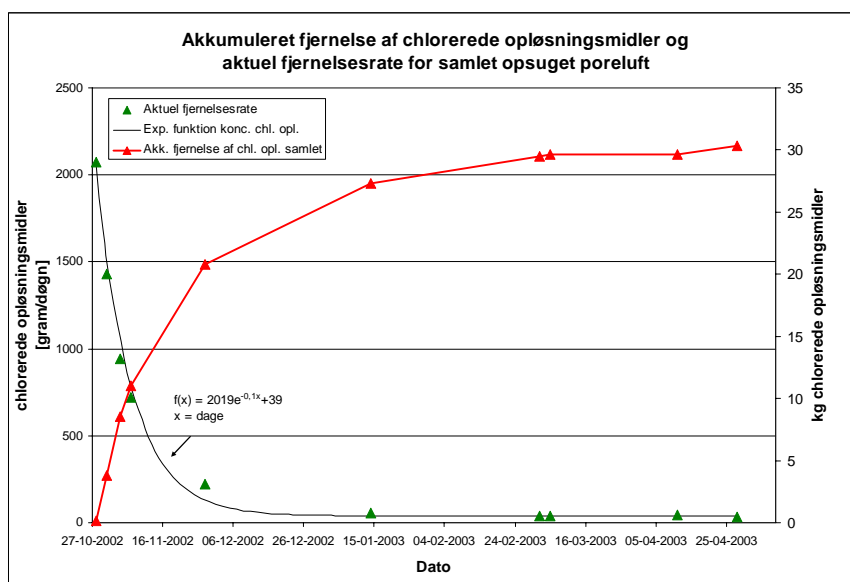
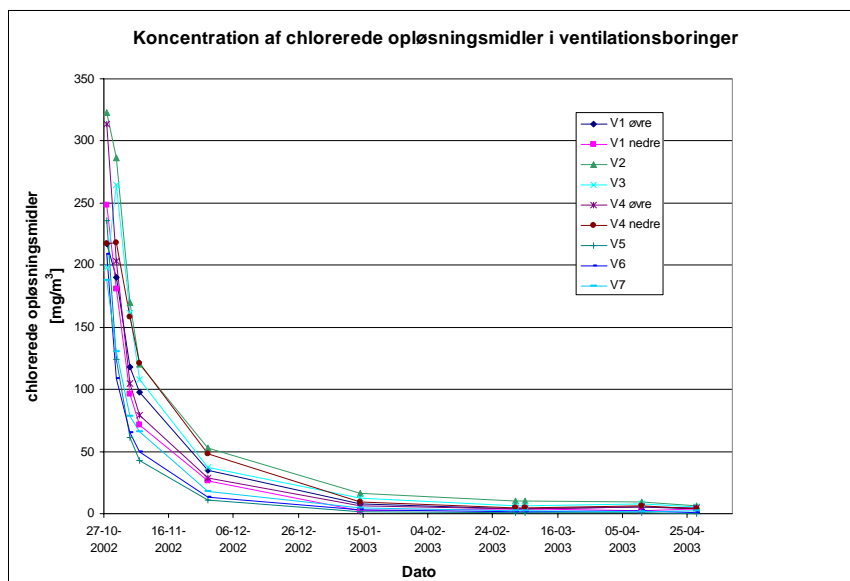
Nord

Syd

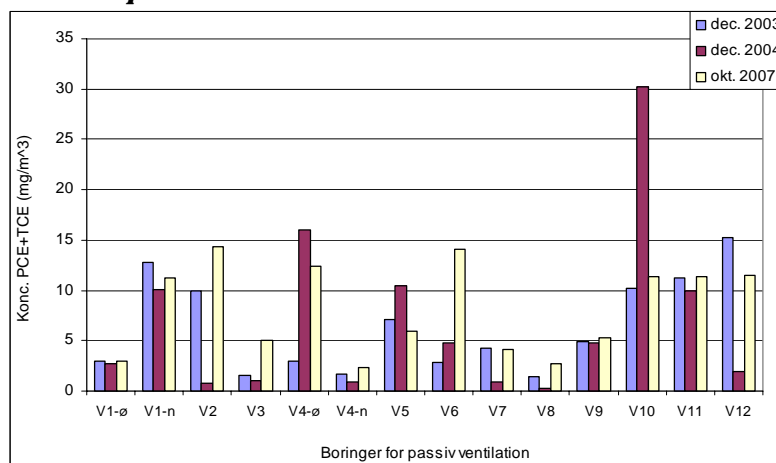


/Ref. 19/

## Tidlig koncentrationsudvikling Poreluft – aktiv ventilation

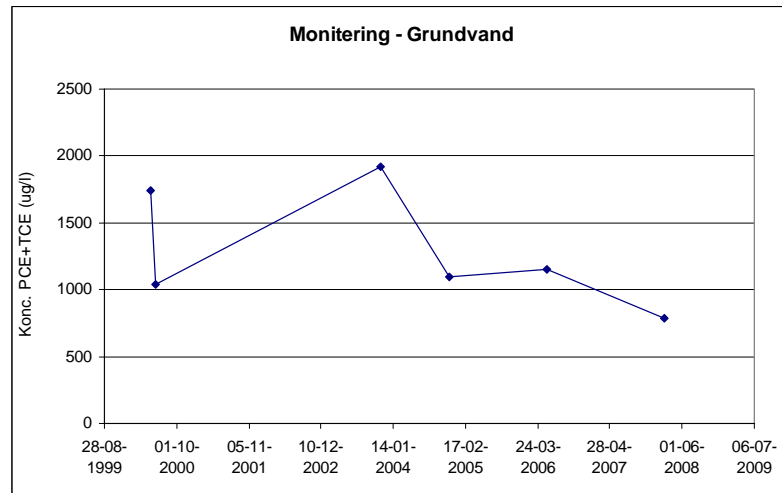


## Poreluft – passiv ventilation

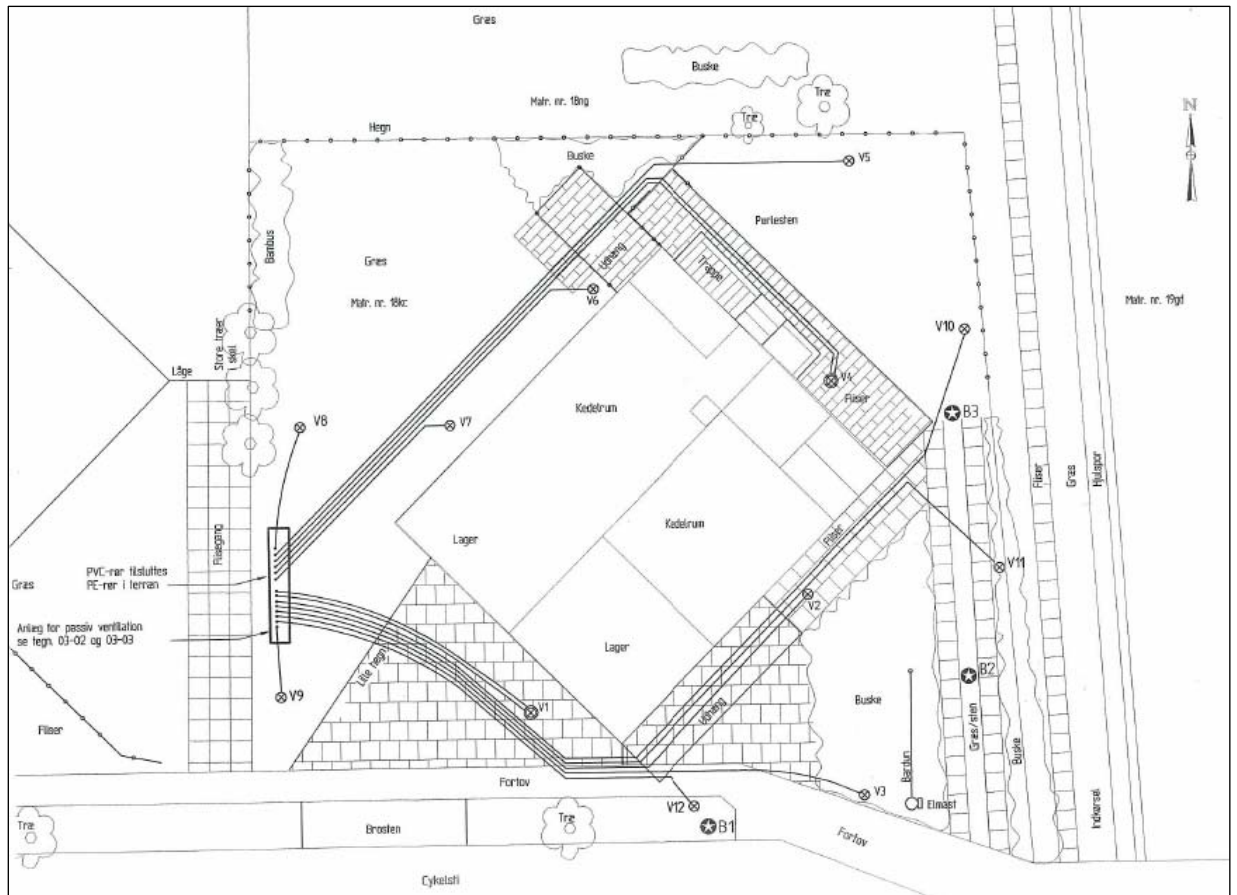




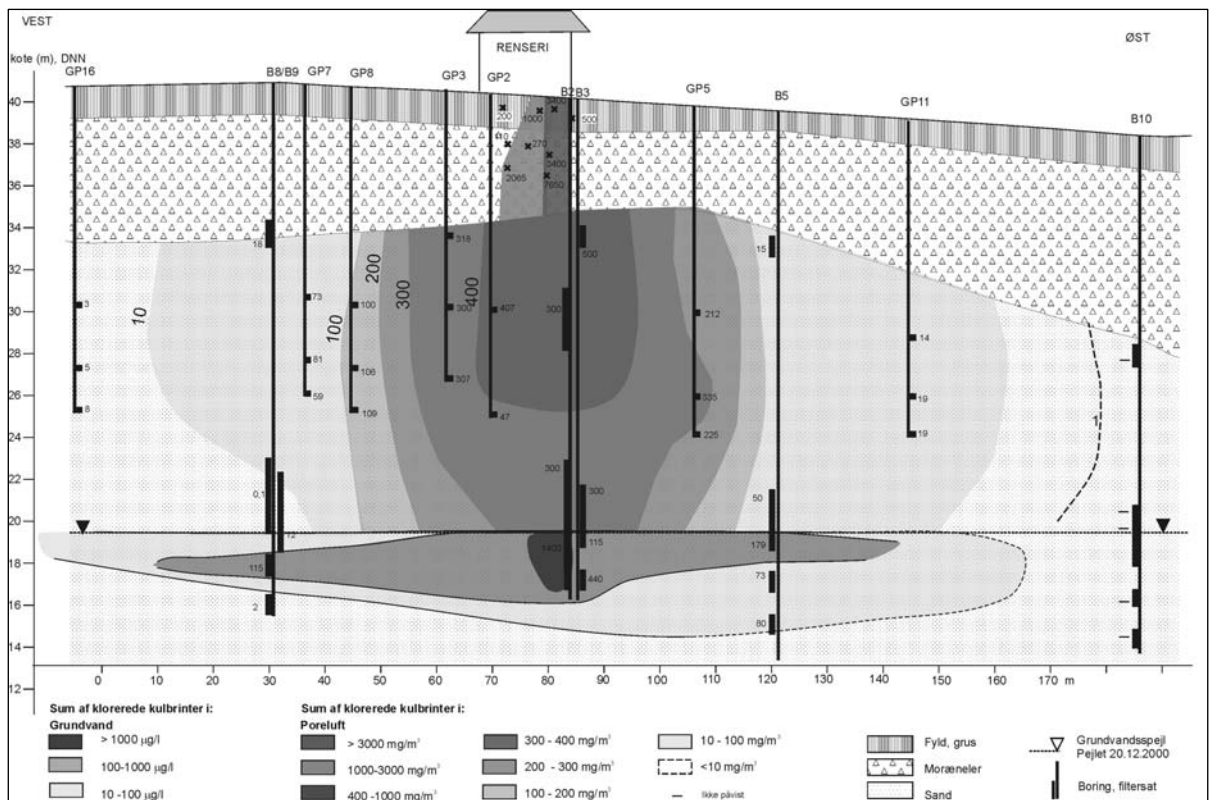
## Grundvand



## Situationsplan



# Forureningsudbredelse



# Toftebakken, Birkerød

## Forurening

Kilde	?
Beskrivelse	TCE Forurening <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poreluftforurening: op til 72 mg TCE/m<sup>3</sup></li> <li>• Primære grundvand: Op til 1000 µg TCE/l</li> </ul> Forureningsudbredelse: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Poreluft: 6000 m<sup>2</sup></li> <li>• Grundvand: 6000 m<sup>2</sup></li> </ul>
Formål med afværge	Reduktion af afsmitning til grundvand

