

MTBE. Undersøgelse af grundvandet nedstrøms idrftværende og tidligere benzinstationer

Hovedrapport

Jes Holm, Morten Kjærgaard & Jens Baumann
GEO

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

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

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

Indhold

FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 INDLEDNING, BAGGRUND, FORMÅL OG LÆSEVEJLEDNING	15
1.1 INDLEDNING OG BAGGRUND	15
1.1.1 MTBE	15
1.1.2 Erfaringsopsamling	15
1.1.3 Undersøglesprogram til identifikation af grundvandsforurening	16
1.1.4 Undersøgelser på 11 benzinstationer	16
1.2 FORMÅL	17
1.3 LÆSEVEJLEDNING	17
2 RESUMÉ AF UNDERSØGELSESKONCEPT FOR GRUNDVANDSFORURENINGER FRA BENZINSTATIONER	18
2.1 BAGGRUND FOR UNDERSØGELSESKONCEPTET	18
2.2 ERFARINGSOPSAMLING OG MODELSIMULERINGER	18
2.3 UNDERSØGELSESPROGRAM	19
3 PRAKTISKE UNDERSØGELSER PÅ 11 BENZINSTATIONER	22
3.1 STRATEGI FOR FELTUNDERSØGELSER	22
3.2 BENZINSTATIONER I DRIFT ELLER MED KONSTATET BENZINFORURENING	22
3.3 FORUNDERSØGELSE	23
3.4 HOVEDUNDERSØGELSE	25
4 VURDERING AF RESULTATER I FORHOLD TIL UNDERSØGELSESKONCEPT	27
4.1 POTENTIELLE FORURENINGSKILDER	27
4.2 BORINGER	27
4.3 ANALYSER	29
4.4 MAGASINFORHOLD	29
4.5 STRØMNINGSFORHOLD I GRUNDVANDET	31
4.6 GRADIENTFORHOLD	32
4.7 HYDRAULISK LEDNINGSEVNE	33
4.8 VURDERING AF POTENTIELLE FORURENINGSFANER	33
4.9 KONCEPTVURDERING. KONKLUSION	37
5 MTBE - FUNDPROCENTER	39
5.1 ERFARINGSDATA FRA ANDRE UNDERSØGELSER	39
5.1.1 Erfaringsopsamlingen i Fyns Amt	39
5.1.2 Data fra Oliebranchens Miljøpulje	39
5.2 DATA FRA DENNE UNDERSØGELSE	40
5.2.1 Tidligere benzinstationer med konstateret benzinformuring	40
5.2.2 Benzinstationer i drift	41
5.3 STATUS FOR ANTAL BENZINSTATIONER I DANMARK	42

5.4	OPSKALERING AF UNDERSØGELSESRESULTATERNE	43
6	FORSLAG TIL ÆNDRINGER AF KONCEPT	45
7	REFERENCER	49

Bilag H.1	Forureningstransport i moræner
Bilag H.2	Fanetrykning
Bilag H.3	Principper for fastlæggelse af hydraulisk ledningsevne og valg af hydraulisk gradient
Bilag H.4	Principper for filtersætning
Bilag H.5	Modelberegninger
Bilag H.6	Resume af undersøgelsesresultater

Forord

Miljøstyrelsen har i samarbejde med Fyns Amt i 2001 iværksat en række projekter, for at tilvejebringe et bedre grundlag for at vurdere primært MTBE, men også de øvrige benzinkomponenters eventuelle trussel mod grundvandsressourcen. MTBE er siden 1985 tilsat til blyfri benzin.

I Miljøstyrelsens projekt "Undersøgelserprogram for grundvandsforureninger fra benzinstationer" /4/ som danner grundlag for det aktuelle projekt, er der opstillet forslag til et undersøgelsesprogram for identifikation af en grundvandsforurening nedstrøms benzinstationer. Nærværende projekt har til formål at udføre konkrete undersøgelser af grundvandet nedstrøms 11 benzinstationer, mhp. opsamling af erfaringer og resultater for den praktiske gennemførelse af undersøgelseskonceptet efter retningslinierne i /4/.

Dette projekt er udført af GEO. Jes Holm har været projektleder og har fået støtte af Morten Kjærgaard, Henrik Steffensen og Jens Baumann. Undersøgelserne er gennemført i 2002. Til at følge projektet har der været nedsat en følgegruppe bestående af Kim Dahlstrøm og Arne Rokkjær (Miljøstyrelsen, fra 1/9 - 2005), Anders Riiber Høj (Oliebranchens Miljøpulje), Steen Kofoed Munch (Fyns Amt, fra 1/4 - 2003 GEO), Lone Hansgård Frederiksen (Fyns Amt) og Leif Jespersen (Miljøcenter Fyn/Trekant-området).

Sammenfatning og konklusioner

Baggrund

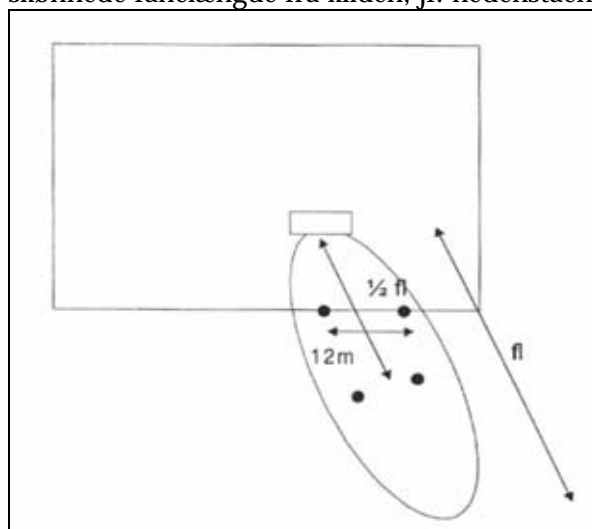
MTBE (Methyl-tertiær-butyl-ether), som siden 1985 er tilsat til blyfri benzin, er karakteriseret ved en høj opløselighed og mobilitet samt lav nedbrydelighed. Forureninger fra benzinstationer kan således være en væsentlig trussel overfor grundvandet. Der er igangsat en række initiativer for udfasning af MTBE.

Erfaringsopsamling og undersøgelsesprogram

En erfaringsopsamling i Fyns Amt har vist, at der på 62 ud af 72 undersøgte benzinstationer er påvist indhold af MTBE i det sekundære grundvand. Indholdet af MTBE i grundvandet er i 65 % af tilfældene højere end grundvandskvalitetskriteriet på 5 g/l. På baggrund af Fyns Amts erfaringsopsamling igangsatte Miljøstyrelsen flere teknologiprojekter om MTBE, blandt andet "Undersøgelsesprogram for grundvandsforureninger fra benzinstationer", som danner grundlag for det aktuelle projekt.

Observerede fanelængder og fanebredder i undersøgelserne fra Fyns Amt er i "Undersøgelsesprogram for grundvandsforureninger fra benzinstationer" kombineret med modelsimuleringer, og på baggrund heraf er der estimeret fanelængder på mellem 25 m og længere end 100 m samt fanebredder på mellem 10 og 35 m. På baggrund af de estimerede fanelængder og fanebredder er der opstillet et undersøgelsesprogram, som skal give en sikkerhed svarende til at en eventuel grundvandsforurening opdages med 95 % sandsynlighed i boringer udført udenfor benzinstationens areal.

Undersøgelsesprogrammet omfatter først etablering af tre á fire boringer omkring lokaliteten så tæt på skel som muligt. Boringerne filtersættes i det øverste sammenhængende grundvandsmagasin, pejles, og der udtages vandprøver til kemiske analyser. Ud fra boreoplysninger og pejlinger vurderes magasinets hydrauliske parametre, om magasinet er sammenhængende samt en eventuel forureningsfanens beliggenhed. For at fange forureningsfanen uden for grunden placeres boringer i skel samt to boringer i halvdelen af den skønnede fanelængde fra kilden, jf. nedenstående figur.



Den konkrete fanelængde fastlægges ud fra den opnåede viden i forundersøgelsen om jordart i det grundvandsførende lag samt gradienten. De nye boringer pejles, og der udtages vandprøver.

Formål

Nærværende projekt har til **formål** at:

- Gennemføre praktiske undersøgelser på fem idriftværende benzinstationer som ikke er undersøgt tidligere og seks tidligere benzinstationer, hvor OM har konstateret benzinfurening.
- Fokuserer på eventuel forurening med MTBE, men ligeledes at undersøge for total kulbrinter, C₉-C₁₀ aromater samt benzen, toluen ethylbenzen, xylener og naphthalen.
- Foretage en opsamling af de erfaringer og resultater, som er opnået via den praktiske gennemførelse af undersøgelser med henblik på at foreslå evt. justeringer af rapporten "Undersøgelsesprogram for grundvandsforurening fra benzinstationer" inden endelig offentliggørelse.
- Opskalere resultaterne fra undersøgelserne til landsplan.

Undersøgelser

Feltprojektet er opdelt i to faser, en **forundersøgelse** og en **hovedundersøgelse**. Ved forundersøgelsen er det vurderet for de elleve lokaliteter, om de beskrevne og anvendte principper og metoder har resulteret i den forventede viden om forureningsfanerne. Der er etableret tre boringer på alle lokaliteter. På tre af lokaliteterne er der udført en å to ekstra boringer i forundersøgelsen for at belyse de hydrogeologiske forhold bedre. På en lokalitet er der kun udført en forundersøgelse, da der ikke kunne lokaliseres et sammenhængende grundvandsmagasin inden for de øverste 20 m, som var den maksimale boreddybde.

I forbindelse med forundersøgelsen er det vurderet, om der skal ske justeringer af undersøgelsesprogrammet i henhold til "Undersøgelsesprogram for grundvandsforureninger fra benzinstationer". Med henblik på optimal boringsplacering i hovedundersøgelsen er der foretaget en foreløbig vurdering af de geologiske og hydrogeologiske forhold på de enkelte lokaliteter. Hvis muligt, er det vurderet om en eventuel forurening skyldes kortvarigt større spild eller længerevarende mindre spild. Til vurdering af forureningsfanens udbredelse er følgende fire metoder anvendt:

- Risiko for spildtype.
 - Kortvarigt større spild.
 - Længerevarende mindre spild.
- Grundvandets strømningshastighed og retning.
- JAGG-beregninger (på 6 lokaliteter).
- Flowpath simuleringer (på 5 lokaliteter).

I hovedundersøgelsen er der på tre af de elleve lokaliteter ikke udført egentlige boringer i fanen som følge af, at der ikke har kunnet fastlægges forureningsfaner i forundersøgelsen eller som følge af meget varierende strømningsretning. På de resterende otte lokaliteter er der udført to å fire skelboringer. På seks af lokaliteterne er der endvidere udført mellem to å fire boringer i halv fanelængde, mens der på to lokaliteter ikke er udført faneboringer på grund af varierende eller formodet varierende strømningsretninger.

Det er altafgørende for undersøgelseskonceptet, at der findes et sammenhængende magasin under lokaliteten. På basis af forundersøgelsen blev det

vurderet, at der på otte af de elleve lokaliteter findes et sammen-hængende magasin, mens det efter de supplerende oplysninger fra hovedundersøgelserne blev vurderet, at der kun er et sammenhængende magasin på 5 af lokaliteterne.

I nedenstående tabel er konklusionen på muligheden for anvendelsen af konceptet sammenstillet for de enkelte lokaliteter.

Resume af undersøgelser.

	Lokalitet	Konklusion
Tidligere benzinstationer med benzinfurening	Svendborg. Odensevej 135-137	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da strømningsretningen er meget varierende. Der er ved en kildeboring fundet kraftig forurening med MTBE, men det lave indhold af MTBE i skelboringer mod vest tyder på, at fane ikke er lokaliseret, enten fordi den har en anden retning eller fordi fanelængden på undersøgelsestidspunktet er kortere
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	Konceptet er ud fra et hydrogeologisk synspunkt <i>anvendeligt</i> på den aktuelle lokalitet, da magasinet er sammenhængende og der kun er registreret lille variation i strømningsretning og gradient. Der er tidligere truffet svag forurening i jord og grundvand ved kilden, men denne er ikke verificeret ved den aktuelle undersøgelse. Hvorvidt dette skyldes, at kilden er ophørt (konceptet tager ikke højde for en "vandrende" fane) eller om forureningen er fortyndet/nedbrudt vides ikke.
	Odense. Vollsmose Allé 2	Konceptet må betegnes som <i>anvendeligt</i> på den aktuelle lokalitet, da magasinet er sammenhængende og der kun er registreret lille variation i strømningsretning og gradient. Herudover er der lokaliseret en forureningsfane fra en kendt restforurening på lokaliteten.
	Odense. Dalumvej 50	Konceptet må betegnes som <i>anvendeligt</i> på den aktuelle lokalitet, da magasinet på trods af inhomogen opbygning tilsyneladende er sammenhængende og der overordnet set er registreret stort set samme strømningsretning ved de forskellige pejlerunder.
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der ikke er et sammenhængende magasin. Det øvre grundvand er lokaliseret i moræner, hvor der må forventes grundvandsstrømning i sprækkerne.
	Bogense. Vestergade 25A	Konceptet må betegnes som <i>anvendeligt</i> på den aktuelle lokalitet, da magasinet trods inhomogenitet er sammenhængende. Den først registrerede afvigende strømningsretning skyldes et langsomt reagerende pejlefilter. Der er lokaliseret en forureningsfane fra en kendt (rest)forurening på lokaliteten
Benzinstationer i drift	Svendborg. Odensevej 94	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da magasinet ikke er sammenhængende. Herudover er der en meget lille gradient på vandspejlet vest for lokaliteten, hvilket gør bestemmelse af strømningsretning og -hastighed meget usikker
	Odense Hjallesevej	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der tilsyneladende ikke er et sammenhængende magasin. Herudover er der et næsten horisontalt grundvandspejl (meget lille gradient) under og sydøst for lokaliteten. Der er fundet lave indhold af MTBE i faneboringerne. På den anden side kan det på grund af formodede skiftende strømningsretninger ikke udelukkes, at der findes en kraftigere forurening med MTBE længere mod vest og nordvest.
	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der ikke er et sammenhængende magasin, og en entydig strømningsretning i grundvandet
	Vissenbjerg Kildebjerg Nord	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der ikke er et sammenhængende magasin, og en entydig strømningsretning i grundvandet.
	Vissenbjerg Østergade 11	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der kun er fundet en afgrænset sandlomme umiddelbart under benzinstationen, men ikke et sammenhængende magasin under hele undersøgelsesområdet, og dermed ikke en entydig strømningsretning i grundvandet

MTBE-fundprocenter

MTBE fundprocenterne fra den aktuelle undersøgelse er sammenstillet med fundprocenter fundet i andre undersøgelser. Det bemærkes at forudsætningerne for de enkelte undersøgelser ikke nødvendigvis er sammenfaldende, jf. afsnit 5.1 og 5.2.