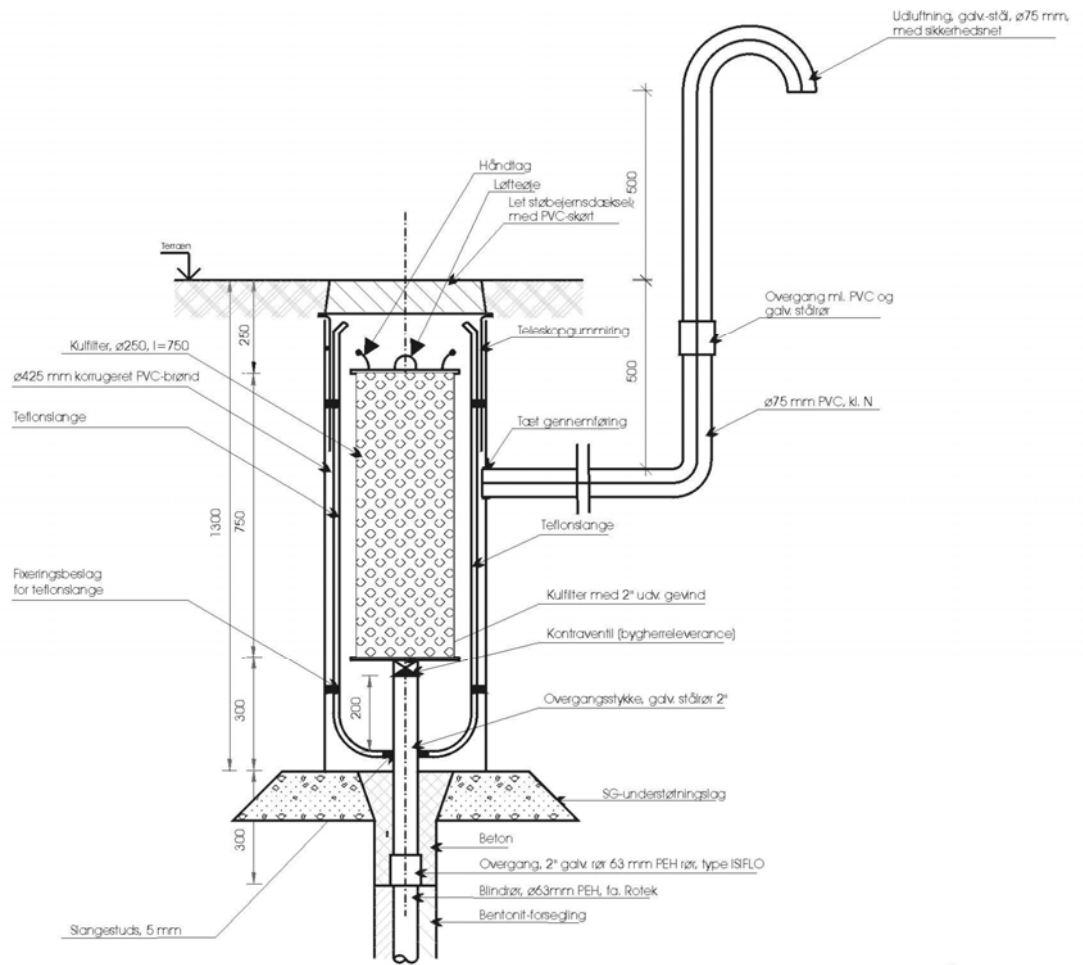
/Ref. 21/

## Systembeskrivelse

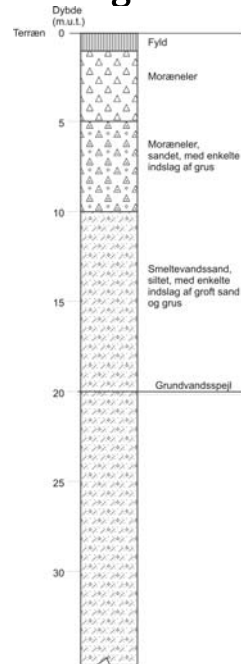
Antal boringer	9
Boringer type/materiale	Filtersat over 12-15 m i indenfor 7-22 m.u.t Boringerne er afsluttet ca. 1 m u.t. i underjordisk tørbrønd. Der er monteret kulfilter i hver brønd.
Type afkast	Afkast via udluftningsrør/svane Hals fra hver boring
Brug af kulfilter	Ja, 1 kulfilter monteret i hver brønd
Dæklagstykkelse	Ca. 10 m
Umættet zone	Areal der ventileres: 300 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 9 m Jordvolumen der ventileres: 2400 m <sup>3</sup> Relativ lav influensradius på ca. 3-4 m pr. boring
Flow	Differenstryk ±8 mBar Gennemsnitsflow pr. boring: Flow 0,05-0,2 m <sup>3</sup> /t Max flow: 6 m <sup>3</sup> /t
Fjernelsesrate	
Diverse	På samme lokalitet kører et pump & treat vandbehandlingsanlæg

/Ref. 22/ hvis ikke andet er angivet

# Illustration af system

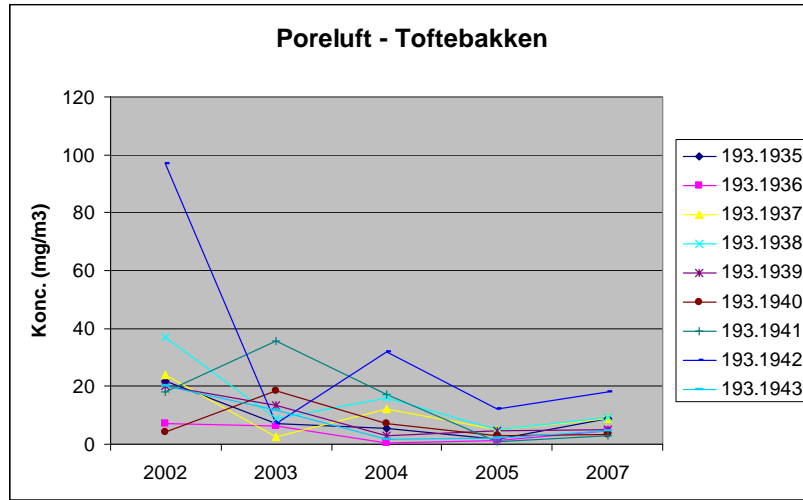


## Geologi



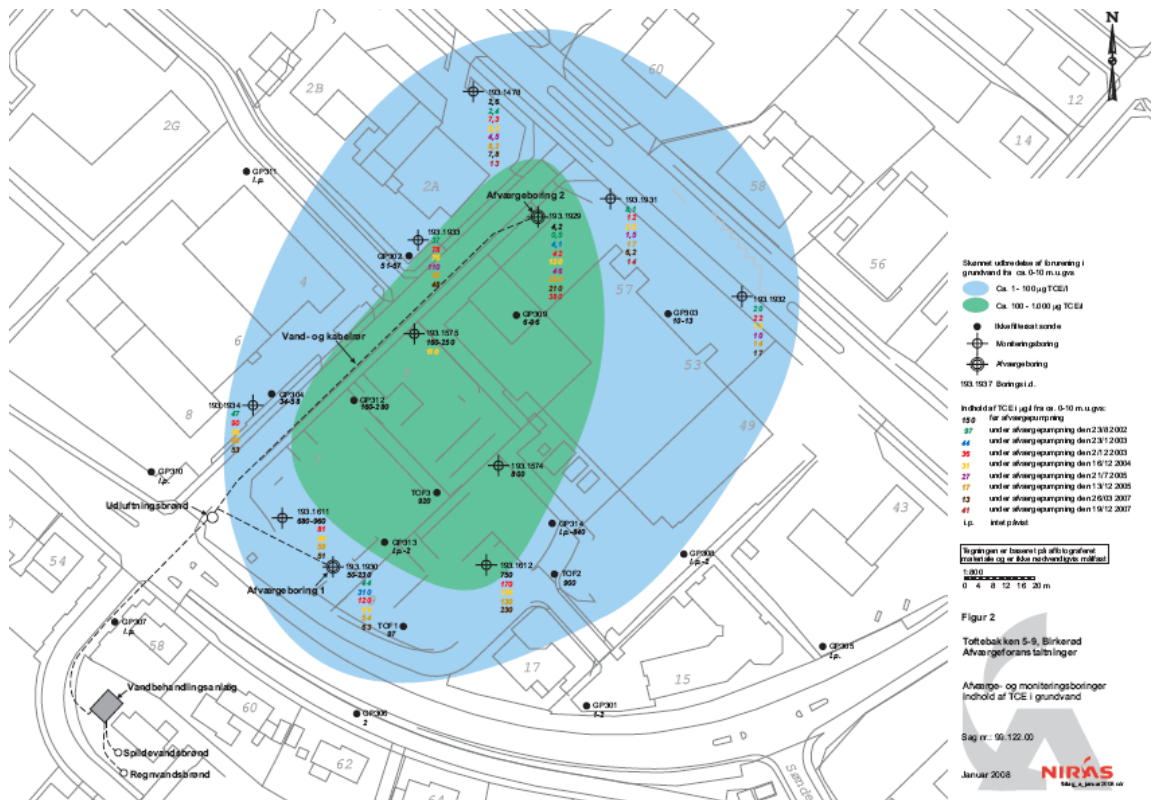
# Tidlig koncentrationsudvikling

## Poreluft

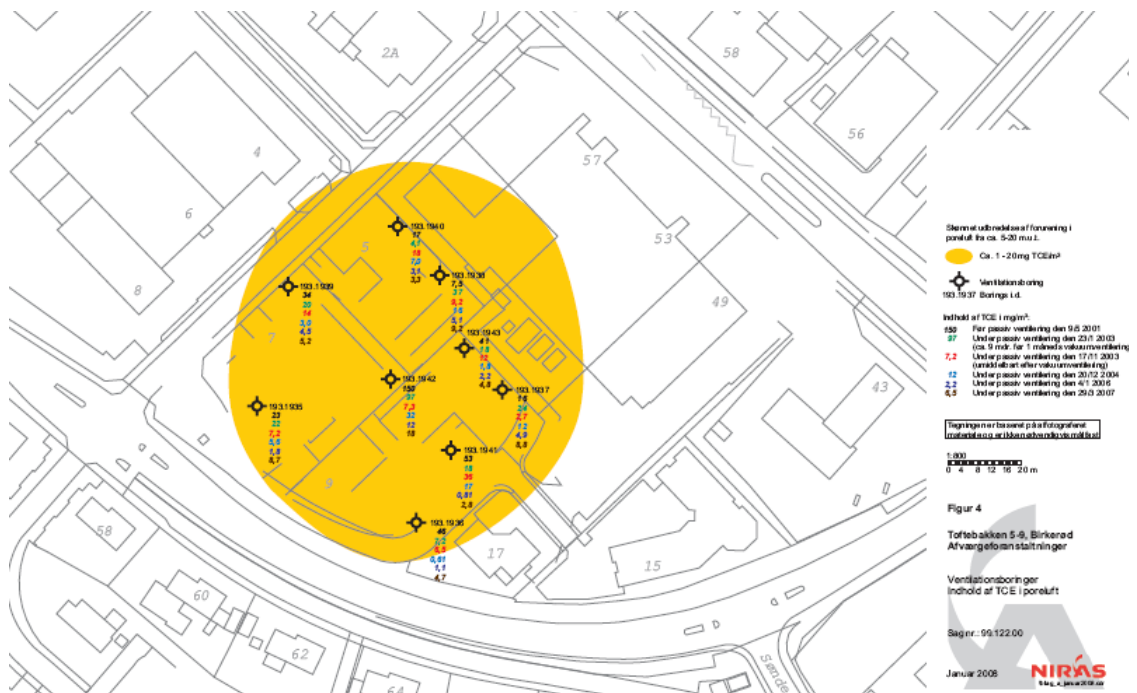


## Situationsplan med forureningsudbredelse

### Forureningsudbredelse - grundvand



## Forureningsudbredelse - poreluft



# Gillelejevej 28B, Esbønderup

## Forurening

Kilde	
Beskrivelse	TCE Forurening <ul style="list-style-type: none"><li>• Poreluftforurening: Terrænnære jordlag 1.100mg/m<sup>3</sup>. Umættet zone, 42 mg/m<sup>3</sup></li><li>• Primære grundvand: Op til 156 µg/l</li></ul> Forureningsudbredelse: <ul style="list-style-type: none"><li>• Poreluft: 1200 m<sup>2</sup></li><li>• Grundvand: 3200 m<sup>2</sup></li></ul>
Formål med afværge	Reduktion af risiko for grundvandsressourcen (afskæring)

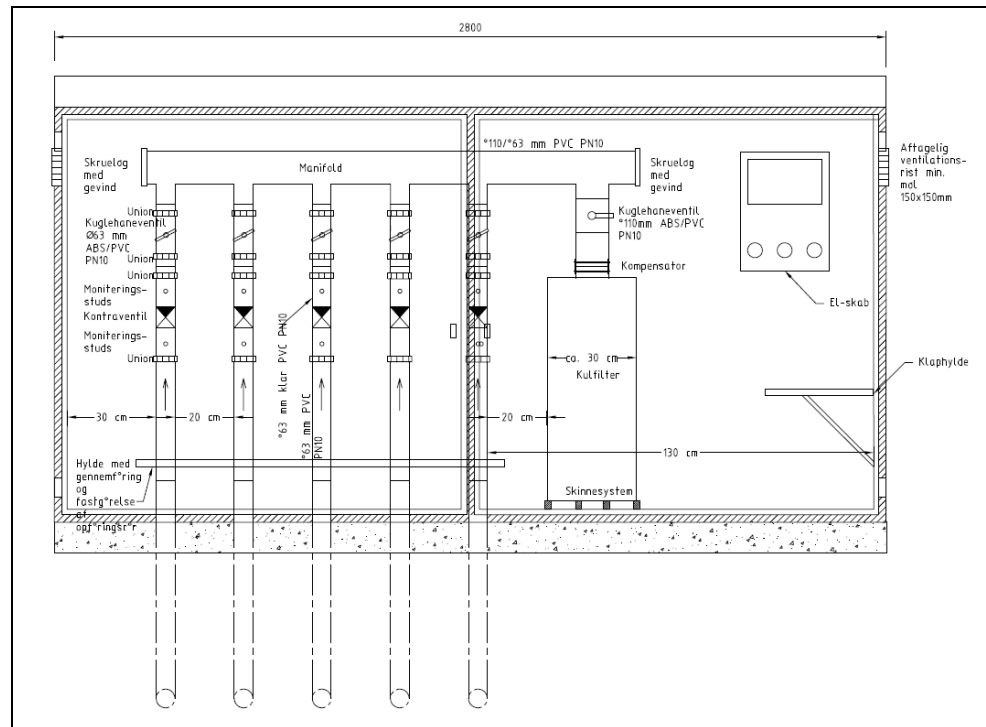
/Ref. 23/

## Systembeskrivelse

Antal boringer	5 (B24 og B34-B37)
Boringer type/materiale	8'' boringer til ca 20 m.u.t, 63ø mm PE80, PN10 filterrør. Filtersat over 6-8 m i niveauer indenfor 11-21 m.u.t B35-B37 er afsluttet 1,8-2 m.u.t hvor de er tilsluttet ventilationsledninger B24 og B34 er tilsluttet ventilationsledninger med grenrør, sådan at der er adgang til boringerne fra terræn (til vandprøvetagning) Ventilationsledninger er udført i ø63 mm, PE80, PN10. Ventilationseledningerne er ført over terræn og tilsluttes en fælles manifold før passage af kulfilter. Manifold beskyttes af skab.
Type afkast	Fælles afkast
Brug af kulfilter	Ja, 1 kulfilter i alt
Dæklagstykkelse	Ca. 10 m
Umættet zone	Areal der ventileres: 700 m <sup>2</sup> Tykkelse: max 13 m Jordvolumen der ventileres: 5000 m <sup>3</sup>
Flow	Differenstryk -12 til 6,6 mBar /Ref. 24/ Gennemsnitsflow: Flow 1,6 m <sup>3</sup> /t /Ref. 25/ Max flow: 12 m <sup>3</sup> /t /Ref. 25/
Fjernelsesrate	1,2 kg TCE pr. år (boring B24)
Diverse	Udskiftning af porevolumen: 2,5 gang pr. måned /Ref. 25/

/Ref. 23/ hvis ikke andet er angivet

# Illustration af system





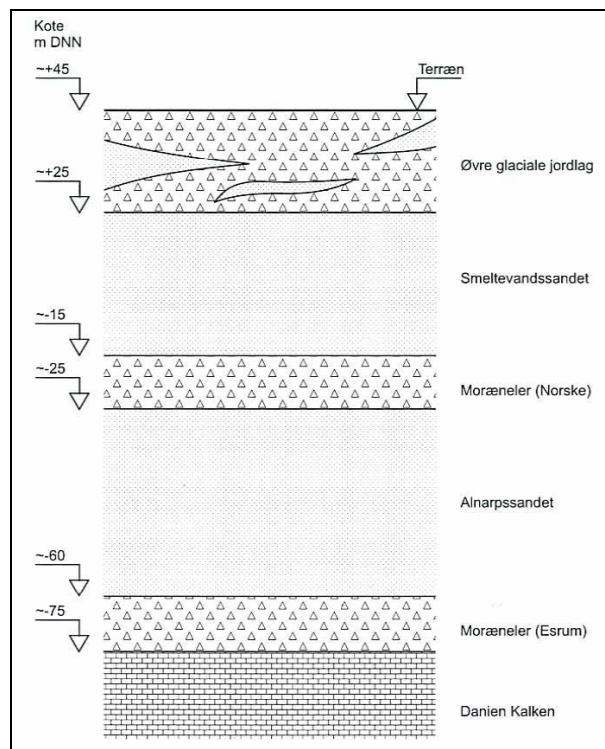
## Geologi

Vekslende lag af smeltevandssand, moræneler og fed ler.

Der findes ikke et sammenhængende sekundært grundvandsmagasin i de øverste 10-20 m.u.t