De sammenstillede undersøgelsesdata for benzinstationer der ikke læn-gere er i drift viser, uanset om undersøgelsesforudsætninger er forskellige, at sandsynligheden for at træffe MTBE i det underliggende grundvand, på et niveau større end grundvandskriteriet på 5 µg/l, er i størrelsesordenen 50 % eller mere. For denne gruppe af benzinstationer indikerer undersøgelsesdata ligeledes, at der er en meget stor sandsynlighed for at der vil kunne påvises MTBE på lavt niveau i grundvandet, svarende til niveauet mellem detektionsgrænsen og grundvandskriteriet. Sammenfattende viser undersøgelserne at der er meget stor sandsynlighed for at påvise MTBE i grundvandet ved tidligere benzinstationer, der har håndteret MTBE-holdigt benzin. For benzinstationer i drift (2002/2003), er datamaterialet meget spinkelt, hvorfor der næppe kan konkluderes noget generelt.

Ændring af undersøgelsesprogram

Det er vigtigt, at indsatsen koncentrerer om at få verificeret hvorvidt der på en given lokalitet findes et sammenhængende sandmagasin med ensartet strømningsretning, således at der ikke bruges unødvendige ressourcer på analyser mv. En målrettet undersøgelsesstrategi er således:

1. Lokalisering af kilder.
2. Vurdering af strømningsretning baseret på terrænhældning.
3. Udførelse af tre filtersatte boringer i øverste grundvand i sandmagasin.
4. Udførelse af tre pejlerunder.
5. Vurdering af variationer i strømningsretning og sammenligning med forventede.

Såfremt der enten ikke træffes vandmættet sand i alle tre boringer eller der er væsentlig afvigelse mellem forventet og registreret strømningsretning standses "konceptundersøgelserne" og der tilrettelægges individuelle videregående undersøgelser på lokaliteten. På øvrige lokaliteter forsættes:

6. Udførelse af tre supplerende, filtersatte boringer (to i strømningsretningen og en boring på lokaliteten til understøttelse af den geologiske model).
7. Udførelse af to supplerende pejlerunder.
8. Vurdering af strømningsretning, gradient, hydraulisk ledningsevne, magasinforhold og strømningshastighed.
9. Vurdering af forureningsfanen på baggrund af erfaringstal og strømningshastighed.

Såfremt den supplerende forundersøgelse bekræfter tilstedeværelsen af et sammenhængende sandmagasin med entydig strømningsretning udføres hovedundersøgelsen med analyser af vandprøver etc. idet det tilstræbes at have fire boringer i fanen i alt.

Summary and conclusions

Background

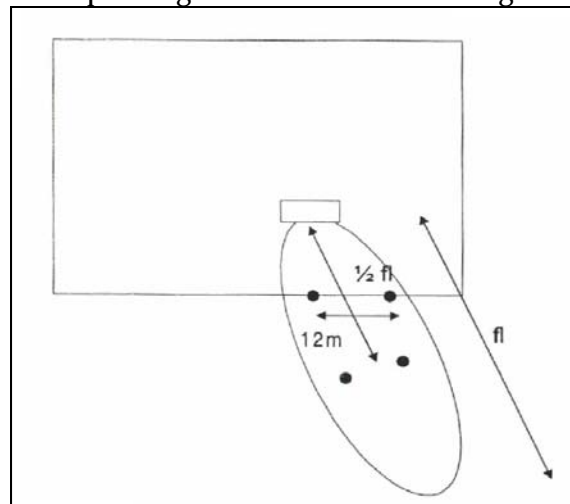
MTBE (Methyl-tertiær-butyl-ether) has been added to unleaded petrol since 1985. MTBE is characterized by high solubility, high mobility and a low degradability. Thus, contamination from petrol stations can be a considerable threat to the groundwater. A series of initiatives concerning the phasing out of MTBE has been started.

Experience from earlier investigations and research programme

Experience from earlier investigations in the county of Funen shows that MTBE was detected in the secondary groundwater at 62 out of 72 examined petrol stations. In 65 % of the cases, the content of MTBE was higher than the quality criteria for ground water of 5 g/l. The Danish EPA started a number of technological programmes on MTBE. One of these programmes is the "Research programme on ground water pollution originating from petrol stations", which forms the basis for the current project.

Observed lengths and widths of contaminated plumes from the research in the county of Funen have been combined with model simulations in the "Research programme on ground water pollution originating from petrol stations". From this, plumes between 25 m and more than 100 m in length and between 10 and 35 in width have been estimated. From the estimated lengths and widths of the plumes, a research programme has been drawn up. The programme aims at detecting possible groundwater contamination with a certainty of 95% in borings done within the area of the petrol station.

First step in the research programme is the establishment of three to four borings situated as close to the bounds of the property as possible. The borings are screened in the shallow aquifer, water level is located, water samples for chemical analyses are sampled and hydraulic parameters are estimated. As well, it is estimated whether the aquifer is continuous and where a possible contaminated plume might be located. To detect the contaminated plume outside the property, two borings are placed at the boundary of the property, and two borings are placed in a distance from the source corresponding to half the estimated length of the plume, cf. diagram below.



The length of the plume is determined from the soil type and hydraulic gradient found in the preliminary investigation. The water table of the new borings are logged and water is sampled for analyses.

Aims

The aims of the current project are:

- To carry out empirical investigations at five operating petrol stations, which have not previously been investigated, and at six closed down petrol stations, where contamination with petrol has previously been detected by OM.
- To focus on possible contamination with MTBE, but also to search for total hydrocarbons, C9-C10 aromatics and benzene, toluene, ethylbenzene, xylenes and naphthalene.
- To gather the experience and results obtained through the empirical investigations, in order to suggest possible adjustments to the report “Research programme on ground water pollution originating from petrol stations” before final publication.
- To upscale the results of the investigations to national scale.

Investigations

The fieldwork is divided into two phases: a preliminary investigation and a main investigation. For each of the eleven sites, it is assessed in the preliminary phase, whether the described and applied principles and methods have resulted in the expected knowledge on the plumes. Three borings are made at all sites. At three sites one or two extra borings are made in the preliminary investigations, in order to do a further examination of the hydro geological conditions. At one site, only a preliminary investigation is made, since it was not possible to locate a continuous aquifer within the top 20 m, which was maximum drilling depth.

In connection with the preliminary investigation it is assessed whether the research programme should be adjusted according to the “Research programme on ground water pollution originating from petrol stations”. With reference to achieving the optimum location for the borings in the main investigation, a preliminary assessment of the geological and hydro geological conditions is made at each site. If possible, it is assessed whether a possible contamination originates from a short-lived larger spill or a prolonged smaller spill. In the assessment of the spread of the contaminated plume the following four methods have been applied:

- Risk of type of spill
 - Short-lived larger spill
 - Prolonged smaller spill
- The rate of groundwater flow and the flow direction
- JAGG-calculations (at six sites)
- Flow path simulations (at five sites)

At three sites out of eleven, borings are not established in the plume in the main investigation. This is because of difficulties in the determination of the positions of the contamination plumes or because of very varying direction of the groundwater flow. At the remaining eight site two to four borings are made at the boundaries of the properties. At six of the sites a further two to four borings are made at half the estimated length of the plume, while no borings are made in the plume at two of the sites due to varying or presumed varying directions of groundwater flow.

It is crucial for the concept of the investigation, that a continuous aquifer can be located underneath the site. On the basis of the preliminary investigation it was assessed, that a continuous aquifer is present at eight of the eleven sites. After the supplementary information from the main investigations it was assessed, that a continuous aquifer is only present at five sites.

The possibilities to apply the concept at the individual sites are summarized in the table below.

	Site	Conclusion
Closed down petrol stations, where pollution with petrol previously has been detected	Svendborg. Odensevej 135-137	The concept is <i>not</i> usable at the specific site, due to a very varying flow direction. A boring close to the source has been found to be heavily polluted with MTBE, but in borings close to the western boundaries of the property, only very low concentrations were found. This indicates, that the plume is not located, either because it has a different direction or because the length of the plume is shorter at the time of investigation
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	The concept is <i>usable</i> at the actual site from a hydro geological point of view, since the reservoir is continuous and only a small variation in flow direction and gradient has been seen. Pollution has earlier been detected in low concentrations in soil and groundwater at the source, but this could not be verified in the current investigation. Whether this is due to determination of the source (the concept does not allow for a migrating plume) or if the pollution has been diluted/decomposed is not known.
	Odense. Vollmose Allé 2	The concept is <i>usable</i> at the actual site, since the reservoir is continuous and only a small variation in flow direction and gradient has been seen. In addition to this at contaminated plume from a known contamination at the site has been located.
	Odense. Dalumvej 50	The concept is <i>usable</i> at the actual site, since the reservoir apparently is continuous, despite an inhomogeneous geology. Largely the same direction of flow has been registered in the various groundwater soundings.
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	The concept is <i>not</i> usable at the actual site, since a continuous aquifer has not been found. The upper ground water is located in clayey till, where the ground water is expected to flow through cracks.
	Bogense. Vestergade 25A	The concept is <i>usable</i> at the actual site, since the reservoir is continuous, despite inhomogeneity. In the first measuring round, at differing flow direction was registered. This was due to a screen with a slow response. A contaminated plume from a known contamination at the site has been located.
Operation petrol stations	Svendborg. Odensevej 94	The concept is <i>not</i> usable at the actual site, since a continuous aquifer has not been found. In addition to this, a very small hydraulic gradient to the west of the site makes the estimation of flow direction and rate very uncertain.
	Odense Hjallelsevej	The concept is <i>not</i> usable at the actual site, since a continuous aquifer apparently has not been found. In addition to this, the water table below and southeast of the site is almost horizontal (very small gradient). A low content of MTBE has been found in the borings located in the plume. However, due to presumed varying directions of flow, the presence of a heavier MTBE pollution further west and northwest of the site can not be excluded.
	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	The concept is <i>not</i> usable at the actual site, since no continuous aquifer nor a uniform flow direction in the ground water has been found.
	Vissenbjerg Kildebjerg Nord	The concept is <i>not</i> usable at the actual site, since no continuous aquifer nor a uniform flow direction in the ground water has been found.
	Vissenbjerg Østergade 11	The concept is <i>not</i> usable at the actual site. Only an isolated sandy pocket has been found directly below the petrol station. With no continuous aquifer under the whole site, no uniform direction of flow could be estimated.

Rate of findings of MTBE

The MTBE rate of findings from the current investigation are compared with the findings of other investigations. It should be noticed, that the premises for the different investigations are not necessarily identical, cf. passage 5.1 and 5.2.

Despite of different premises, the compared investigation data from petrol stations no longer in use shows, that the probability to find MTBE-concentrations one level higher than the ground water quality criterion of 5 g/l is 50 % or higher. The investigation data also shows a very high probability for the detection of low levels of MTBE in the ground water underneath this group of petrol stations. These low levels correspond to the MTBE concentrations between the level of detection and the ground water quality criterion. Summed up, the investigations show a very large probability to detect MTBE in the ground water at previous petrol stations, which have handled petrol added MTBE. The data from operating petrol stations are very sparse, and general conclusions can therefore hardly be made.

Adjustment to research programme

It is important to concentrate the efforts on the verification of the presence of a continuous aquifer with a uniform direction of flow. This will prevent unnecessary spending of resources on analyses etc. A targeted strategy for the investigations will be:

1. Locating sources
2. Assessment of flow direction from the topographical slope
3. Establishment of three filter borings in the upper groundwater in sandy aquifers
4. Carrying out ground water soundings three times
5. Estimation of variations in flow direction and comparing to the expected

Provided that saturated sand is not found in all three borings or if there is a substantial difference between expected and found flow direction, the “conceptual investigations” are stopped. In stead, individual advanced investigations are planned at the site. At the rest of the sites the “conceptual investigations” are continued:

6. Establishment of three additional filter borings (two in the direction of flow and one at the site, to support the geological model)
7. Estimation of flow direction, gradient, hydraulic conductivity, reservoir parameters and flow rate
8. Estimation of the contaminated plume from the empirical data and flow rate

Provided that the advanced preliminary investigation confirms the presence of a continuous sandy aquifer with a uniform flow direction, the main investigation including water analyses etc. are carried out. Four borings located in the plume in all are aimed for in the main investigation.