Vandspejl i nedre smeltevandssand: ca. 22-25 m.u.t

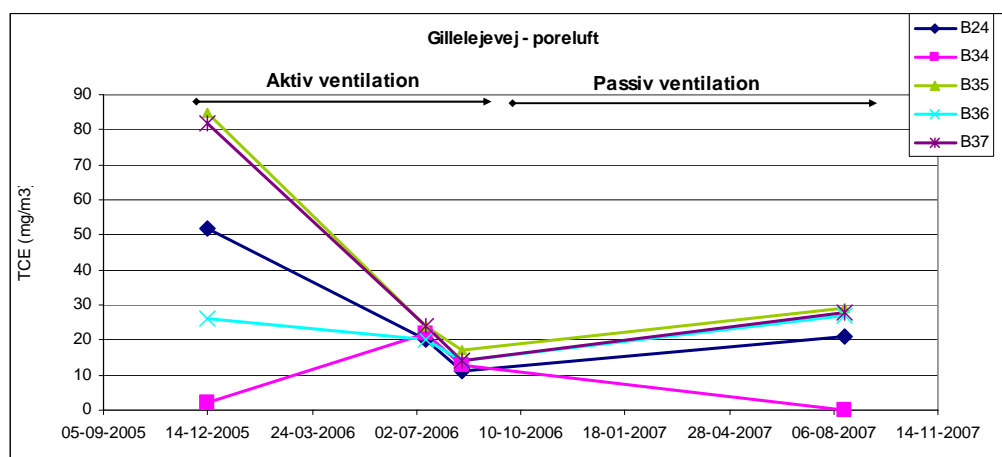
/Ref. 24/



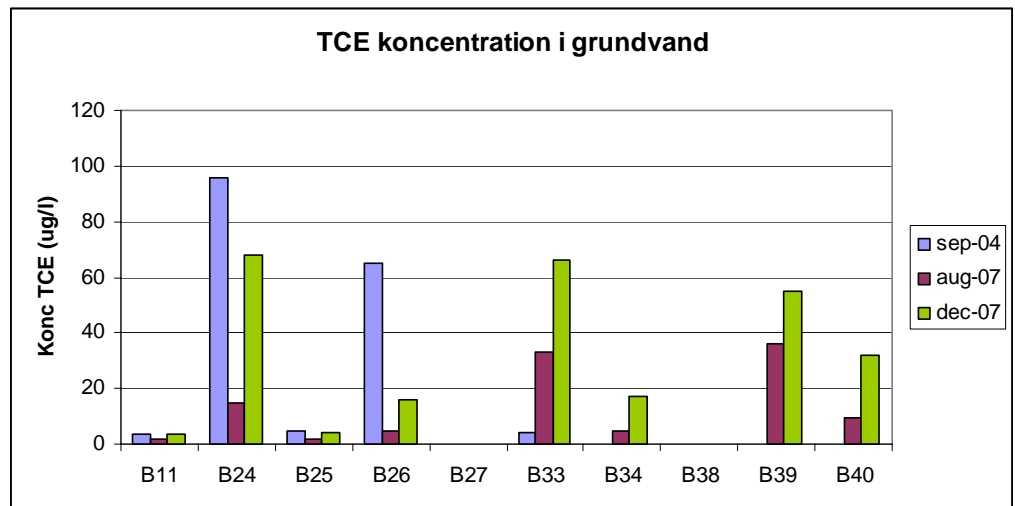
/Ref. 24/

## Tidlig koncentrationsudvikling

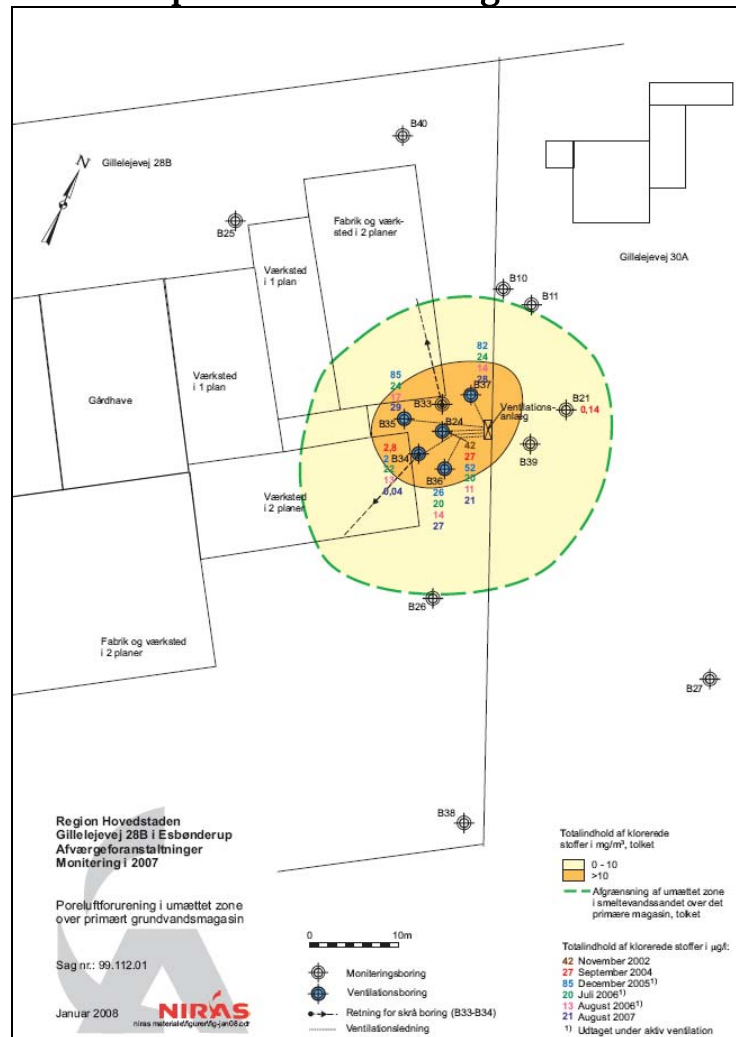
### Poreluft

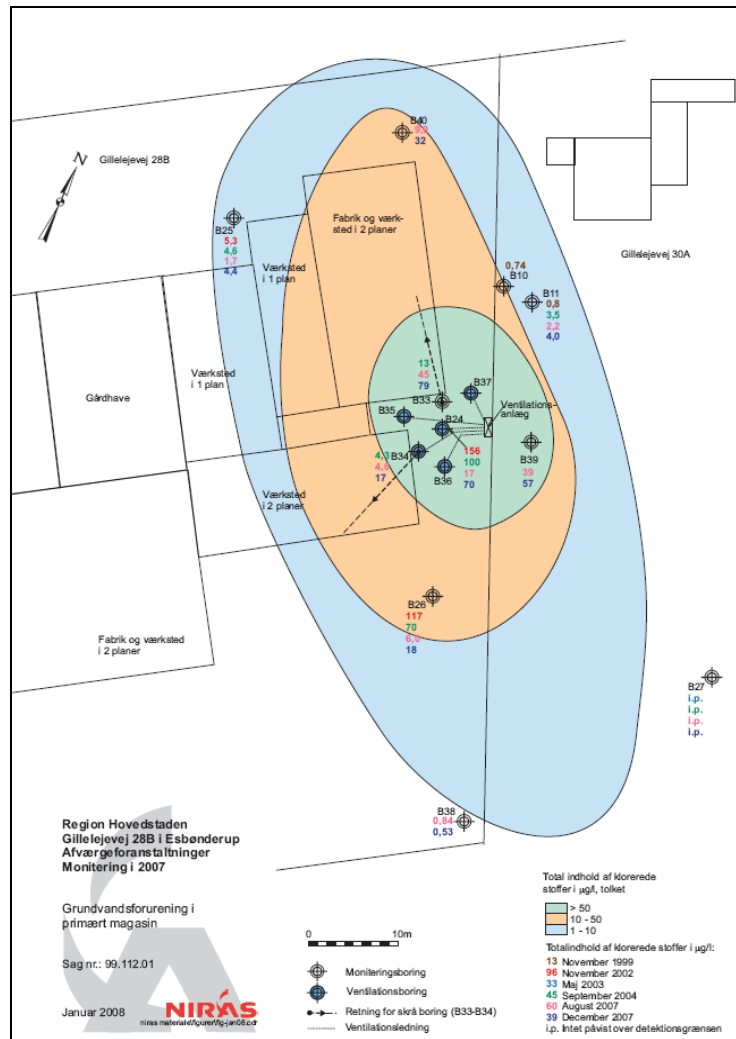


## Grundvand



## Situationsplan med forureningsudbredelse







# Nygade 37, Fakse

## Forurening

Kilde	Renseri
Beskrivelse	PCE Forurening: <ul style="list-style-type: none"><li>• Jord: Op til 380 mg PCE pr. kg TS</li><li>• Porevand: 0,05-5 mg PCE pr. liter</li><li>• Poreluft: op til 260 mg PCE m<sup>3</sup></li></ul> Forureningsudbredelse: 500m <sup>2</sup> (jordforurening)
Formål med afværge	Reduktion af risiko for grundvandsressourcen (afskæring)

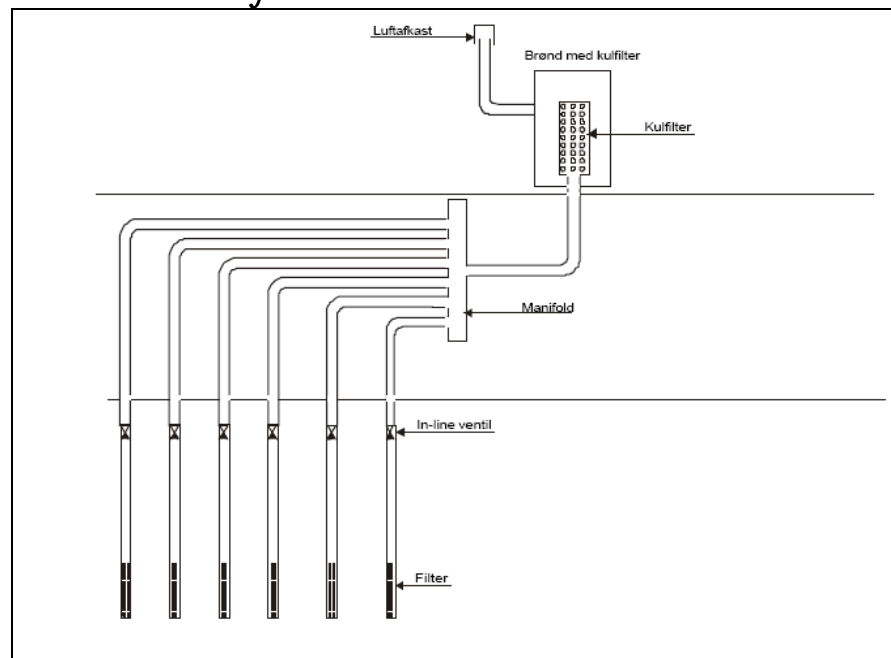
/Ref. 1/

## Systembeskrivelse

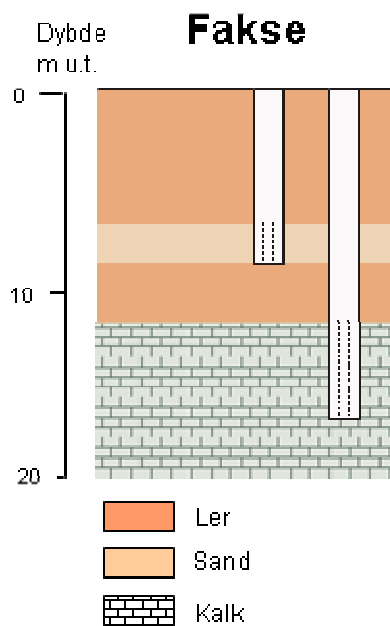
Antal boringer	8 (SB1-SB6 og KB1, KB2)
Boringer type/materiale	Filtersætning med ø63 mm PEH-rør ca. 8-10 m.u.t. KB1 & KB2 er ført videre ned i kalken, hvor der er installeret separate ø63 mm PEH filtre fra 15-20 m.u.t
Type afkast	Afkast via udluftningsrør fra hver brønd til en manifold og videre til brønd med kulfilter
Brug af kulfilter	Ja, 1 kulfilter i alt
Dæklagstykkelse	7-8 m
Umættet zone	Areal der ventileres: 800 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 2-3 m Jordvolumen der ventileres: 2000 m <sup>3</sup>
Flow	Samlet årligt middelflow 1,57 m <sup>3</sup> /t Differenstryk +6,4 til -8,2 mBar i sand Differenstryk +8,6 til -9,3 mBar i kalk
Fjernelsesrate	1,7 kg PCE pr. år, forventes at aftage til 0,1 kg/år efter nogle års drift
Diverse	

/Ref. 1/

## Illustration af system



## Geologi

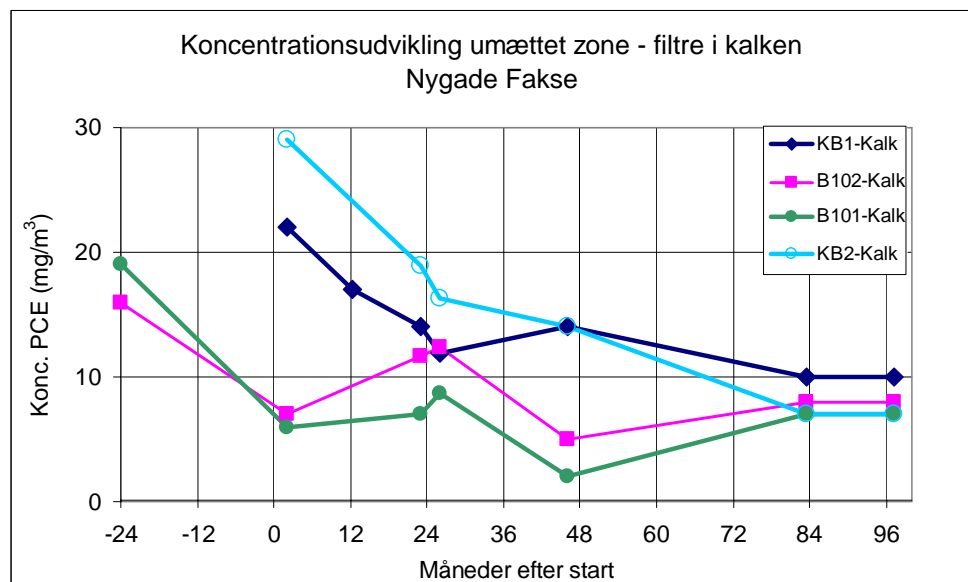
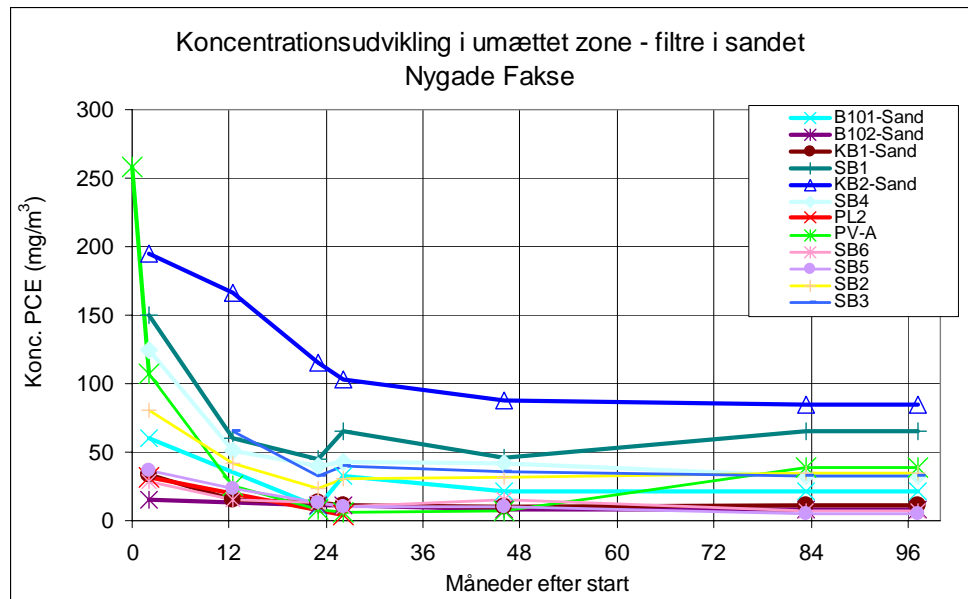


0-8 m.u.t: Moræneler  
8-12 m.u.t: Smeltevandssand  
12-14 m.u.t: Moræneler  
Kalk

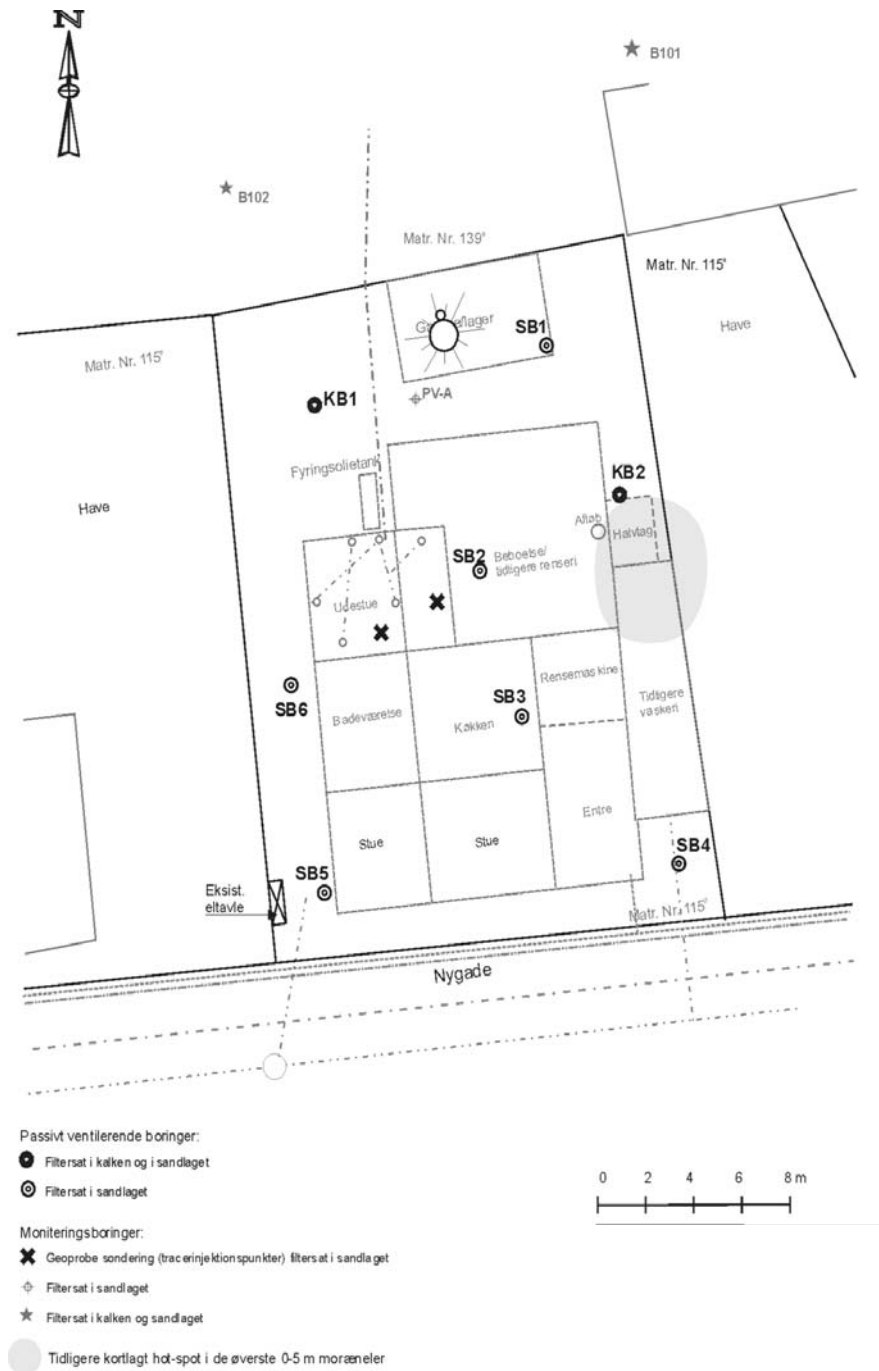
Vandspejl: 35-40 m.u.t  
/Ref. 1/

# Tidlig koncentrationsudvikling

## Poreluft

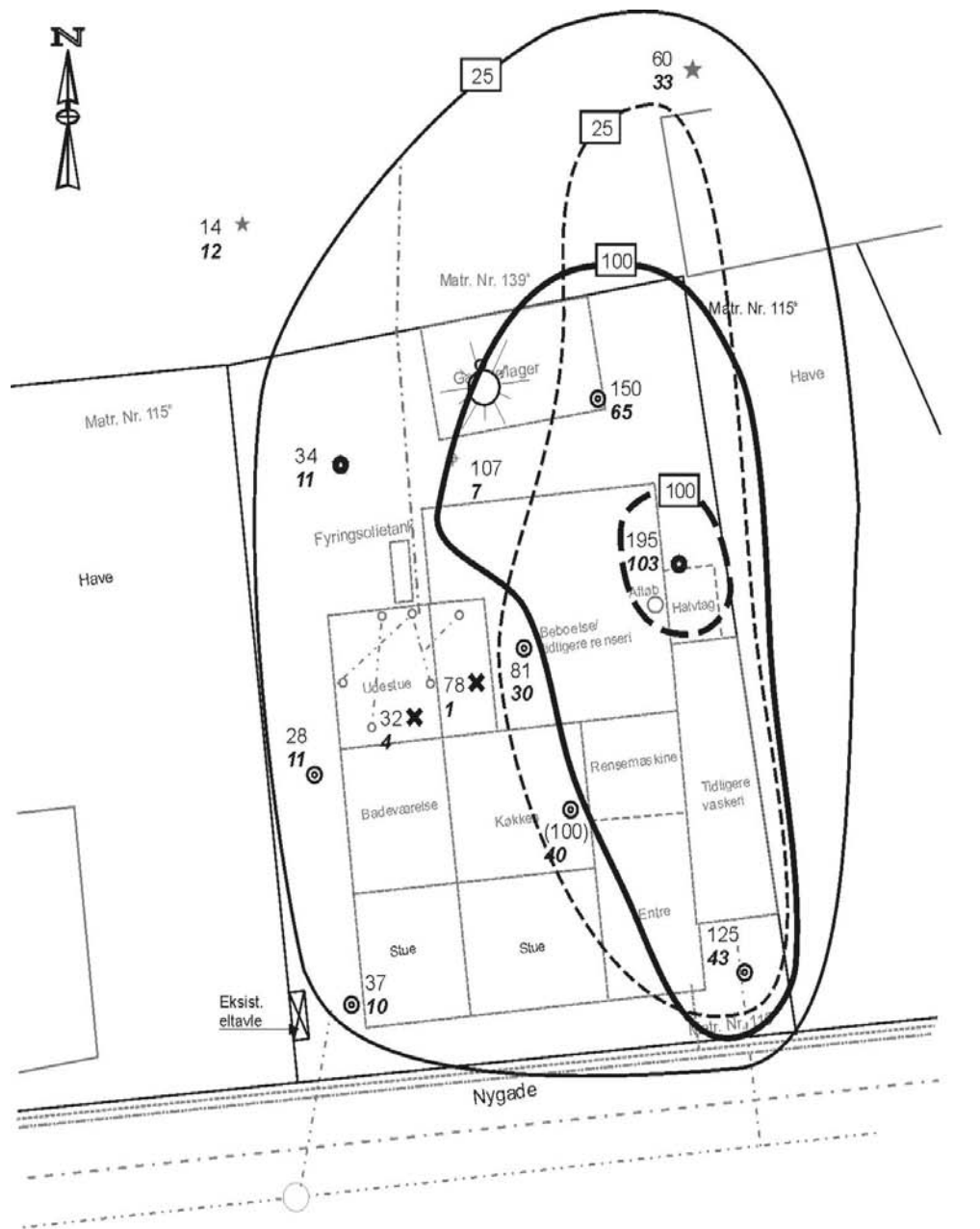


# Situationsplan





# Forureningsudbredelse



Passivt ventilerende borer:

- Filtersat i kalken og i sandlaget
- ⊙ Filtersat i sandlaget

Monteringsboringer:

- ✕ Geoprobe sondering (traceringinjectionpunkter) filtersat i sandlaget
- ⊕ Filtersat i sandlaget
- ★ Filtersat i kalken og sandlaget

— 14 PCE (mg/m<sup>3</sup>) d. 1.2.2000

- - - 10 PCE (mg/m<sup>3</sup>) d. 5.2.2002



# Torvegade 26, Fakse

## Forurening

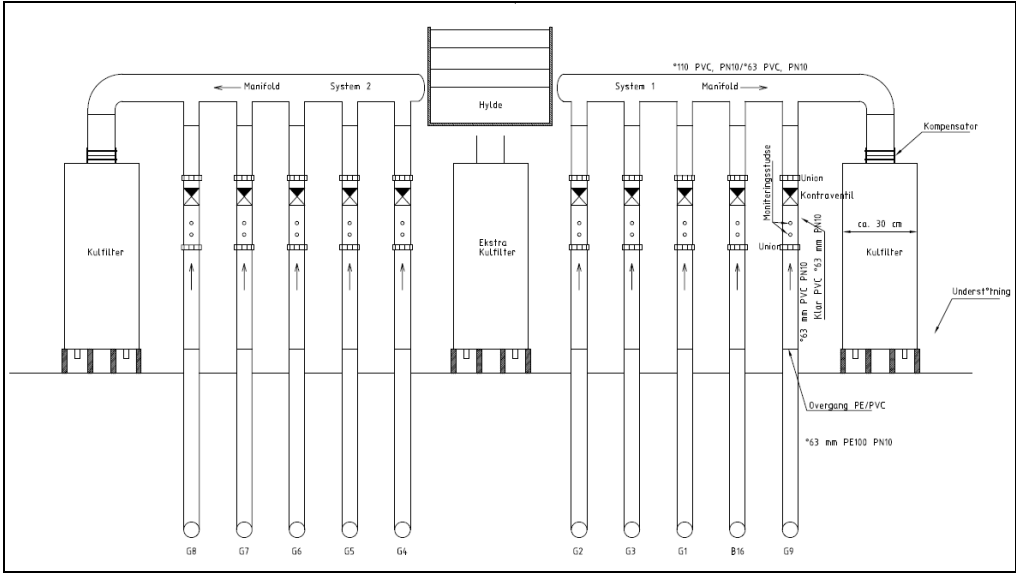
Kilde	Renseri
Beskrivelse	PCE Forureningsudbredelse vurderet til 6000 m <sup>2</sup> (poreluft)
Formål med afværge	Begrænse spredning af forurening (afskæring)

## Systembeskrivelse

Antal boringer	10 (G1-G9 og B16)
Boringer type/materiale	Filtersætning med ø63 mm PEH-rør Der er under terræn ført udluftningsrør til samlet afkast. Ledningsanlægget er udført i ø63 mm, PE80, PN10. De 10 udluftningsrør er ført lodret over terræn, hvor de er samlet i 2 stk. manifold, der hver er tilsluttet 5 rør.
Type afkast	Afkast via udluftningsrør fra hver boring 2 stk. manifold
Brug af kulfilter	Ja, 2 kulfiltre, 1 til hver manifold
Dæklagstykkelse	Ca. 5,5-8,0 m
Umættet zone	Areal der ventileres: 1800 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 4-6 m Jordvolumen der ventileres: 9000 m <sup>3</sup>
Flow	Gennemsnitligt flow: 0,8 m <sup>3</sup> /time /Ref. 28/ Max flow: 7,7 m <sup>3</sup> /t /Ref. 28/ Differenstryk ±1,5 mBar /Ref. 27
Fjernelsesrate	0,1 g/time /Ref. 27/
Diverse	Der er en estimeret mængde af klorerede opløsningsmidler på 25-50 gram PCE, man ikke vil få fat i ved passiv ventilation. Faxe Bryggeri har 2 afværgeboringer i området omkring Torvegade, og disse vil dække det forurenede område når forureningen fra umættet zone når grundvandsmagasinet.