1 Indledning, baggrund, formål og læsevejledning

1.1 Indledning og baggrund

1.1.1 MTBE

MTBE (Methyl-tertiær-butyl-ether) er siden 1985 tilsat blyfri benzin, primært 98 oktan, men også i mindre grad 95 oktan benzin. MTBE har også forekommet i 92 oktan benzin, som følge af sammenblanding med de øvrige benzintyper i distributionssystemet. Der er således ikke generelt tilsat MTBE direkte til oktan 92 benzin. MTBE-indholdet (v/v) i benzin har været følgende /5/:

- 98 oktan blyfri: 3,5 - 11 %.
- 95 oktan blyfri: 0,1 - 5,5 %.
- 92 oktan blyfri: 0 - 0,3 %.

Siden 1998 er der desuden tilsat MTBE til blyholdig 98 oktan benzin. Forbruget af MTBE i Danmark er i 1990 skønnet til i størrelsesordenen 100.000 tons. I 1997 var forbruget dalet til skønsvist 16.000 tons, primært fordi den nyere bilpark kører på 95 oktan benzin eller mindre, hvortil der i Danmark ikke længere tilsættes MTBE /1/. Miljøstyrelsen har i sin Handlingsplan for MTBE /2/ redegjort for de miljømæssige aspekter af MTBE, grænseværdifastsættelse, muligheder for erstatning med andre stoffer, tanksikkerhed, og endelig behov for videre undersøgelser.

MTBE er karakteriseret ved en:

- Høj vandopløselighed (ca. 50.000 mg/l).
- Ringe sorption til jordmatricen, på grund af en lille oktanol-vand fordelingskoefficient (ca. 1).
- Ringe nedbrydelighed i jord og grundvand.

Der er rapporteret om nedbrydning af MTBE i aerobe grundvands-magasiner og indikationer for nedbrydning i anaerobe magasiner. Hvis der sker nedbrydning af MTBE, sker det dog meget langsomt /3/. På grund af stoffets egenskaber er MTBE potentielt en væsentlig grundvandstruende forbindelse. Ved nyere forureninger fra benzinstationer kan MTBE således være det dominerende forureningsstof. Specielt ved forureninger i aerobe grundvandsreservoirer kan MTBE være det eneste spor fra benzinformuren, da alle kulbrinterne i benzinen teoretisk kan være biologisk nedbrudt /1/.

1.1.2 Erfaringsopsamling

En erfaringsopsamling i Fyns Amt har vist, at der på 62 ud af 72 undersøgte benzinstationer er påvist indhold af MTBE i det sekundære grundvand /6/. I syv tilfælde er der endvidere konstateret indhold af MTBE i det dybereliggende, primære grundvandsmagasin. Indholdet af MTBE i

grundvandet er i 65 % af tilfældene højere end grundvandskvalitetskriteriet på 5 g/l.

1.1.3 Undersøgelserprogram til identifikation af grundvandsforurening

På baggrund af Fyns Amts erfaringsopsamling igangsatte Miljøstyrelsen flere teknologiprojekter om MTBE, blandt andet "Undersøgelserprogram for grundvandsforureninger fra benzinstationer" /4/, som danner grundlag for det aktuelle projekt. I /4/ er formålet at opstille forslag til et undersøgelsesprogram for identifikation af en grundvandsforurening fra benzinstationer. Det er ønsket, at undersøgelsesprogrammet skal give en sikkerhed, svarende til at en eventuel grundvandsforurening opdages med 95% sandsynlighed.

Som hovedregel skal undersøgelserne udføres udenfor benzinstationens areal nedstrøms lokaliteten. Det er således ikke projektets formål at foretage undersøgelser på selve grunden, hvor benzinstationen har ligget eller ligger. Dette skyldes, at der kan være flere situationer, hvor det ikke er muligt at foretage undersøgelser tæt på forureningskilderne, pga. f.eks.:

- Hvis benzinstationen er nedlagt, og der er opført nye bygninger, som umuliggør kildenære undersøgelser.
- Forskellig spredning af MTBE og øvrige olie-/benzinkomponenter, hvorfor der kan forekomme situationer, hvor der kun findes de øvrige olie-/benzinkomponenter i kildeområdet, men ikke MTBE, som alene findes længere nedstrøms.
- Hvis der er udført begrænsede undersøgelser på benzinstationen omkring mulige kilder, og disse undersøgelser ønskes suppleret med nedstrøms observationsboringer.
- Køb/salg af benzinstationen, hvor køber eller sælger ønsker at få et overordnet indtryk af forureningssituationen uden at gå tæt på eksisterende installationer.
- Et undersøgelsespåbud, hvor der ønskes gennemført undersøgelser for at belyse, om der findes en nedstrøms forurening.

1.1.4 Undersøgelser på 11 benzinstationer

Undersøgelserne er udført på to typer lokaliteter:

- Seks benzinstationer med en driftsperiode efter 1985, hvor Oliebranchens Miljøpulje (OM) har konstateret benzinformuring.
- Fem idriftværende benzinstationer etableret efter 1972.

For at vurdere projektets resultater i forhold til de to typer lokaliteter, "benzinstation i drift" eller "benzinstation, hvor Oliebranchens Miljøpulje har konstateret benzinformuring", er der på baggrund af undersøgelsen udført en beskrivelse af forureningerne i forhold til typen af lokalitet.

På de seks udvalgte benzinstationer med en driftsperiode efter 1985, er der på fem af benzinstationerne gennemført afværgeforanstaltninger, hovedsageligt bestående af bortgravning af forurenede jord indenfor benzinstationens matrikel. I nogle af tilfældene er der efterladt restforurening som ud fra en risikovurdering udført af OM viste at restforureningen ikke udgjorde en risiko for grundvandsinteresser. På benzinstationen på Bjerrebyvej i Svendborg viste OMs risikovurdering, at forureningen ikke udgjorde en risiko i forhold til eksisterende grundvandsinteresser.

Tilsynet med idriftværende benzinstationer varetages af kommunerne. De udvalgte 5 benzinstationer udgør ca. 10 % af de samlede benzinstationer på

Fyn som er idriftsat efter 1972. Ca. 25 % af de ca. 200 idriftværende stationer på Fyn er anlagt efter 1972, og er derfor ikke omfattet af den tidligere affaldsdepotlov.

1.2 Formål

Nærværende projekt har til formål at:

- Gennemføre de praktiske undersøgelser på 5 idriftværende og 6 tidligere benzinstationer, hvor OM har konstateret benzinformuring.
- Fokuserer på eventuel forurening med MTBE, men ligeledes at undersøge for total kulbrinter, C9-C10 aromater samt benzen, toluen ethylbenzen, xylener og naphthalen.
- Foretage en opsamling af de erfaringer og resultater, som er opnået via den praktiske gennemførelse af undersøgelser med henblik på at foreslå evt. justeringer af rapporten "Undersøgelserprogram for grundvandsforurening fra benzinstationer" inden endelig offentliggørelse.
- Opskalere resultaterne fra undersøgelserne til landsplan.

1.3 Læsevejledning

I hovedrapportens kapitel 2 er resumeret "Undersøgelserprogram for grundvandsforurening fra benzinstationer" /4/ som danner baggrund for projektet. I kapitel 3 og 4 er beskrevet omfanget og resumeret resultaterne af feltundersøgelserne på de 11 benzinstationer. Den praktiske gennemførelse af undersøgelseskonceptet er vurderet i kapitel 5 og konklusion fremgår af kapitel 6.

Undersøgelserne på de 11 benzinstationer er detaljeret beskrevet i appendiks 1-11, mens forskellige baggrundsnotater er vedlagt som bilag H.1 til H.6.

2 Resumé af undersøgelseskoncept for grundvandsforureninger fra benzinstationer

2.1 Baggrund for undersøgelseskonceptet

I Miljøstyrelsens projekt "Undersøgelingsprogram for grundvandsforureninger fra benzinstationer" /4/, som danner grundlag for det aktuelle projekt, er formålet at opstille forslag til et undersøgelsesprogram for identifikation af en grundvandsforurening fra benzinstationer. Det er ønsket, at undersøgelsesprogrammet skal give en sikkerhed, svarende til at en eventuel grundvandsforurening opdages med 95% sandsynlighed i boringer udført udenfor benzinstationens areal.

Sandsynligheden for at finde en eventuel grundvandsforurening er beregnet ud fra 2 boringer placeret i skel til benzinstationen, 2 boringer placeret længere nedstrøms i forureningsfanen samt forureningsens estimerede fanelængder og fanebredder.

Scenarier for estimer af fanelængder og fanebredder samt deres variationer er udført på basis af:

- Indsamling og vurdering af data fra undersøgelser, der er foretaget på Fyn suppleret med enkelte andre danske undersøgelser.
- Modelberegninger af stofudbredelsen af MTBE, BTEX og højere kulbrinter under hensyn til forskellig kildestyrke og varighed samt hydrogeologi.

2.2 Erfaringsopsamling og model simuleringer

Erfaringsopsamlingen fra Fyns Amt har vist, at kilde/spild-type har stor indflydelse på fanelængderne og -bredderne. Derfor er scenarierne opdelt i:

- Kortvarigt større spild.
- Længerevarende mindre spild.

Et kortvarigt større spild er en forurening forårsaget af en egentlig lækage, som for eksempel et brud eller en væsentlig utæthed i tanke, rørføring, udskiller eller stander. Et sådant udslip vurderes kun at kunne forløbe over en vis tid, inden det opdages. I modelberegningerne er det forudsat, at et kortvarigt større spild kan forløbe i ca. 15 uger, før det opdages og standses, mens at der kan gå yderligere i størrelsesordenen et år, før undersøgelse og oprensning af fanen påbegyndes. I /4/ er et kortvarigt større spild betegnet som et lækagespild.

Længerevarende mindre spild er en forurening, som har karakter af en langsom, mindre udsivning fra overfladespild på terræn eller fra utætheder i afløbssystemet, der skal opsamle overfladevand, herunder mindre utætheder i olieudskillere. Det må forventes, at et længerevarende mindre spild kan

forløbe i mange år uden at blive opdaget. I modelberegningerne er det forudsat, at et længerevarende mindre spild har forløbet i 15 år, svarende til indførelsen af MTBE. I /4/ er længerevarende mindre spild betegnet som et overfladespild.

Spredningen af en forureningsfane afhænger af strømningsforholdene i et eventuel overfladenært sekundært grundvandsmagasin og af udvekslingen mellem eventuelle sekundære grundvandsmagasiner og det primære grundvandsmagasin /4/.

De observerede fanelængder og fanebredder i undersøgelserne fra Fyns Amt, er understøttet af modelsimuleringer. De geologiske scenarier, som er opstillet i modelberegningerne, spænder fra porevandshastigheder på mellem 1 m/år og knap 300 m/år. Det antages ved simuleringerne, at de geologiske formationer er homogene, idet eventuelle inhomogeniteter er simuleret ved variationer af dispersiviteten. Der er simuleret MTBE-spild spændende fra et længerevarende mindre spil på 0,2 til 2,2 mg MTBE/år i 15 år til et kortvarigt større spild fra 1.000 l til 10.000 l benzin over en periode på 15 uger /4/.

På basis af erfaringsopsamlingen og modelsimuleringerne er der estimeret fanelængder - og bredder som er resumeret i tabel 2.1.

Tabel 2.1. Estimerede fanelængder og fanebredder /4/.

Kortvarigt større spild		Længerevarende mindre spild	
Bredde (m)	Længde (m)	Bredde (m)	Længde (m)
15-35	25-75	10-15	30->100

2.3 Undersøgel sesprogram

På baggrund af de estimerede fanelængder og fanebredder er der i /4/ opstillet følgende undersøgelsesprogram som skal give en sikkerhed, svarende til at en eventuel grundvandsforurening opdages med 95 % sandsynlighed i boreriger udført udenfor benzinstationens areal.

Før opstart af feltarbejdet indsamles følgende oplysninger om lokaliteten:

- Placering, alder og indhold af tanke.
- Placering af olieudskillere samt væsentlige kloakker og afløbsbrønde.
- Vurdering af eventuel drænende effekt af kloakker og andre ledninger, som kan ændre væsentligt på strømningsbilledet.
- Basisdatakort og potentialekort.

Ved **forundersøgelsen** placeres 3-4 boreriger omkring lokaliteten. 2 af borerigerne placeres forventet nedstrøms af de registrerede potentielle forureningskilder. Borerigerne placeres så tæt på skel som muligt.

Borerigerne filtersættes i det øverste sammenhængende grundvandsmagasin. Borerigerne pejles, og der udtages vandprøver til kemiske analyser for MTBE, BTEX, total kulbrinter samt redoxparametre. Borerigerne pejles mindst 3 gange.

Ud fra boreoplysningerne og pejlingerne vurderes magasinets hydrauliske parametre og om det er sammenhængende.

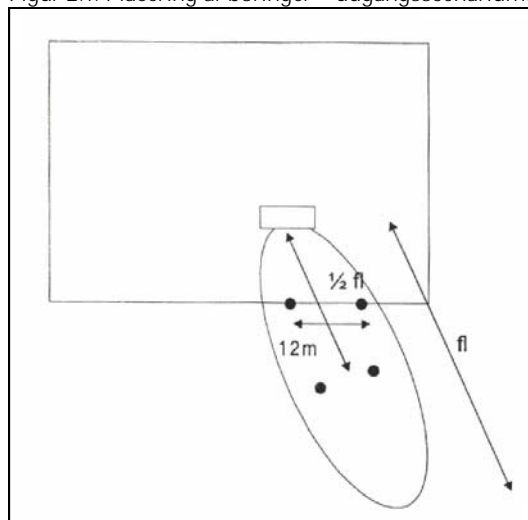
På basis af lokaliserede forureningskilder, deres forventede fanelængder og -bredder, jf. tabel 2.1, samt den forventede strømningsretning, vurderes i

hvilke områder en eventuel forureningsfane kan være placeret, og hvor langt den kan være spredt ud over stationens areal.

Ved **hovedundersøgelsen** placeres 2 boringer nedstrøms kildeområdet nær skelgrænsen med en indbyrdes placering på 12 m. Hvis der er to eller flere adskilte kildeområder, hvor de forventede faner ikke overlapper, placeres boringer nedstrøms alle kildeområderne.

For at fange forureningsfanen uden for grunden placeres to boringer i halvdelen af den skønnede fanelængde fra kilden, hvis dette giver en afstand, der er et stykke uden for skel, jf. figur 2.1. Den konkrete fanelængde fastlægges, som tidligere beskrevet, ud fra den opnåede viden i forundersøgelsen om jordart i det grundvandsførende lag samt gradienten.

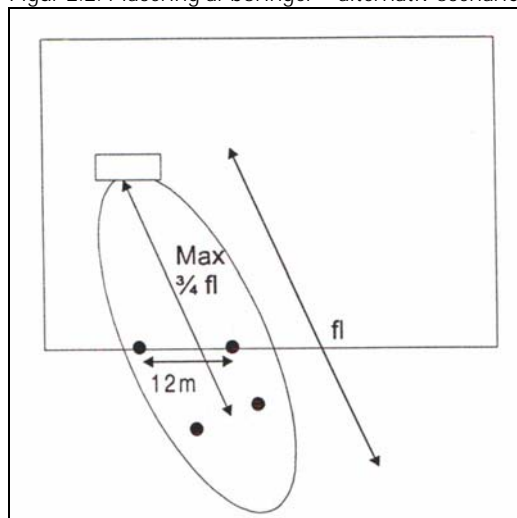
Figur 2.1. Placering af boringer – udgangsscenario.



- 2 boringer placeres i skel.
- 2 boringer placeres i afstand svarende til $\frac{1}{2}$ fanelængde.

Hvis boringerne ikke, efter ovenstående vurdering, placeres udenfor skel, øges afstanden fra kilden. Dog ikke mere end til hvad der svarer til $\frac{3}{4}$ af den skønnede forureningsfanelængde, jf. figur 2.2.

Figur 2.2. Placering af boringer – alternativt scenarium



- 2 boringer placeres i skel
- 2 boringer placeres i afstand svarende til maksimalt $\frac{3}{4}$ fanelængde

Boringerne pejles, og der udtages vandprøver fra skelboringerne, som analyseres for MTBE, BTEX og total kulbrinter. Den ene af skelboringerne

analyseres desuden for nedbrydningsprodukter af MTBE (TBA og TBF) samt redoxparametre. Vandprøver fra faneboringerne analyseres for MTBE, nedbrydningsprodukter af MTBE samt redoxparametre.

Undersøgelseskonceptet er sammenfattet i tabel 2.2.

Tabel 2.2. Undersøgelseskoncept.

Overordnet formål		Det er ønsket, at der ved gennemførelse af undersøgelsen opnås en sikkerhed på mere end 95 % for at en MTBE forurening på lokaliteten opdages.
Forundersøgelse	Formål	Lokalisering af terrænnært grundvandsmagasin og bestemmelse af strømningsretning og hydrauliske parametre i øverste grundvand. Skøn af længde og bredde af forureningsfane.
	Kilder, mv.	De potentielle forureningskilder i form af tanke, benzin- og olieudskillere, påfyldningsplads, standerø og diverse rørforbindelser identificeres og lokaliseres, og der indsamles viden om evt. spild. Den forventede strømningsretning af det øverste grundvand skønnes, fx. på baggrund af terrænhældning.
	Boringer	3-4 stk uden for lokaliteten, heraf mindst 2 stk. i skønnet nedstrøms retning.
	Analyser	Analyse for MTBE, BTEX, totalkulbrinter og redox-parametre i vandprøver fra hver boring.
	Magasin	Det vurderes om magasinet er sammenhængende.
	Strømningsretning	Strømningsretningen vurderes på baggrund af mindst 3 pejlerunder.
	Gradient	Gradienten vurderes på baggrund af mindst 3 pejlerunder.
	Hydraulisk ledningsevne	Skønnes på baggrund af prøvebeskrivelsen og fx d_{10} fra kornkurver fra udvalgte prøver.
Fane	Den eventuelle forureningsfanens bredde, længde og placering vurderes på baggrund af kildetyper, alder på muligt udslip, magasinets hydrauliske parametre samt strømningsretningen.	
Hovedundersøgelse	Formål	Bestemmelse af faneplacering samt verifikation af de hydrauliske parametre, som er skønnet i forundersøgelse.
	Boringer	2 stk. med 12 m afstand nær skel i formodet fane, samt 2 stk. med 12 m afstand uden for grund i formodet fane i en afstand fra kilder på 0,5 til 0,75 gange fanelængde.
	Analyser	Analyse for MTBE, BTEX, totalkulbrinter og redoxparametre i vandprøver fra alle nye boringer.
	Magasin	Det vurderes om magasinet er sammenhængende.
	Strømningsretning	Strømningsretningen vurderes på baggrund af mindst 3 pejlerunder.
	Hydrauliske parametre	Parametrene fra forundersøgelsen verificeres.
	Fane	På baggrund af den samlede undersøgelse vurderes det om der er fundet en forureningsfane, primært med MTBE og på grundlag heraf om der er risiko for, at der findes en grundvandsforurening med MTBE under lokaliteten.

3 Praktiske undersøgelser på 11 benzinstationer

3.1 Strategi for feltundersøgelser

Feltprojektet er opdelt i to faser, en forundersøgelse og en hovedundersøgelse. Ved forundersøgelsen er det vurderet for de enkelte lokaliteter, om de beskrevne og anvendte principper og metoder har resulteret i den forventede viden om forureningsfanerne. Ved starten af hovedundersøgelsen er det således vurderet, om der skal ske justeringer af undersøgelsesprogrammet i henhold til "Undersøgelsesprogram for grundvandsforureninger fra benzinstationer" /4/.

Ved planlægningen og gennemførelsen af undersøgelserne er der fokuseret på aktiviteter, indretning og oprensninger på de angivne lokaliteter samt geologiske og hydrogeologiske forhold og kemiske parametre, der alle er anvendt i en systematisering af resultaterne i forhold til lokaliteterne og i forhold til rapporten "Undersøgelsesprogram for grundvandsforureninger fra benzinstationer".

3.2 Benzinstationer i drift eller med konstateret benzinforurening

Undersøgelserne er udført på to typer lokaliteter:

- Seks benzinstationer med en driftsperiode efter 1985, hvor Oliebranchens Miljøpulje (OM) har konstateret benzinforurening.
- Fem idriftværende benzinstationer etableret efter 1972.

Data for de 11 benzinstationer er vist i tabel 3.1 og 3.2.

Tabel 3.1. Seks benzinstationer med en driftsperiode efter 1985, hvor Oliebranchens Miljøpulje (OM) har konstateret benzinforurening.

Lokalitet	Lokalitet nr.	Driftsperiode	Tidligere undersøgelser og afværge
Svendborg. Odensevej 135-137	1	1966-1991	I 1995 fjernes tanke og ca. 900 t jord. Efterladt forurening med benzin under jordkvalitetskriteriet.
Svendborg. Bjerrebyvej 100	3	1967-1995	Undersøgelser i 1993 og 1996. Jord- og grundvandsforurening med kulbrinter. Ingen oprensning
Odense. Vollsmose Allé 2	5	1976-1994	I 1997 fjernes tankanlæg og ca. 3.000 t jord ned til 7 m u.t. Restforurening i bund af udgravning og under vej
Odense. Dalumvej 50	6	1963-1990	I 1996 fjernes tankanlæg og ca. 1500 t jord.
Kerteminde. Fynshovedvej 290	7	1925-1993	I 1997 fjernes tanke og ca. 400 t jord. Restforurening med farvet benzin under bygning
Bogense. Vestergade 25A	8	ikke kendt	I 1994 fjernes tanke og ca. 400 t jord. Restforurening langs vej. Afværgedræn i drift fra 1994 til 1995

Tabel 3.2. Fem idriftværende benzinstationer etableret efter 1972.

Lokalitet	Lokalitet nr.	Driftsperiode	Tidligere undersøgelser
Svendborg. Odensevej 94	2	Fra 1972	Poreluftsundersøgelser
Odense. Hjallesevej	4	Fra 1991	Ingen
Vissenbjerg. Kildebjerg Syd	9	Fra 1990	Ingen
Vissenbjerg. Kildebjerg Nord	10	Fra 1991	Ingen
Vissenbjerg. Østergade 11	11	Fra 1971	Ingen

På lokaliteten Vissenbjerg, Kildebjerg Nord er der kun udført en forundersøgelse, da der ved forundersøgelsen ikke kunne lokaliseres et sammenhængende grundvandsmagasin.

3.3 Forundersøgelse

På benzinstationer, hvor der ikke tidligere er udført undersøgelser, er undersøgelsen indledt med en kortlægning af de potentielle forureningskilder, som udover de nedgravede benzintanke også har omfattet rørforbindelser, udluftningsstudse, påfyldningsstudse, olieudskillere og pumpeø med standere. Kortlægningen er udført dels på baggrund af foreliggende tegningsmateriale og dels på baggrund af en besigtigelse af hver lokalitet.

Forundersøgelsen indeholder mindst tre borer på alle lokaliteter, alle placeret udenfor benzinstationens kildeområde. Det er formålet med forundersøgelsen, at den skal give en så detaljeret beskrivelse af de geologiske og hydrogeologiske forhold, at det kan vurderes, om disse forhold gør det umuligt eller uhensigtsmæssigt at gennemføre hovedundersøgelsen på den valgte lokalitet. Herudover skal forundersøgelsen danne grundlag for at skønne placering af en eventuel forureningsfane, samt placering af borer i denne, primært via kortlægning af strømningsretningen i det sekundære grundvandsmagasin. Boreddybden er maksimalt 20 m.

På flere af de undersøgte lokaliteter er der observeret moræneler over det øverste grundvandsmagasin. Derfor er der i bilag H.1 resumeret foreliggende viden om forureningstransport i moræneler.

Boringerne er filtersat i det øverste vandførende sandlag, som har en forventet større udbredelse. Hvor der ikke fandtes magasiner med større udbredelse, er der sat filter i det øverste vandførende sandlag eller lerlag med sandlinser. Hvis der er truffet flere vandførende sandlag, er boringerne eventuelt filtersat i to niveauer, dog under forudsætning af, at der kunne opnås en forsvarlig afpropning mellem de to filtre. Principper for filtersætning er vedlagt i bilag H.4 og vurdering af eventuel fanetrykning fremgår af Bilag H.2.

Gennem synkronpejlinger i mindst 3 filtersatte borer er strømningsretningen i det øverste grundvandsmagasin fastlagt for hver lokalitet. Hvis der er truffet et mættet sandlag, som er over 1 meter tykt, og som er vurderet at have en større udstrækning, er den hydrauliske ledningsevne bestemt ved sigteanalyse. På udvalgte lokaliteter er der udført hydrauliske test for beskrivelse af de hydrogeologiske egenskaber. Idet den hydrauliske test ikke måtte have indvirkning på forureningsfanens udbredelse, har det i nogle tilfælde været nødvendigt at udskyde en eventuel

prøvepumpning til hovedundersøgelsen. Principper for fastlæggelse af den hydrauliske ledningsevne og valg af hydraulisk gradient fremgår af bilag H.3.

Med henblik på optimal boringsplacering i hovedundersøgelsen er der foretaget en foreløbig vurdering af de geologiske og hydrogeologiske forhold på de enkelte lokaliteter. Hvis muligt, er det vurderet om en eventuel forurening skyldes kortvarigt større spild eller længerevarende mindre spild. Til vurdering af forureningsfanens udbredelse er følgende fire metoder anvendt: For hver lokalitet, hvor der er gennemført en hovedundersøgelse, er mulige fanelængder vurderet på baggrund af:

- Risiko for spildtype.
 - Kortvarigt større spild.
 - Længerevarende mindre spild.
- Grundvandets strømningshastighed og retning.
- JAGG-beregninger (på 6 lokaliteter).
- Flowpath simuleringer (på 5 lokaliteter).

Ved fanelængder vurderet på baggrund af JAGG-beregninger er der forudsat:

- En konstant forureningskilde.
- Nedbrydning af benzen med nedbrydningskonstanter på hhv. 0,005 dag⁻¹ for aerob nedbrydning og 0,001 dag⁻¹ for anaerob nedbrydning.
- Ingen nedbrydning af MTBE.
- JAGG kan benyttes ved fanelængder større end 100 m.

Ved fanelængder vurderet på baggrund af Flowpath-beregninger er der forudsat:

- En konstant forureningskilde fra tidspunktet for indførelse af MTBE til stationens ophør.
- Nedbrydning af benzen med nedbrydningskonstanter på hhv. 0,005 dag⁻¹ for aerob nedbrydning og 0,001 dag⁻¹ for anaerob nedbrydning.
- Ingen nedbrydning af MTBE.