/Ref. 26/ hvis ikke andet er angivet

# Illustration af system



## Geologi

0,5-2,5 m.u.t: Fyld

2,5-8 m.u.t: Moræneler

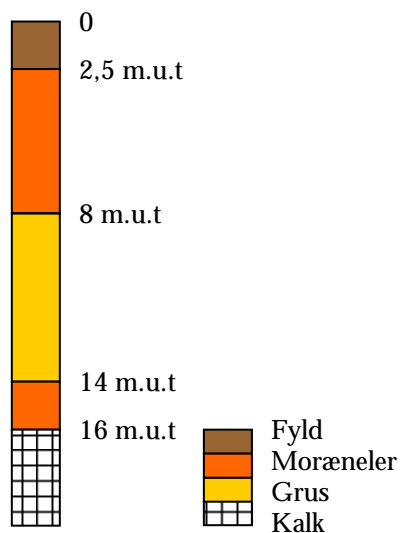
8-14 m.u.t: Gruslag med vekslende indslag af sand, ler og sten

14-16 m.u.t: Moræneler

Kalk

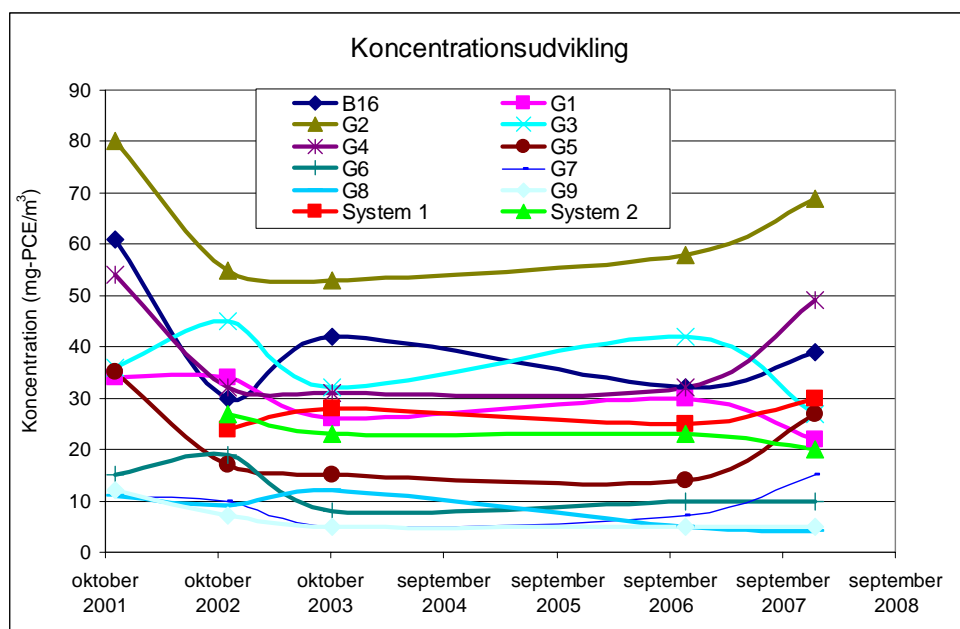
Vandspejl: 40-50 m.u.t

/Ref. 28/

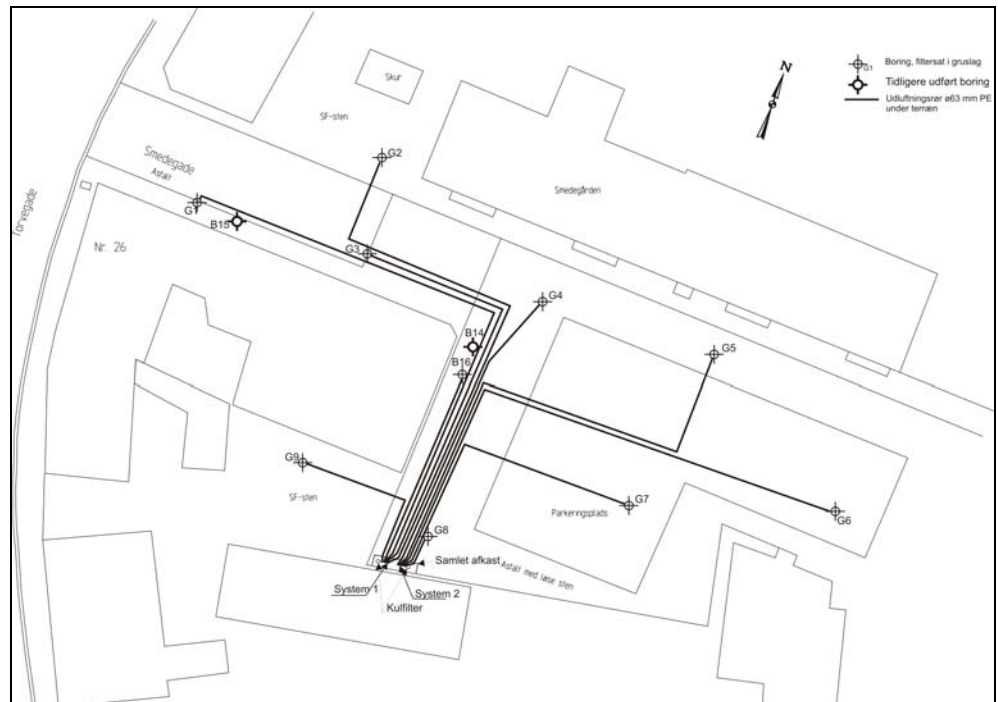


## Tidlig koncentrationsudvikling

### Poreluft



# Situationsplan



# Møllevej 12, Askov

## Forurening

Kilde	Renseri
Beskrivelse	PCE Forurening: <ul style="list-style-type: none"><li>• Poreluftforurening: Op til 600 mg PCE pr. m<sup>3</sup></li><li>• Jord: Op til 1mg/kg TS</li><li>• Porevand: 350 µg/l</li></ul> Forureningsudbredelse: ca. 900 m <sup>2</sup> (jordforurening)
Formål med afværge	Reduktion af risiko for grundvandsressourcen (afskæring)

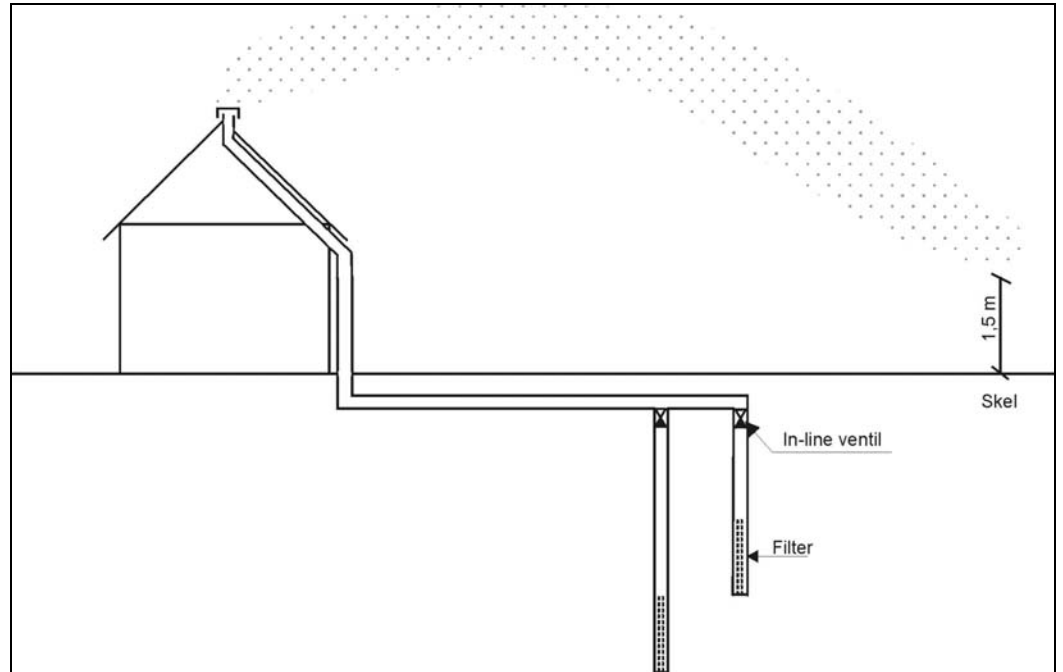
/Ref. 1/

## Systembeskrivelse

Antal boringer	6 (PV1-PV6) Filtersat i 2 intervealler (PV5 6-20 m.u.t) Øvre – 7-12 m.u.t Nedre 15-20 m.u.t (PV5 kun filtersat i 1 interval 6-20 m.u.t)
Boringer type/materiale	Filtersætning med ø63 mm PEH-rør
Type afkast	Fælles afkast fra hver boring, der er ført via ø75 mm PVC-rør over taget på bygning
Brug af kulfilter	Nej
Dæklagstykkelse	6-8 m
Umættet zone	Areal der ventileres: 1500 m <sup>2</sup> Tykkelse: ca. 20 m Jordvolumen der ventileres: 15000 m <sup>3</sup>
Flow	Gennemsnitligt flow for de 11 filtre 2,2 m <sup>3</sup> /t Differenstruk -9mBar til +10 mBar
Fjernelsesrate	Initiel fjernelsesrate 55 kg PCE pr. år
Diverse	Der er også etableret afværgepumpning på lokaliteten.