Metoderne har meget forskellige forudsætninger for vurdering af fanelængder. Der er derfor i de enkelte delrapporter, også gennemført en beregning af grundvandets transporttid før den benyttede afgrænsningskoncentration (grundvandskvalitetskriteriet) er overholdt. Som eksempel er der i tabel 3.3 vist oversigt over fanelængder og transporttider for lokalitet 3, Svendborg. Bjerrebyvej 100.

Tabel 3.3. Oversigt over teoretiske fanelængder på Bjerrebyvej 100 i Svendborg bestemt ud fra erfaringsopsamling og beregningsmæssige metoder.

Metode	Fanelængde (m)	Vp m/år	Vs m/år	Tid år	Afgrænsningskoncentration	Kommentar
Kortvarigt større spild (Lækagespild /4/)	25 - 75	-	-	-	-	Erfaringsdata /4/
Længerevarende mindre spild (overfladespild /4/)	30 - >100	-	-	-	-	Erfaringsdata /4/
Strømningshastighed	110 - 270	16	16	7-16	-	Grundvandets strømningshastighed gange tidsperiode for brug af MTBE
JAGG, benzen	80 - 90	16	15	5-6	Grundvandskriteriet	Kontinuert kilde. Nedbrydning
Flowpath, MTBE	>100	16	16	-	Grundvandskriteriet	Kontinuert kilde i 10 år. Ingen nedbrydning
Flowpath, benzen	70	16	15	5	Grundvandskriteriet	Kontinuert kilde i 10 år. Nedbrydning
Valgt fanelængde. Kortvarigt større spild	75					
Valgt fanelængde. Længerevarende mindre spild	100					

Vp = Grundvandets strømningshastighed.

Vs = Stoffets transporthastighed.

Tid = Transporttid før afgrænsningskoncentration er overholdt.

Hvor det giver mening, på grund af forskellige anvendelsesformål og forudsætninger, er der foretaget en sammenligning af resultaterne af de fire metoder. Baggrund for modelberegningerne er vedlagt i bilag H.5.

3.4 Hovedundersøgelse

Ved hovedundersøgelsen er det tilstræbt at udføre mindst to boreriger udenfor skelgrænsen med ca. 12 meters afstand, hvor en skønnet fane vurderes at kunne skære denne. Såfremt der er to eller flere meget adskilte kildeområder, hvor fanerne ikke kan tænkes at overlappe, er der placeret boreriger til at fange alle faner. Forureningsoplysninger fra forundersøgelserboringerne er inddraget i denne vurdering. Om muligt er relevant placerede boreriger fra forundersøgelsen anvendt.

For at fange forureningsfanen uden for grunden placeres to boreriger i halvdelen af den skønnede fanelængde fra kilden, hvis dette giver en afstand, der er et stykke uden for skel. Fanelængden vurderes på basis af resultaterne i forundersøgelsen. Hvis borerigerne, efter ovenstående vurdering, ikke kan placeres udenfor skel, er boringsafstanden til kilden øget. Dog ikke mere end til hvad der svarer til $\frac{3}{4}$ af den skønnede forureningsfanelængde.

Borerigerne er om muligt placeret vinkelret på fanens forventede udbredelsesretning.

Ved undersøgelserne fokuseres på eventuelle forureninger med MTBE, men der er ligeledes undersøgt for total kulbrinter, C9-C10-aromater og BTEX.

Hvis forundersøgelserne har vist, at der ikke var et sammenhængende øvre grundvandsmagasin, eller hvis strømningsretningerne i magasinet har været meget varierende, er følgende ændringer gennemført:

- Lokaltet 1: Der er ikke udført faneboringer pga. meget varierende strømningsretninger. Der er udført 1 kildeboring.
- Lokaltet 7 og 9: Faneboringer placeret omkring kildeområder i skel, da der ikke blev lokaliseret et sammenhængende øvre grundvandsreservoir.
- Lokaltet 10: Der er ikke udført hovedundersøgelse, da der ikke er lokaliseret et sammenhængende grundvandsmagasin.

4 Vurdering af resultater i forhold til undersøgelseskoncept

I de følgende afsnit er erfaringerne fra de udførte undersøgelser gennemgået med udgangspunkt i konceptet, tabel 2.2. I bilag H6 er resultaterne fra de 11 lokaliteter sammenstillet i tabelform.

4.1 Potentielle forureningskilder

Før opstart af feltarbejdet er der indsamlet oplysninger om lokaliteterne. Som det fremgår af tabel 4.1 har det generelt været muligt at identificere de væsentligste, potentielle forureningskilder.

Tabel 4.1. Resume af undersøgelser. Identificerede potentielle forureningskilder.

	Lokalitet	Nr.	Rørforbindelser	Udluftningsstuds	Påfyldningstanke	Tank	Olieudskiller	Pumpeø/standere
Tidligere benzinstationer med benzinfooring	Svendborg. Odensevej 135-137	1	+	+	+	+	+	+
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	3	-	-	+	+	-	+
	Odense. Vollsrose Allé 2	5	+	-	+	+	+	+
	Odense. Dalumvej 50	6	+	-	+	+	+	+
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	7	+	+	+	+	+	+
	Bogense. Vestergade 25A	8	+	-	+	+	-	+
I alt. Tidligere benzinstationer			5	2	6	6	4	6
Lokaliseret i %.			83	33	100	100	66	100
Benzinstationer i drift	Svendborg. Odensevej 94	2	+	+	+	+	(-)	+
	Odense Hjallesvej	4	+	(-)	+	+	+	+
	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	9	+	(-)	(-)	+	+	+
	Vissenbjerg Kildebjerg Nord	10	+	(-)	+	+	+	+
	Vissenbjerg Østergade 11	11	+	(-)	+	+	(-)	+
I alt. Benzinstationer i drift			5	1	4	5	3	5
Lokaliseret i %.			100	20	80	100	60	100
I alt. Alle benzinstationer			10	3	10	11	7	11
Lokaliseret i %.			91	27	91	100	63	100
Alle benzinstationer								

+: potentiel forureningskilde lokaliseret.

-: potentiel forureningskilde ikke lokaliseret.

(-): potentiel forureningskilde ikke lokaliseret men findes højst sandsynlig.

4.2 Boringer

I tabel 4.2 er det opsummeret hvilke boringer der er udført på de forskellige lokaliteter.

Tabel 4.2 Resume af undersøgelser. Boringer.

	Lokalitet		Forundersøgelsen		Hovedundersøgelsen			Bemærkninger
	Navn	Nr.	Indledende	Supplerende	Fanefan	½ fane	Andet	
Tidligere benzinstationer med benzinfurening	Svendborg. Odensevej 135-137	1	Boring 1-3	Boring 4			Boring 5 ved kilde	Supplerende boring i forundersøgelse for afklaring af magasinforhold. Ingen faneboringer pga. varierende strømningsretning
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	3	Boring 1-3		Boring (2 og) 4	Boring 5-6		Boring 2 genbrugt som faneboring
	Odense. Vollsmose Allé 2	5	Boring 1-3		Boring 4-7	Boring 8-10		Faneboringer er udført i ¾ og 1½ gange fanelængde
	Odense. Dalumvej 50	6	Boring 1-3		Boring 4-5	Boring 6-7		Faneboringer placeret i andre afstande pga. bygninger
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	7	Boring 1-3		Boring 4-6			Boring 4 og 5 er placeret mod NØ og filtersat i øvre niveau, mens boring 6 er placeret mod S og filtersat i nedre niveau
	Bogense. Vestergade 25A	8	Boring 1-3		Boring 4-7			Boring 4 og 5 mod SV og boring 6 og 7 mod NNV pga. formodet varierende strømningsretning
Benzinstationer i drift	Svendborg. Odensevej 94	2	Boring 1-3		Boring 4-7	Boring 8-11		
	Odense Hjallesvej	4	Boring 1-3		Boring 4-5	Boring 6-8		
	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	9	Boring 1-3	Boring 4 og 6			Boring 5	Supplerende boringer i forundersøgelse for afklaring af magasinforhold. Ikke muligt at definere fane. Boring 5 er placeret for bedre dækning af lokaliteten
	Vissenbjerg Kildebjerg Nord	10	Boring 1-3					Der er ikke registreret et terrænnært magasin
	Vissenbjerg Østergade 11	11	Boring 1-3	Boring 4-5	Boring 6-7	Boring 8-9		Supplerende boringer i forundersøgelse for afklaring af magasinforhold

I forundersøgelsen er der placeret 3 boringer på alle lokaliteter. Nogle boringer har måttet flyttes af hensyn til eksisterende bygninger, veje mv. På 3 af de 11 lokaliteter er der udført 1-2 ekstra boringer i forundersøgelsen for at belyse de hydrogeologiske forhold bedre.

I hovedundersøgelsen er der på 3 af de 11 lokaliteter ikke udført egentlige boringer i fanen som følge af, at der ikke har kunnet fastlægges forureningsfaner i forundersøgelsen eller som følge af meget varierende strømningsretning. På de resterende 8 lokaliteter er der udført mellem 2 og 4 boringer i skel inden for den formodede fane. På 6 af de 8 lokaliteter er der endvidere udført mellem 2 og 4 boringer i halv fanelængde, mens der på 2 lokaliteter ikke er udført yderligere boringer i fanen på grund af varierende eller formodet varierende strømningsretning.

4.3 Analyser

I tabel 4.3 er vist en oversigt over det maksimalt påviste indhold i grundvandet på de enkelte lokaliteter ved denne undersøgelse. På lokalitet 1 er resultaterne opdelt i data fra kildeboring og fra skelboringer.

I forundersøgelsen er der generelt kun udtaget og analyseret 1 vandprøve pr. lokalitet. På 3 af de 11 lokaliteter er der ikke udført analyser i forundersøgelsen som følge af uafklarede hydrogeologiske forhold. På en enkelt lokalitet er der udført 2 analyser.

I hovedundersøgelsen er der udført analyser af vandprøver fra alle boringer udført i hovedundersøgelsen.

Tabel 4.3 Resume af undersøgelser. Analyser.

	Lokalitet		Boring nr.	MTBE	TBA	TBF	Benzen	Total kulbrinter	Afstand fra forventet kilde
	Navn	Nr.		µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	
Tidligere benzinstationer ned benzinfurening	Svendborg. Odensevej 135-137	1	5.2	3.400	24	2,8	0,2	2	Tæt på potentielle kilder. Kildeboring
			3	1,1	<0,1	<0,1	<0,02	<1	20 m fra restforurening
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	3	-	<0,1	<0,1	<0,1	<0,02	<1	-
	Odense. Vollsmose Allé 2	5	4	9.200	25		>1.400	>750*	5 m fra restforurening
			8			26			35 m fra restforurening
	Odense. Dalumvej 50	6	2	88	1,2	0,30	0,14		5 m fra tanke
			4 og 7					1	10 m fra tanke
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	7	2.2	89	0,64	0,23			3 m fra stander
			1.2				0,04		10 m fra restforurening
	Bogense. Vestergade 25A	8	5	520	9,4	2,5			15 m fra tanke
3						0,03		20 m fra tanke	
7							5	15 m fra tanke	
Benzinstationer i drift	Svendborg. Odensevej 94	2	5	3,6	<0,1	<0,1	0,04		15 m fra påfyldning
			6a og 7.2					3	5 m fra standere
	Odense Hjallesvej	4	4	0,74		<0,1	<0,02		15 m fra tanke
			8		0,1			3	40 m fra standere
	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	9	2	<0,1	0,19	<0,1	0,07		20 m fra påfyldning
			5					5	15 m fra standere
Vissenbjerg Kildebjerg Nord	10	Ingen analyser – kun udført forundersøgelse							
Vissenbjerg Østergade 11	11	6	0,24		<0,1		<1	10 m fra tanke	
		2.2		0,17		0,05		30 m fra tanke	

*: C9-C10-benzener.

4.4 Magasinforhold

Det er altafgørende for undersøgelseskonceptet, at der findes et sammenhængende magasin under lokaliteten. I tabel 4.4 er der sammenstillet en oversigt over hvordan magasinforholdene er vurderet på de enkelte lokaliteter dels på baggrund af forundersøgelsen dels efter gennemførelsen af hovedundersøgelsen.

På basis af forundersøgelsen er det vurderet, at der på 8 af de 11 lokaliteter findes et sammenhængende magasin inden for de øverste 20 m. På 3 lokaliteter er der overvejende fundet moræneler og/eller ikke sammenhængende lommer af morænesand og smeltevandssand.

På 3 af de 8 lokaliteter med forventet sammenhængende magasin er det på grundlag af hovedundersøgelsen vurderet, at der ikke er et sammen-hængende magasin alligevel. Der er således fundet sammenhængende magasin på i alt 5 lokaliteter ud af de 11.

Table 4.4. Resume af undersøgelser. Grundvandsmagasiner.

	Lokalitet	Nr.	Geologi	Vurderet efter forundersøgelsen	Vurderet efter hovedundersøgelsen
Tidligere benzinstationer med benzinforurening	Svendborg. Odensevej 135-137	1	Formentlig sammenhængende sandlag > 8 m mægtigt under 5 à 10 moræneler	Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> magasin af mere end 8 m smeltevands-sand og -grus. Ikke gennemboret	Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> magasin
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	3	Formentlig sammenhængende sandlag fra 1 til > 4 m mægtigt under 1 à 3 m overjord.	Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> magasin af smeltevandssand, ikke gennemboret ved 2 boringer	Mellemkornet smeltevandssand stedvist med indlejrede lag af moræneler. Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> magasin
	Odense. Vollsmose Allé 2	5	Formentlig sammenhængende morænesand-/moræne-gruslag >3 m mægtigt under 1 à 8 m moræneler med indslag af morænesand.	Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> magasin af morænesand og -grus (ikke gennemboret) under 7-9 m vekslende lag af sand og moræneler	Mere end 5 à 6 m morænesand og grus. Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> magasin
	Odense. Dalumvej 50	6	Formentlig sammenhængende 1 à 2 m mægtigt lag af moræne-/smeltevandssand under ca. 6 m vekslende lag af sand og moræneler.	Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> magasin (1-2 m tykt) af morænesand og smeltevandssand under ca. 7 m moræneler	Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> magasin
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	7	I > 11 m moræneler er der lokale indslag af op til 1 m mægtige sandlag i varierende dybder.	Der er <i>ikke</i> fundet et egentligt grundvandsmagasin. Hver boring er filtersat i to niveauer 1-3 m u t. og ca. 8 m u.t. i moræneler	Der er <i>ikke</i> fundet et egentligt grundvandsmagasin
	Bogense. Vestergade 25A	8	Formentlig sammenhængende sandlag fra 1 à 2 m's mægtighed under 0,5 à 2 m fyld	Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> , ca. 2 m tykt magasin af sand	1 - 2 m sand stedvist med lerede lag. Formentlig <i>sammenhængende</i> magasin
Benzinstationer i drift	Svendborg. Odensevej 94	2	Delvis horisontalt afgrænset sandlag > 12 m mægtigt under 6 à 11 m moræneler	Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> magasin af smeltevandssand, ikke gennemboret	Overvejende mellemkornet smeltevandssand med indslag af groft sand og grus. Magasinet er tilsyneladende <i>ikke</i> sammenhængende, idet sandlaget ved 1 boring næppe er i hydraulisk kontakt med magasinet i den vestlige del af området. Områderne er tilsyneladende adskilt af flage af moræneler

	Odense Hjallesvej	4	Formentlig ikke sammenhængende sandlag > 3 m mægtigt under 10 à 11 m moræner	Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> magasin af morænesand, ikke gennemboret	1,5 til 3,0 m morænesand med indslag af smeltevandssand og underlejret af moræner. Formentlig <i>ikke</i> sammenhængende
	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	9	I > 20 m moræner er der lokale ikke sammenhængende sandlag i op til 2,5 m's mægtighed	Der er <i>ikke</i> fundet et sammenhængende magasin. Boringerne er filtersat i moræner eller i tynde lag af morænesand der ligger i morænen	Der er <i>ikke</i> fundet et sammenhængende grundvandsmagasin
	Vissenbjerg Kildebjerg Nord	10	Intet sammenhængende magasin. Umættet sand i op til 20 m's dybde	Der er <i>ikke</i> fundet et sammenhængende magasin	Ikke udført
	Vissenbjerg Østergade 11	11	Delvis horisontalt afgrænset sandlag > 8 m mægtighed under 1 à 4,5 m fyld.	Tilsyneladende <i>sammenhængende</i> magasin (ikke gennemboret) af smeltevandssand i 3 boringer. Sandlaget i en 4. boring er tilsyneladende <i>adskilt</i> herfra	Der er <i>ikke</i> fundet et sammenhængende magasin under <i>høje</i> undersøgelsesområdet, men kun en afgrænset sandlomme umiddelbart under benzinstationen

4.5 Strømningsforhold i grundvandet

I tabel 4.5 er der vist en oversigt over strømningsretninger i grundvandet på de enkelte lokaliteter. Der er dels vist den forventede strømningsretning som er vurderet på baggrund af terrænforholdene, dels strømnings-retninger vurderet på baggrund af pejlinger i forundersøgelsen og i hovedundersøgelsen.

På basis af forundersøgelserne har det på 4 af de 11 lokaliteter ikke været muligt at bestemme en entydig strømningsretning. På de resterende 7 lokaliteter er der bestemt en strømningsretning på baggrund af pejleresultaterne. Kun på 3 af de 7 lokaliteter er der en rimelig overensstemmelse med den forventede strømningsretning vurderet på baggrund af topografi.

Efter gennemførelsen af hovedundersøgelsen er der på 4 af de 7 lokaliteter, hvor det på basis af forundersøgelsen var muligt at fastlægge en strømningsretning, fundet entydige strømningsretninger, som er i god overensstemmelse med resultaterne af forundersøgelsen. Disse 4 lokaliteter er samtidig blandt de 5, hvor der er fundet sammenhængende magasiner. På den sidste lokalitet med sammenhængende magasin er der fundet meget varierende strømningsretninger ved de forskellige pejlerunder.

Tabel 4.5 Resume af undersøgelser. Grundvandetets strømningsretninger.

	Lokalitet	Nr.	Forventet før forundersøgelsen	Vurderet efter forundersøgelsen	Vurderet efter hovedundersøgelsen
Tidligere benzinstationer	Svendborg. Odensevej 135-137	1	Mellem SØ og SV	Meget varierende. SØ, VSV, S og V	Meget varierende
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	3	N	NV	NV
	Odense. Vollsmose Allé 2	5	NØ	ØSØ	Mellem Ø og ØSØ

	Odense. Dalumvej 50	6	Ø	NØ	Overordnet mod NØ, men varierer lokalt pga. inhomogenitet i magasinet
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	7	Ø	Øvre filterniveau NØ, Ø og ØNØ Nedre filterniveau: S	Øvre filterniveau: SØ Nedre filterniveau: S
	Bogense. Vestergade 25A	8	SV til V	SV	S til SV
Benzinstationer i drift	Svendborg. Odensevej 94	2	Mellem SØ og SV	VSV til V	SV til V i den vestlige sammenhængende del
	Odense Hjallesevej	4	NV	SSØ til SØ	Hvis sammenhængende magasin varierer den beregnede strømningsretning 180 grader. Hvis ikke sammenhængende magasin kan strømningsretningen ikke bestemmes
	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	9	Ø til NØ	Ikke muligt at bestemme	Ikke muligt at bestemme
	Vissenbjerg Kildebjerg Nord	10	Ø	Ukendt. Der er kun registreret vandspejl i to af borerne	ikke udført
	Vissenbjerg Østergade 11	11	SØ	ØNØ	Uklart. Lokalt under lokaliteten er strømningsretningen SØ

4.6 Gradientforhold

I tabel 4.6 er vist gradientforholdene på de enkelte lokaliteter vurderet på basis af henholdsvis forundersøgelsen og hovedundersøgelsen.

På 8 af de 11 lokaliteter, hvor der på basis af forundersøgelserne blev vurderet at være et sammenhængende magasin er der bestemt en gradient på vandspejlet. På én af disse lokaliteter varierer gradienten dog en faktor 10 mellem forskellige pejlerunder.

I forbindelse med hovedundersøgelsen er der på de lokaliteter, som efterfølgende har vist sig at have sammenhængende magasin fundet gradienter, som nogenlunde svarer til gradienterne i forundersøgelsen.

Tabel 4.6. Resume af undersøgelser. Grundvandets gradientforhold.

	Lokalitet	Nr.	Vurderet efter forundersøgelsen	Vurderet efter hovedundersøgelsen
Tidligere benzinstationer med benzinforesning	Svendborg. Odensevej 135-137	1	0,8-1,1 ‰	1,5 ‰
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	3	2,0-2,6 ‰	1-2 ‰
	Odense. Vollsmose Allé 2	5	2,4 ‰	2,1-2,4 ‰
	Odense. Dalumvej 50	6	5,4 ‰	15 ‰
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	7	Øvre 8-20 ‰ Nedre 20-30 ‰	Øvre 15 ‰ Nedre 30 ‰
	Bogense. Vestergade 25A	8	11-14 ‰	15-20 ‰
Benzinstationer i drift	Svendborg. Odensevej 94	2	18-20 ‰	Ca. 0,5 ‰
	Odense Hjallesevej	4	0,7 og 7 ‰	Meget lille, usikkert bestemt

	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	9	-	-
	Vissenbjerg Kildebjerg Nord	10	-	-
	Vissenbjerg Østergade 11	11	20 ‰	10-15 ‰

4.7 Hydraulisk ledningsevne

I tabel 4.7 er vist en sammenstilling af de skønnede hydrauliske ledningsevner for de enkelte lokaliteter. På hovedparten af lokaliteterne er den hydrauliske ledningsevne skønnet på basis af en kornstørrelsesanalyse af et antal jordprøver fra magasinet. For lokaliteter med moræneprægede jordarter er der anvendt generelle erfaringstal.

På 7 lokaliteter er den hydrauliske ledningsevne skønnet på basis af 2-4 kornkurver pr. lokalitet. På 3 lokaliteter er der anvendt et generelt skøn baseret på jordtypen. En lokalitet er ikke vurderet.

Tabel 4.7 Resume af undersøgelser. Hydraulisk ledningsevne.

	Lokalitet		Hydraulisk ledningsevne	Grundlag	Bemærkninger
	Navn	Nr.	m/s	Antal prøver	
Tidligere benzinstationer med benzinfurening	Svendborg. Odensevej 135-137	1	$3-20 \times 10^{-5}$	2	Stor variation pga. varierende kornstørrelse i lagserien
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	3	$1-25 \times 10^{-5}$	2	Stor variation pga. siltrige horisonter i lagserien
	Odense. Vollsmose Allé 2	5	$1-5 \times 10^{-5}$	2	Usikkert bestemt pga. ringe sorteringsgrad
	Odense. Dalumvej 50	6	$0,1-25 \times 10^{-5}$	4	Meget stor variation pga. at magasinet består af både morænesand og smeltevandssand
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	7	Øvre $0,1 \times 10^{-5}$ Nedre $0,001 \times 10^{-5}$	-	Generelt skøn for moræneler
	Bogense. Vestergade 25A	8	$3-4 \times 10^{-5}$	2	
Benzinstationer i drift	Svendborg. Odensevej 94	2	$6-20 \times 10^{-5}$	4	Nogen variation pga. varierende kornstørrelse i lagserien
	Odense Hjallesevej	4	$0,9-12 \times 10^{-5}$	2	Usikkert bestemt pga. ringe sorteringsgrad
	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	9	$0,5 \times 10^{-5}$	-	Generelt skøn for morænesand
	Vissenbjerg Kildebjerg Nord	10	-	-	Ikke vurderet
	Vissenbjerg Østergade 11	11	5×10^{-5}	-	Generelt skøn for jordarten

4.8 Vurdering af potentielle forureningsfaner

I tabel 4.8 A er mulige fanelængder og fanebredder sammenstillet for lokaliteterne på baggrund af de forskellige vurderingsgrundlag. Fanelængder og fanebredder er vurderet på baggrund af resultaterne fra forundersøgelserne. Generelt er der benyttet erfaringsværdier fra /4/, hvis de

beregnete fanelængder på baggrund af strømningshastighed og/eller JAGG og Flowpath er vurderet større end 100 m.

Tabel 4.8 A. Oversigt over fanelængder. Enhed: m.

	Lokalitet	Nr.	Strømningshastighed*	JAGG, benzen	Flowpath, MTBE	Flowpath, benzen	Valgt fanelængde. Kortvarigt større spild	Valgt fanelængde. Længerevarende mindre spild	
Tidligere benzinstationer med benzinforsuring	Svendborg. Oden-sevej 135-137	1	120-170	Ikke vurderet pga. meget skiftende strømningsretninger			30	40	
	Svendborg. Bjer-rebyvej 100	3	110-270	80-90	>100	70	75	100	
	Odense. Volls-mose Allé 2	5	40-70	35	100	30-40	75	100	
	Odense. Da-lumvej 50	6	140-200	25	130	80	75	100	
	Kerteminde. Fyns-hovedvej 290	7	Intet sammenhængende reservoir. Boringer placeret omkring kildeområder ved skel.						
	Bogense. Ves-tergade 25A	8	400-1000	150	Simuleringer ikke gennemført		75	100	
Benzinstationer i drift	Svendborg. Odensevej 94	2	5000	875	>130	>130	75	100	
	Odense Hjallesevej	4	60	150	70	25	60	65	
	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	9	Intet sammenhængende reservoir. Boringer placeret omkring kildeområder ved skel.						
	Vissenbjerg Kildebjerg Nord	10	Der er kun gennemført forundersøgelser. Intet sammenhængende reservoir.						
	Vissenbjerg Østergade 11	11	2000	Ikke udført pga. kompliceret geologi			75	100	

*: Fanelængden er vurderet ud fra skønnet strømningshastighed.

I tabel 4.8 B er vist det konkrete valg af faner baseret på forundersøgelsen af de enkelte lokaliteter sammen med en vurdering af resultaterne af hovedundersøgelsen.

Tabel 4.8 B. Resume af undersøgelser. Forureningsfaner.