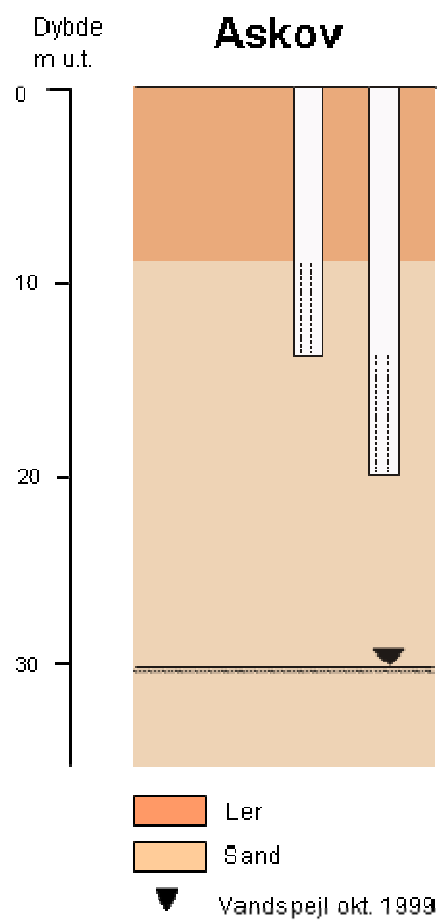
/Ref. 1/

## Illustration af system





## Geologi



0-8 m.u.t: Moræneler

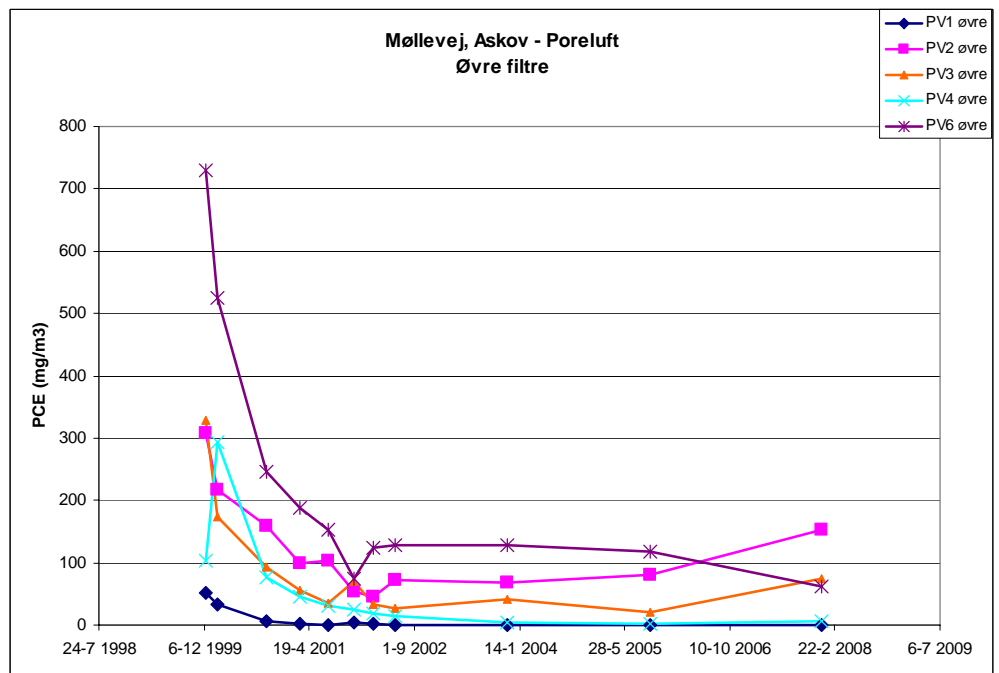
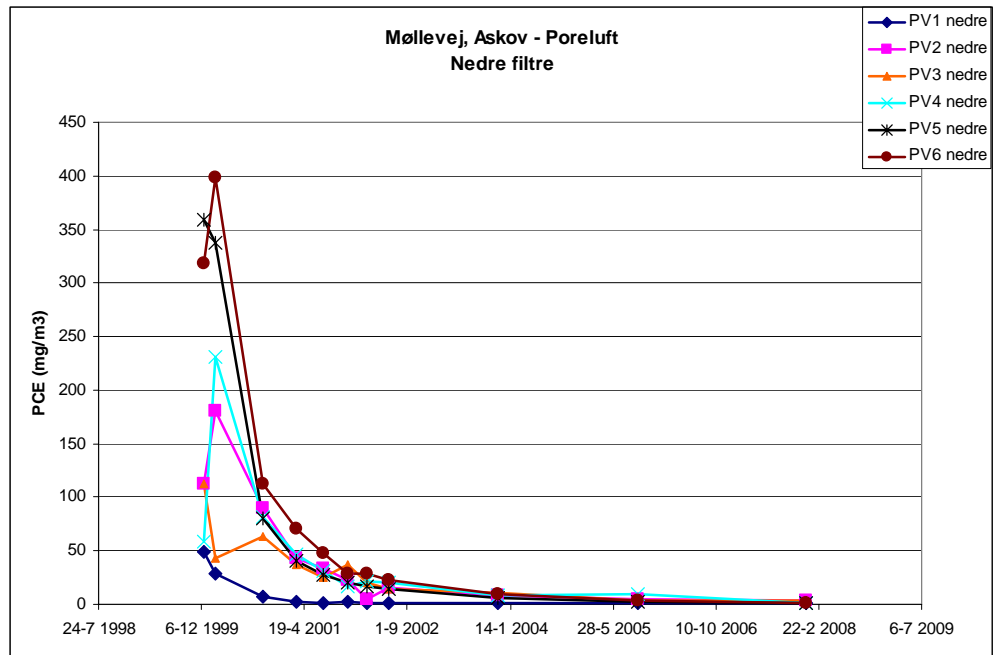
8-80 m.u.t: Smeltevandssand