	Lokalitet		Vurdering af fane	
	Navn	Nr.	Efter forundersøgelsen	Efter hovedundersøgelsen
Tidligere benzinstationer med konstateret benzinfurening	Svendborg. Odensevej 135-137	1	På grund af varierende strømningsretning og lille strømningshastighed er der valgt ret korte fanelængder på 30-40 m og bredder på 10-15 m	Fanens placering og størrelse er ikke fastlagt og veksler sandsynligvis med de varierende strømningsretninger
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	3	Der er skønnet en fanelængde på 75-100 m og en bredde på 20-35 m (uden hensyn til variation i strømningsretning).	Der er ikke fundet MTBE eller andre former for forurening ved undersøgelsen.
	Odense. Vollsmose Allé 2	5	Der er skønnet en potentiel, teoretisk fanelængde på 75-100 m og en bredde på 25-35 m. Den "samlede" fanebredde nær skel skønnes til 60 m (uden hensyn til variation i strømningsretning)	Der er fundet MTBE i høje koncentrationer i boring 1, 4, 5 og 8 (og sandsynligvis boring 6), som ligger i fanen fra en kendt restforurening. Herudover er der kun fundet meget lave indhold af MTBE.
	Odense. Dalumvej 50	6	Der er skønnet en fanelængde på 75-100 m og en bredde på 20-30 m.	Indholdene af MTBE i boring 2, 5 og 7 på 6,2 til 29 (88) g/l er i henhold til konceptet udtryk for, at der findes grundvandsforurening under lokaliteten. Det meget lave MTBE indhold i boring 4 kunne tyde på en mere nordlig strømningsretning lokalt i området ved boring 2 og 7.
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	7	Der er ikke skønnet fanelængder pga. fraværet af et egentligt grundvandsmagasin	Der er ikke skønnet fanelængder og faneudbredelse pga. fraværet af et egentligt grundvandsmagasin. Der er registreret højest indhold af MTBE i boring 2 (øvre niveau). Denne boring er placeret meget tæt ved de tidligere standere. De øvrige fund af MTBE er lokaliseret i boring 4 og 5 NØ for kildeområdet. Der er ikke analyseret prøver fra øvre niveau V, S og SØ for kildeområdet, og da strømningsretningen i øvre niveau varierer en del, kan ikke udelukkes, at der er spredt MTBE i andre retninger end mod NØ. I nedre niveau er der fundet samme strømningsretning i alle pejlerunder, og der er fundet spor af MTBE i boringerne, som er placeret nedstrøms kilderne.
	Bogense. Vestergade 25A	8	Der er skønnet en fanelængde på 75-100 m og en bredde på 15-25 m. Den "samlede" fanebredde nær skel skønnes til 35 m (uden hensyn til variation i strømningsretning)	Indholdet af MTBE i faneboringerne 4 og 5 er et udtryk for, at der findes MTBE forurening under lokaliteten med en faneudbredelse mod SV. Den først registrerede strømningsretning mod NNV skyldes sandsynligvis, at et lag af fedt ler ved boring 3 forsinker trykudligningen i boring 3. Alle pejlinger efter 2002-07-03 viser en strømningsretning mod SV
Benzinstationer	Svendborg. Odensevej 94	2	Der er skønnet en fanelængde på 75-100 m og en bredde på 20-35 m. Den "samlede" fanebredde nær skel skønnes til 50 m (uden hensyn til variation i strømningsretning)	De fundne lave indhold af MTBE i boring 5, 6 og 8 er næppe udtryk for en sammenhængende fane, og disse lave indhold er ikke et entydigt udtryk for et spild eller lækage på lokaliteten.

	Odense Hjallesvej	4	Der er skønnet en fanelængde på 60-65 m og en bredde på 20-25 m. Den "samlede" fanebredde nær skel skønnes til 35 m (uden hensyn til variation i strømningsretning).	Der er fundet MTBE i lave koncentrationer i samtlige faneboringer. Fanen er afgrænset mod NØ af bor. 2, men da det ikke er muligt entydigt at måle strømningsretningen under lokaliteten på grund af et næsten horisontalt vandspejl med formodet skiftende strømningsretninger, kan det ikke udelukkes, at faneretningen varierer hen over året.
	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	9	Der er ikke skønnet fanelængder pga. fraværet af et egentligt grundvandsmagasin	Der er ikke skønnet fanelængder og -udbredelse pga. fraværet af et egentligt grundvandsmagasin. Der er ikke registreret forurening med MTBE
	Vissenbjerg Kildebjerg Nord	10	Der er ikke skønnet fanelængder pga. fraværet af et egentligt grundvandsmagasin	Se forundersøgelse
	Vissenbjerg Østergade 11	11	Der er skønnet en fanelængde på 75-100 m og en bredde på 15-30 m	Der er ikke fundet indhold af MTBE, som ifølge konceptet indikerer en grundvandsforurening med MTBE under lokaliteten. På grund af usikkerhed om strømningsretningen har der ikke kunnet fastlægges sandsynlige faneudbredelser

4.9 Konceptvurdering. Konklusion

I tabel 4.9 er sammenstillet konklusionen på muligheden for anvendelsen af konceptet på de enkelte lokaliteter.

Tabel 4.9. Resume af undersøgelser. Koncept.

	Lokalitet	Nr.	Konklusion
Tidligere benzinstationer med benzinfurening	Svendborg. Odensevej 135-137	1	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da strømningsretningen er meget varierende. Der er ved en kildeboring fundet kraftig forurening med MTBE, men det lave indhold af MTBE i skelboringer mod vest tyder på, at fanen ikke er lokaliseret, enten fordi den har en anden retning eller fordi fanelængden på undersøgelsestidspunktet er kortere
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	3	Konceptet er ud fra et hydrogeologisk synspunkt <i>anvendeligt</i> på den aktuelle lokalitet, da magasinet er sammenhængende og der kun er registreret lille variation i strømningsretning og gradient. Der er tidligere truffet svag forurening i jord og grundvand ved kilden, men denne er ikke verificeret ved den aktuelle undersøgelse. Hvorvidt dette skyldes, at kilden er ophørt (konceptet tager ikke højde for en "vandrende" fane) eller om forureningen er fortyndet/nedbrudt vides ikke.
	Odense. Vollsmose Allé 2	5	Konceptet må betegnes som <i>anvendeligt</i> på den aktuelle lokalitet, da magasinet er sammenhængende og der kun er registreret lille variation i strømningsretning og gradient. Herudover er der lokaliseret en forureningsfane fra en kendt restforurening på lokaliteten.
	Odense. Dalumvej 50	6	Konceptet må betegnes som <i>anvendeligt</i> på den aktuelle lokalitet, da magasinet på trods af inhomogen opbygning tilsyneladende er sammenhængende og der overordnet set er registreret stort set samme strømningsretning ved de forskellige pejlerunder.
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	7	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der ikke er et sammenhængende magasin. Det øvre grundvand er lokaliseret i moræneler, hvor der må forventes grundvandsstrømning i sprækkerne.
	Bogense. Vestergade 25A	8	Konceptet må betegnes som <i>anvendeligt</i> på den aktuelle lokalitet, da magasinet trods inhomogenitet er sammenhængende. Den først registrerede afvigende strømningsretning skyldes et langsomt reagerende pejlefilter. Der er lokaliseret en forureningsfane fra en kendt (rest)forurening på lokaliteten
Benzinstation i Svendborg.	Svendborg. Odensevej 94	2	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da magasinet ikke er sammenhængende. Herudover er der en meget lille gradient på vandspejlet vest for lokaliteten, hvilket gør bestemmelse af strømningsretning og -hastighed meget usikker

Odense Hjallelsevej	4	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der tilsyneladende ikke er et sammenhængende magasin. Herudover er der et næsten horisontalt grundvandsspejl (meget lille gradient) under og sydøst for lokaliteten. Der er fundet lave indhold af MTBE i faneboringerne. På den anden side kan det på grund af formodede skiftende strømningsretninger ikke udelukkes, at der findes en kraftigere forurening med MTBE længere mod vest og nordvest.
Vissenbjerg Kildebjerg Syd	9	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der ikke er et sammenhængende magasin, og en entydig strømningsretning i grundvandet
Vissenbjerg Kildebjerg Nord	10	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der ikke er et sammenhængende magasin, og en entydig strømningsretning i grundvandet.
Vissenbjerg Østergade 11	11	Konceptet er <i>ikke</i> anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der kun er fundet en afgrænset sandlomme umiddelbart under benzinstationen, men ikke et sammenhængende magasin under hele undersøgelsesområdet, og dermed ikke en entydig strømningsretning i grundvandet

5 MTBE - fundprocenter

5.1 Erfaringsdata fra andre undersøgelser

5.1.1 Erfaringsopsamlingen i Fyns Amt

Fyns Amts erfaringsopsamling bygger på data fra 33 undersøgelser udført af Oliebranchens Miljøpulje, 30 undersøgelser udført af Fyns Amt og 9 undersøgelser udført af andre (frivillige undersøgelser). De 9 undersøgelser udført af andre er primært igangsat på baggrund af konkret viden om forurening. De øvrige undersøgelser er ikke udført på baggrund af en speciel formodning om forurening, ud over hvad der ellers gælder for branchen. Dog viser erfaringen, at en del af de benzinstationer, der er tilmeldt OM-ordningen af branchen, er tilmeldt på baggrund af kraftige indikationer på forurening eller konstateret forurening. MTBE - fundprocenter fra Fyns Amts erfaringsopsamling er vist i tabel 5.1.

Tabel 5.1 MTBE - fundprocenter fra Fyns Amts erfaringsopsamling.

Type af undersøgelse	Lokaliteter i alt	Antal lokaliteter hvor der		
		ikke er påvist indhold	er fund 0,1 µg/l	er fund > 5 µg/l
OM grunde i alt	33	3 (9 %)	30 (91 %)	22 (67 %)
<i>OM grunde, tilmeldt af amt/kommune</i>	2	0 (0 %)	2 (100 %)	0 (0 %)
<i>OM grunde, tilmeldt af branche</i>	31	3 (10 %)	28 (90 %)	22 (71 %)
FA undersøgelse	30	7 (23 %)	23 (77 %)	16 (54 %)
Frivillig undersøgelse	9	0 (0 %)	9 (100 %)	9 (100 %)
Erfaringsopsamling i alt	72	10 (14 %)	62 (86 %)	47 (65 %)

5.1.2 Data fra Oliebranchens Miljøpulje

Oliebranchen besluttede i 2004 at genåbne Oliebranchens Miljøpulje, sådan at OM's oprydning på nedlagte benzinstationer kunne omfatte tidligere benzinrunde, som ikke allerede var tilmeldt Oliebranchens Miljøpulje. Tilbuddet gjaldt både lukkede anlæg og de anlæg i drift, der gerne ville lukke. Amterne kunne indtil 1. februar 2005 tilmelde lokaliteter, hvor der havde været detailsalg af motorbrændstoffer og hvor detailsalget af motorbrændstoffer var nedlagt senest den 1. januar 2004. Lokaliteter med detailsalg af motorbrændstoffer som var nedlagt efter 1. januar 2004 eller som blev nedlagt inden 31. marts 2005 kunne af grundejerne tilmeldes direkte til Oliebranchens Miljøpulje.

De tilmeldte ejendomme omtales i denne sammenhæng som OM-II sagerne. Branchen tilmeldte 261 sager, mens myndighederne tilmeldte 374 sager. Indsatsen på de branchetilmeldte grunde prioriteres af Oliebranchen i samarbejde med amterne. Oliebranchens Miljøpulje har i 2006 udarbejdet et status notat omkring MTBE fund på OM-II sager /7/.

Der er på 229 af de branchetilmeldte grunde gennemført undersøgelser med udtagning og analyse af vandprøver for indhold af MTBE. De udførte undersøgelser viser at der på 48 % af lokaliteterne er påvist indhold af MTBE i grundvandet over grænseværdien (109 lokaliteter). For de øvrige lokaliteter

fremgår det ikke af notatet, om der ved undersøgelserne er påvist et indhold mellem detektionsgrænsen og grundvandskriteriet (5 µg/l) eller om der ikke er påvist indhold af MTBE i grundvandet ved de pågældende lokaliteter, /7/.

Ved undersøgelserne er borerne typisk placeret umiddelbart ved og omkring kildeområderne, dvs. som udgangspunkt inde på grunden. MTBE fundprocenterne for OM-II grundene er vist i tabel 5.2.

Tabel 5.2 MTBE - fundprocenter fra OM – II grunde, /7/.

	Antal lokaliteter i alt	Antal lokaliteter hvor der		
		ikke er påvist indhold	er fund 0,1 µg/l	er fund > 5 µg/l
OM – II sager	229	*	*	109 (48 %)

*: Data er ikke opgjort så feltet kan udfyldes.

5.2 Data fra denne undersøgelse

5.2.1 Tidligere benzinstationer med konstateret benzinfurening

Der er gennemført undersøgelser på 6 tidligere benzinstationer, hvor OM har konstateret benzinfurening. På 5 af stationerne er der påvist MTBE, og på alle 5 stationer er det påviste indhold af MTBE over grundvands-kriteriet på 5 µg/l. På 1 af stationerne er MTBE-indholdet påvist i en boring udført tæt på en potentiel kilde. Hvis der ses bort fra denne boring, og der kun medtages resultater fra borer udført udenfor lokaliteterne, er der påvist MTBE over 5 µg/l på 4 af de 6 lokaliteter svarende til 67 %. På 3 af de 4 lokaliteter, hvor der blev påvist MTBE over 5 µg/l, vurderes den hydrogeologiske del af konceptet at være opfyldt. På disse lokaliteter har der været mindre justeringer i forhold til den i konceptet optimale boringsplacering.

Tabel 5.3 MTBE-fundprocenter på tidligere benzinstationer.

	Antal lokaliteter i alt	Antal lokaliteter hvor der		
		ikke er påvist indhold	er fund 0,1 µg/l	er fund > 5 µg/l
Inkl. kildeboring på lokalitet 1	6	1 (17 %)	5 (83 %)	5 (83 %)
Ekskl. kildeboring på lokalitet 1	6	1 (17 %)	5 (83 %)	4 (67 %)

Antallet af benzinstationer, hvor der er påvist MTBE ved denne undersøgelse, er således af samme størrelsesorden som den tidligere erfaringsopsamling fra Fyns Amt, uanset om forudsætningerne for undersøgelserne er forskellige, se afsnit 5.1.1.