Vandspejl: 30 m.u.t

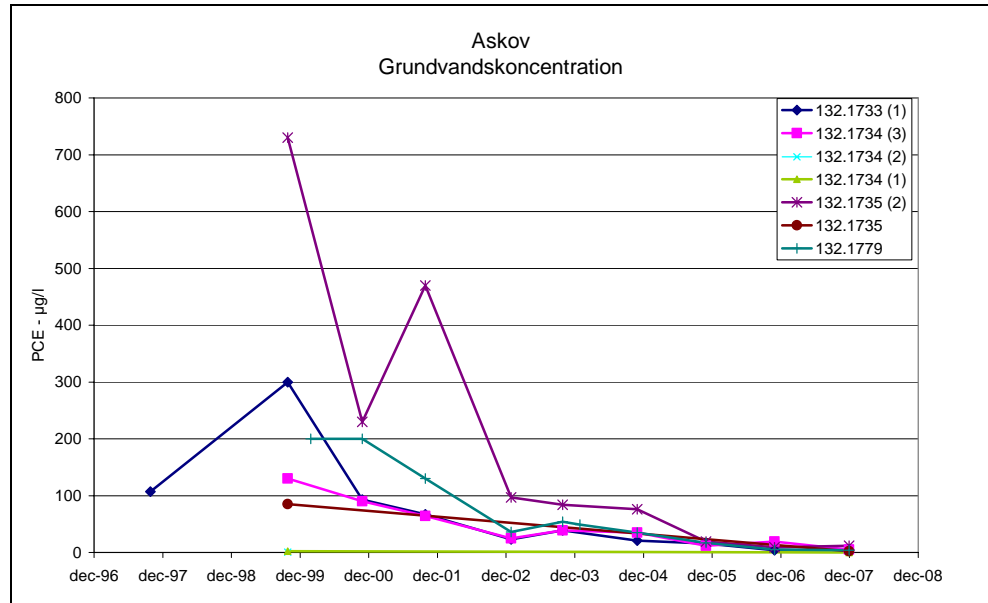
/Ref. 1/

# Tidslig koncentrationsudvikling

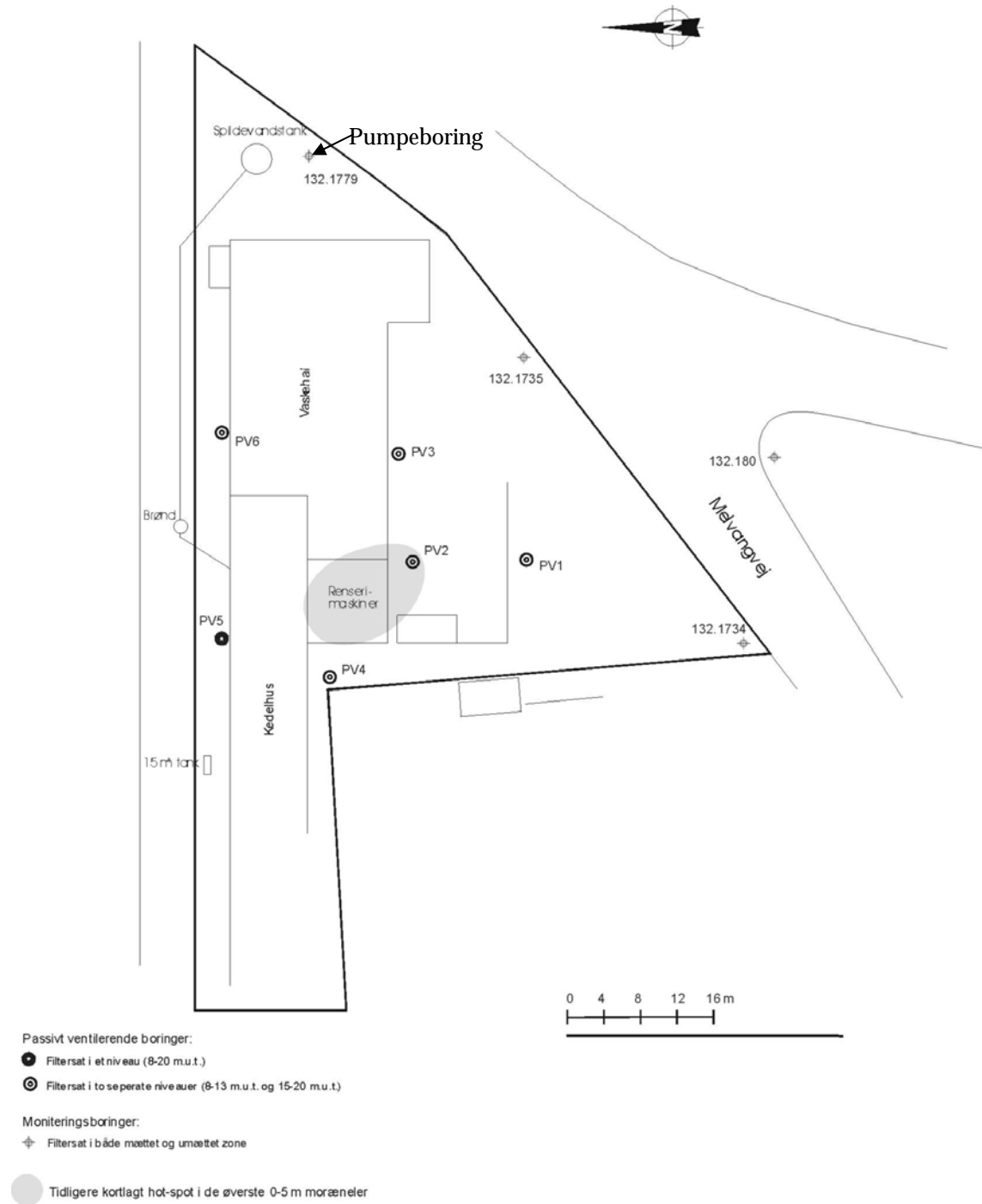
## Poreluft



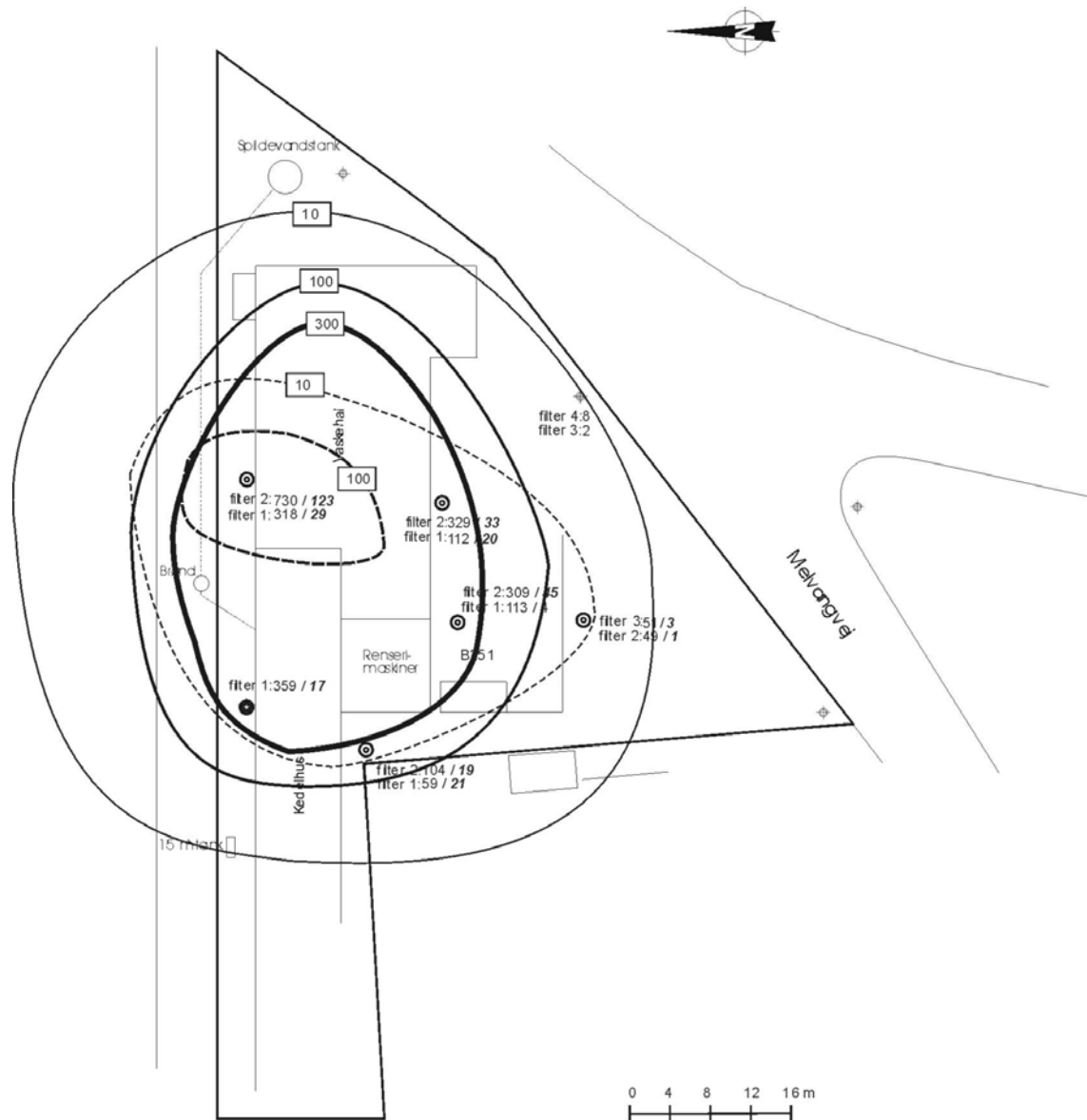
## Grundvand



# Situationsplan



# Forureningsudbredelse



Passivt ventilerende boringer:

- Filtersat i et niveau (8-20 m.u.t.)
- ⊙ Filtersat i to separate niveauer (8-13 m.u.t. og 15-20 m.u.t.)

Moneringsboringer:

- ⊕ Filtersat i både mættet og umættet zone

	14	PCE (mg/m <sup>3</sup> ) dec. 1999
	10	PCE (mg/m <sup>3</sup> ) feb. 2002



## ANALYSE AF KULPRØVER

Eurofins Miljø A/S  
 Smedeskovvej 38  
 8464 Galten  
 Telefon: 7022 4266  
 CVR/VAT: DK-2884 8196



Niras A/S  
 Sortemosevej 2  
 3450 Allerød  
 Att.: Nanna Muchitsch

**NIRAS**  
 Civ. Bsh. af Kogi  
 - 3 JULI 2008  
 Sag nr. Arkiv  
 Registrernr.: 764958  
 Kundenr.: 81075  
 Ordrenr.: 702227  
 Sagnr.: 99.394.00  
 Modt. dato: 2008.05.20

## ANALYSERAPPORT

Sidenr.: 1 af 1

Rekvirent.....: Niras A/S  
 Sortemosevej 2, 3450 Allerød  
 Prevested.....: Nygade, fakse  
 Prevetype.....: Materiale  
 Prevedtagning...:  
 Prevetager.....: Rekvirenten  
 Kundeoplysninger...:  
 Analyseperiode....: 2008.05.20 - 2008.06.03

Prøvenr.:	76495801	Detekt.		RSD
Prøve ID:		grænse	Metoder	(%)
Prøvemærke:	Samlet afk Enheder			
<b>Chlorerede opløsningsmidler</b>				
Chloroform	<0.012 mg/kg	0.03	2405-GC/ECD-FID	10
1,1,1 trichlorethan	0.44 mg/kg	0.01	2405-GC/ECD-FID	10
Tetrachlormethan	0.15 mg/kg	0.01	2405-GC/ECD-FID	10
Trichlorethylen	790 mg/kg	0.01	2405-GC/ECD-FID	10
Tetrachlorethylen	30000 mg/kg	0.01	2405-GC/ECD-FID	10
<b>Hedbrydningsprod. af ehler.op1</b>				
Vinylchlorid	<0.4 mg/kg	0.040	2604-GC/MS	10
1,1-dichlorethylen	0.98 mg/kg	0.040	2604-GC/MS	10
trans-1,2-dichlorethylen	<4 mg/kg	0.40	2604-GC/MS	10
cis-1,2-dichlorethylen	930 mg/kg	0.040	2604-GC/MS	10

Analysekommentarer:

Resultaterne er angivet som mg/kg kulprøve.

Tætningsforklaring:

RSD : Relativ Analyseusikkerhed.  
 < : mindre end, i.p.: ikke påvist.  
 > : større end, i.m.: ikke målelig.  
 # : ingen af parametrene er påvist.

*Vibeke Berendtsen*  
 Vibeke Berendtsen  
 kontaktperson

06. juni 2008

*Inge Bondgaard*  
 Inge Bondgaard  
 Kvalitetssikring

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).  
 Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

Niras A/S  
Sortemosevej 2  
3450 Allerød  
Att.: Nanna Muchitsch

Registrernr.: 764959  
Kundernr.: 81075  
Ordernr.: 702228  
Sagsnr.: 09.439.00  
Modt. dato: 2008.05.20  
Sidenr.: 1 af 1

## ANALYSERAPPORT

Rekvirent.....: Niras A/S  
Sortemosevej 2, 3450 Allerød  
Prøvested.....: Passiv Ventilation, Monitoring  
Prøvetype.....: Materiale  
Prøvedtagning...:   
Prøvetager.....: Rekvirenten  
Kundeoplysninger:   
Analyseperiode...: 2008.05.20 - 2008.06.03

Prøvenr.:	76495901	76495902	76495903			
Prøve ID:	FHB5	BS8		Detekt.		RSD
Prøvemærke:	Allerødvej	Skovlunde	Reference	Enheder	grænse	Metoder
						(%)
<b>Chlorede opløsningsmidler</b>						
Chloroform	<0.012	<0.012	<0.012	mg/kg	0.03	2405-GC/ECD-FID 10
1,1,1 trichlorethan	180	0.05	0.02	mg/kg	0.01	2405-GC/ECD-FID 10
Tetrachlormethan	2.5	<0.005	<0.005	mg/kg	0.01	2405-GC/ECD-FID 10
Trichlorethylen	34000	1500	1.2	mg/kg	0.01	2405-GC/ECD-FID 10
Tetrachlorethylen	490	71000	6.3	mg/kg	0.01	2405-GC/ECD-FID 10
<b>Hedbrydningsprod. af chlor.opl</b>						
Vinylchlorid	<0.4	<0.4	2.2	mg/kg	0.040	2604-GC/MS 10
1,1-dichlorethylen	4.6	4.4	<0.4	mg/kg	0.040	2604-GC/MS 10
trans-1,2-dichlorethylen	<4	<4	<4	mg/kg	0.40	2604-GC/MS 10
cis-1,2-dichlorethylen	2.7	1100	<0.4	mg/kg	0.040	2604-GC/MS 10
<b>Aromatiske opløsningsmidler</b>						
Benzen		2.9		mg/kg	0.01	2624-GC/MS 10
Toluen		2.3		mg/kg	0.02	2624-GC/MS 10
Ethylbenzen		<0.1		mg/kg	0.01	2624-GC/MS 10
o-Xylen		<0.1		mg/kg	0.01	2624-GC/MS 10
m-p-Xylen		<0.1		mg/kg	0.01	2624-GC/MS 10
C9-aromater		<0.5		mg/kg	0.05	*2624-GC/MS 10
C10-aromater		<0.5		mg/kg	0.05	*2624-GC/MS 10
TVOC		95000		mg/kg	5	*2624-GC/MS 10

### Analysekommentarer:

Resultaterne er angivet som mg/kg kulprøve.

\*) Ikke omfattet af akkrediteringen.

### Teknisk forklaring:

RSD : Relativ Analyseusikkerhed.  
< : mindre end, i.p.: ikke påvist.  
> : større end, i.m.: ikke målelig.  
# : Ingen af parametrene er påvist.

  
Vibeke Berendtsen  
Kontaktperson

06. juni 2008

  
Inge Bondgaard  
Kvalitetsansvarlig

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for de(n) undersøgte prøve(r).  
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.



Niras A/S  
Sortemosevej 2  
3450 Allerød  
Att.: Nanna Muchitsch

**MIRAS**  
Girk. \_\_\_\_\_ Rok. af \_\_\_\_\_ Kopi \_\_\_\_\_  
- 3 JUNI 2008  
Sag nr. \_\_\_\_\_ Sag.nr.: 00.260.00  
Arkiv \_\_\_\_\_ Modt. dato: 2008.05.20

## ANALYSERAPPORT

Sidenr.: 1 af 1

Rekvirent.....: Niras A/S  
Sortemosevej 2, 3450 Allerød  
Prøvested.....: Torvegade, Fakse  
Prøvetype.....: Materiale  
Prøvetagning...:  
Prøvetager.....: Rekvirenten  
Kundeoplysninger:  
Analyseperiode...: 2008.05.20 - 2008.06.03

Prøvenr.:	7649570:				
Prøve ID:		Detekt.			RSD
Prøvemærke:	System   Enheder	grænse	Metoder		(%)
<b>Chlorerede opløsningsmidler</b>					
Chloroform	<0.01 mg/kg	0.03	2405-0C/ECD-FID	10	
1,1,1 trichlorethan	0.31 mg/kg	0.01	2405-0C/ECD-FID	10	
Tetrachlormethan	0.20 mg/kg	0.01	2405-0C/ECD-FID	10	
Trichlorethylen	180 mg/kg	0.01	2405-0C/ECD-FID	10	
Tetrachlorethylen	3700 mg/kg	0.01	2405-0C/ECD-FID	10	
<b>Nedbrydningsprod. af chlor.opl</b>					
Vinylchlorid	<0.4 mg/kg	0.040	2604-0C/MS	10	
1,1-dichlorethylen	0.4 mg/kg	0.040	2604-0C/MS	10	
trans-1,2-dichlorethylen	<4 mg/kg	0.40	2604-0C/MS	10	
cis-1,2-dichlorethylen	14 mg/kg	0.040	2604-0C/MS	10	

### Analysekommentarer:

Resultaterne er angivet som mg/kg kulprøve.

### Tegnforklaring:

RSD : Relativ Analyseusikkerhed.  
< : mindre end. i.p.: ikke påvist.  
> : større end. i.m.: ikke målelig.  
# : ingen af parametrene er påvist.

  
Vibeke Berendtsen  
Kontaktperson

06. juni 2008

  
Inge Bondgaard  
Evidenssikring

Prøvningsresultaterne gælder udelukkende for del(n) undersøgte prøvetil.  
Rapporten må ikke gengives, undtagen i sin helhed, uden prøvningslaboratoriets skriftlige godkendelse.