På én lokalitet er der ikke påvist forurening med MTBE eller kulbrinter, udenfor ejendommen. Ved forureningsundersøgelser i 1993 og 1996 blev der i borer ved tankanlægget påvist jord- og grundvandsforurening med kulbrinter. Resultaterne af de dengang udførte undersøgelser indikerede, at der ikke er risiko for uacceptabel forureningspåvirkning af grundvandet med kulbrinter. Ved de tidligere undersøgelser blev der ikke analyseret for indhold af MTBE i grundvandet. På baggrund af undersøgelserne blev det besluttet ikke at udføre oprensning af forureningen.

På de øvrige 5 benzinstationer, hvor OM tidligere har konstateret benzinfurening, er der endvidere påvist TBA og TBF (nedbrydningsprodukter af MTBE) samt benzen og totalkulbrinter. Indholdet af benzen og totalkulbrinter overskrider dog kun grundvandskvalitetskriterierne på én benzinstation.

5.2.2 Benzinstationer i drift

På de 4 benzinstationer i drift (2002/2003), hvor der er udført en hovedundersøgelse, er der påvist MTBE på 3 af stationerne, svarende til en fundprocent på 75. Alle de påviste indhold er mindre end grundvandskvalitetskriteriet på 5 µg/l.

Ved de tre hovedundersøgelser, er der i boringer udenfor benzinstationerne, påvist et maksimalt indhold af MTBE på henholdsvis 3,6 µg/l, 0,7 µg/l og 0,24 µg/l. I disse tre sager er der i alt analyseret 16 vandprøver fra boringer placeret umiddelbart udenfor benzinstationen/skel, såvel opstrøm som nedstrøm. I disse vandprøver er der påvist MTBE i 7 vandprøver, svarende til 44 %. I denne opgørelse indgår kun data fra faneboringerne, hvis de er placeret umiddelbart udenfor benzinstationen eller i skel til benzinstationen.

I boringer udenfor de 4 stationer, er der i grundvandet også påvist et indhold af en eller flere af følgende komponenter/forbindelser: TBA, benzen og/eller total kulbrinter. På den sidste station er der påvist små indhold af TBA, total kulbrinter og benzen. Der er ikke påvist TBF på de 4 stationer.

Tabel 5.4 MTBE-fundprocenter på benzinstationer i drift i 2002/2003.

	Antal lokaliteter i alt	Antal lokaliteter hvor der		
		ikke er påvist indhold	er fund 0,1 µg/l	er fund > 5 µg/l
Benzinstationer i drift	4	1 (25 %)	3 (75 %)	0 (0 %)

Endelig skal det nævnes, at der på Hjallesvej i Odense er lagt en benzinoelieb Bestandig PVC-folie i bunden af udgravningen for benzinanlægget. På trods af denne foranstaltning er der i 5 ud af 6 boringer på denne lokalitet påvist MTBE i grundvandet.

Ved denne undersøgelse, er der således på 3 ud af 4 benzinstationer i drift (2002/2003), påvist et indhold af MTBE i grundvandet, i området udenfor benzinstationen. Alle de påviste indhold er mindre end grundvandskvalitetskriteriet på 5 µg/l. I projektet har det været diskuteret hvorledes et indhold af MTBE i grundvandet, på dette niveau, udenfor benzinstationen skal tolkes.

Udgangspunktet for tolkningen af analysedata må være, at et "naturligt" baggrundsniveau for indhold af MTBE i grundvandet er 0 µg/l, eller i praksis mindre end analysemetodernes detektionsgrænse. Grundvandsovervågningen, for perioden 1998 – 2003, viser at MTBE kun i begrænset omfang træffes i de 70 grundvandsovervågningsområder /8/. For den samme periode, viser vandværkernes boringskontrol, et lidt hyppigere omfang, /8/. Data fra grundvandsovervågningen er vist i tabel 5.5.

Tabel 5.5 Data fra grundvandsovervågningen, MTBE-fund i perioden 1993-2003, /8/.

	Analyser		Indtag fra filter		Over grænseværdien ³ , %
	total antal ¹	Fund antal	antal analyse ²	antal fund (%)	
Grundvandsovervågningen, 1993-2003	464	9	298	6 (2%)	0,3
Vandværkernes boringskontrol, 1993-2003	2328	211	1872	116 (6.2 %)	0,4

Note 1: Det total antal analyser. Der kan godt være udtaget mere end en prøver fra sammen boring/filterinterval.

Note 2: Antallet af boringer/filterintervaller hvor der er udtaget vandprøver til analyse.

Note 3: Her anvendes grænseværdien for drikkevand.

I tidligere udredningsprojekter omkring MTBE /9/, er det anført, at MTBE tilføres omgivelserne diffust, bl.a. ved karburatortab og i forbindelse med tankning af biler. Fra atmosfæren udbredes MTBE til overfladevand og jord/grundvand. Den diffuse spredning giver anledning til koncentrationer i overfladevand eller grundvand på brøkdele af mikrogram pr. liter til nogle få mikrogram pr. liter. Endvidere kan MTBE tilføres jord og grundvand fra punktkilder som utætte tankanlæg, spild og utætte ledninger, herunder kloakledninger /9/. I relation til atmosfærisk spredning af MTBE, sker der en fotokemisk nedbrydning, med en halveringstid på mellem 3 og 6 dage /10/.

De aktuelt påviste indhold af MTBE i grundvandet, udenfor de tre benzinstationer, varierer mellem 0,1 µg/l og 3,6 µg/l. Med baggrund i data fra grundvandsovervågningen vurderes det, at de aktuelle data ikke er udtryk for en generel atmosfærisk diffus spredning af MTBE til grundvandsmagasinerne. Fundhyppighederne ved de aktuelle undersøgelserne af benzinstationerne, og en enkelte af de påviste koncentrationer, er langt større end hvad der ses for grundvandet på landsplan som helhed.

En undersøgelse af andre mulige nærliggende kilder til MTBE forureningen af det øvre grundvand ved de pågældende fire benzinstationer viser, at de pågældende benzinstationer er de mest sandsynlige kilder. I området omkring to af de fire stationer findes der en række muligt forurenede og forurenede lokaliteter, bl.a. autoværksteder og andre benzin- og servicestationer. På baggrund af driftsperiode, undersøgelsesresultater og placeringen af de andre lokaliteter vurderes de dog ikke at være relevante som punktkilder i forhold til denne undersøgelse.

Den påviste svage forurening med MTBE i grundvandet må således tilskrives den umiddelbart nærliggende drift af benzinstation. Om spredning til grundvandsmagasinet ved de enkelte benzinstationer er sket som følge af utætheder i tanke og anlæg, deciderede spild på terræn eller ved udsivning fra utætte kloaker er ikke muligt at vurdere. Men ovenstående indikerer at det med rimelig sikkerhed kan knyttes en forbindelse mellem den påviste grundvandsforurening og driften af de enkelte benzinstationer.

5.3 Status for antal benzinstationer i Danmark

Som led i projektet, har Oliebranchens Miljøpulje vurderet antallet af benzinstationer i drift efter 1985, svarende til tidspunktet for indførelse af MTBE i dansk benzin, /11/. OM's vurdering af antallet af benzinstationer i drift efter 1985 er vist i tabel 5.6.

Tabel 5.6 Antal benzinstationer i drift efter 1985, vurderet af OM, /11/.

Kategori, benzinsalgslanlæg	Vurderet antal anlæg i drift efter 1985	Bemærkninger
Idriftværende benzinstationer pr. ultimo 2005	2.034	Langt de fleste anlæg er opgraderet iht. benzinstationsbekendtgørelsen
OM2, branchetilmeldte anlæg. Alle 257 stationer er tilmeldt inden 1-2-05, var i drift 1-1-04 og er lukket senest 1-4-05	257	Langt de fleste er ikke opgraderet iht. benzinstationsbekendtgørelsen. På en del anlæg er der konstateret forurening før tilmelding
OM2, offentlig tilmeldte anlæg. Stationerne er tilmeldt inden 1-2-05 og lukket før 1-1-04. Der er både tale om nyere anlæg og gamle anlæg, der ikke kom med ved den tidligere OM1-tilmeldelse – omkring ca. 50 % i hver kategori.	Ca. 200	Størstedelen er ikke opgraderet iht. benzinstationsbekendtgørelsen. På en del anlæg er der konstateret forurening før lukning og tilmelding
OM1, branchetilmeldte anlæg. Alle 863 stationer er tilmeldt inden 1-1-96, var i drift efter 1-10-91 og er efterfølgende lukket	863	Ikke opgraderet iht. benzinstationsbekendtgørelsen. Mange gamle og utidssvarende anlæg. På en del anlæg er der konstateret forurening før tilmelding
OM1, offentlig tilmeldte anlæg. De ca. 8.500 stationer er tilmeldt inden 1-4-99 og er lukket før 1-10-91. Det vurderes, at maksimalt 7 % af anlæggene har været i drift efter 1985	Under 600	Gamle og utidssvarende anlæg. På en del anlæg er der konstateret forurening før lukning og tilmelding
Øvrige anlæg, lukket 1-2-05 til 31-12-05 eller andre anlæg, der ikke er OM-tilmeldte	Ganske få	-
Samlet antal benzinsalgslanlæg, i drift efter 1985	Under 4.000	-

Med baggrund i data fra OM kan det skønnes at der på landsplan er ca. 4000 benzinstationer der har håndteret benzin indeholdende MTBE. Det bemærkes at antallet er meget følsom for den foretagne vurdering under de offentlige tilmeldte OM1-anlæg. Ændres skønnet til 25 %, vil antallet af benzinstationer, der har anvendt benzin indeholdende MTBE, forøges med ca. 1.500.

I gruppen af idriftværende benzinstationer, er det bemærket at langt de fleste anlæg er opgraderet i henholdt til benzinstationsbekendtgørelsen. Bekendtgørelsen blev udsendt i 2001, med en overgangsordning for eksisterende anlæg, for hvilken bekendtgørelsen senest skal være implementeret ultimo 2007, afhængig af benzinstationens samlede årlige salg af benzin og diesel, /12/. Som udgangspunkt er der derfor også en potentiel risiko for MTBE forurening ved disse benzinstationer.

5.4 Opskalering af undersøgelsesresultaterne

MTBE fundprocenterne fra de aktuelle undersøgelser er, i tabel 5.7, sammenstillet med de øvrige præsenterede fundprocenter, beskrevet i afsnit 5. Det bemærkes at forudsætningerne for de enkelte undersøgelser ikke nødvendigvis er sammenfaldende, jf. afsnit 5.1 og 5.2.

Tabel 5.7 MTBE fundresultater, på tværs, uanset at forudsætningerne er forskellige for de enkelte undersøgelser mv.

Type af undersøgelse	Lokaliteter i alt	Antal lokaliteter hvor der			
		ikke er påvist indhold	er fund 0,1 µg/l	er fund > 5 µg/l	
Data fra erfaringssammenligning	OM grunde i alt	33	3 (9 %)	30 (91 %)	22 (67 %)
	OM grunde, tilmeldt af amt/kommune	2	0 (0%)	2 (100 %)	0 (0 %)

	<i>OM grunde, tilmeldt af branche</i>	31	3 (10 %)	28 (90 %)	22 (71 %)
	FA undersøgelse	30	7 (23 %)	23 (77 %)	16 (54 %)
	Frivillig undersøgelse	9	0 (0 %)	9 (100 %)	9 (100 %)
	Erfaringsopsamling i alt	72	10 (14 %)	62 (86 %)	47 (65 %)
OMs data, afsnit 5.1.	OM – II sager	229	*	*	109 (48 %)
Denne undersøgelse, afsnit 5.2	Tidligere benzinstationer ²	6	1 (17 %)	5 (83 %)	5 (83 %)
	Tidligere benzinstationer ³	6	1 (17 %)	5 (83 %)	4 (67 %)
	Benzinstationer i drift (2002/2003)	4	1 (25 %)	3 (75 %)	0 (0 %)

*: Data er ikke opgjort så fel tet kan udfyldes.

Note 2: Inkl. kildeboring på lokalitet 1.

Note 3: Ekskl. kildeboring på lokalitet 1.

De sammenstillede undersøgelsesdata for benzinstationer der ikke længere er i drift viser, uanset om undersøgelsesforudsætninger er forskellige, at sandsynlighed for at træffe MTBE i det underliggende grundvand, på et niveau større end grundvandskriteriet på 5 µg/l, er i størrelsesordenen 50 % eller mere. For denne gruppe af benzinstationer indikerer undersøgelsesdata ligeledes, at der er en meget stor sandsynlighed for at der vil kunne påvises MTBE på lavt niveau i grundvandet, svarende til niveauet mellem detektionsgrænsen og grundvandskriteriet.

Ved den aktuelle undersøgelse er der gennemført undersøgelse af 4 benzinstationer i drift. På disse benzinstationer er der udelukkende foretaget undersøgelser af grundvandet udenfor de enkelte lokaliteter. På ingen af disse fire lokaliteter, er der ved undersøgelse af grundvandet udenfor lokaliteten, påvist et indhold af MTBE i grundvandet, i et niveau større end grundvandskriteriet på 5 µg/l. Derimod er der i grundvandet udenfor benzinstationerne, i 3 ud af 4 undersøgelser, påvist et indhold af MTBE i grundvandet på lavt niveau, svarende til niveauet mellem detektionsgrænsen og grundvandskriteriet.

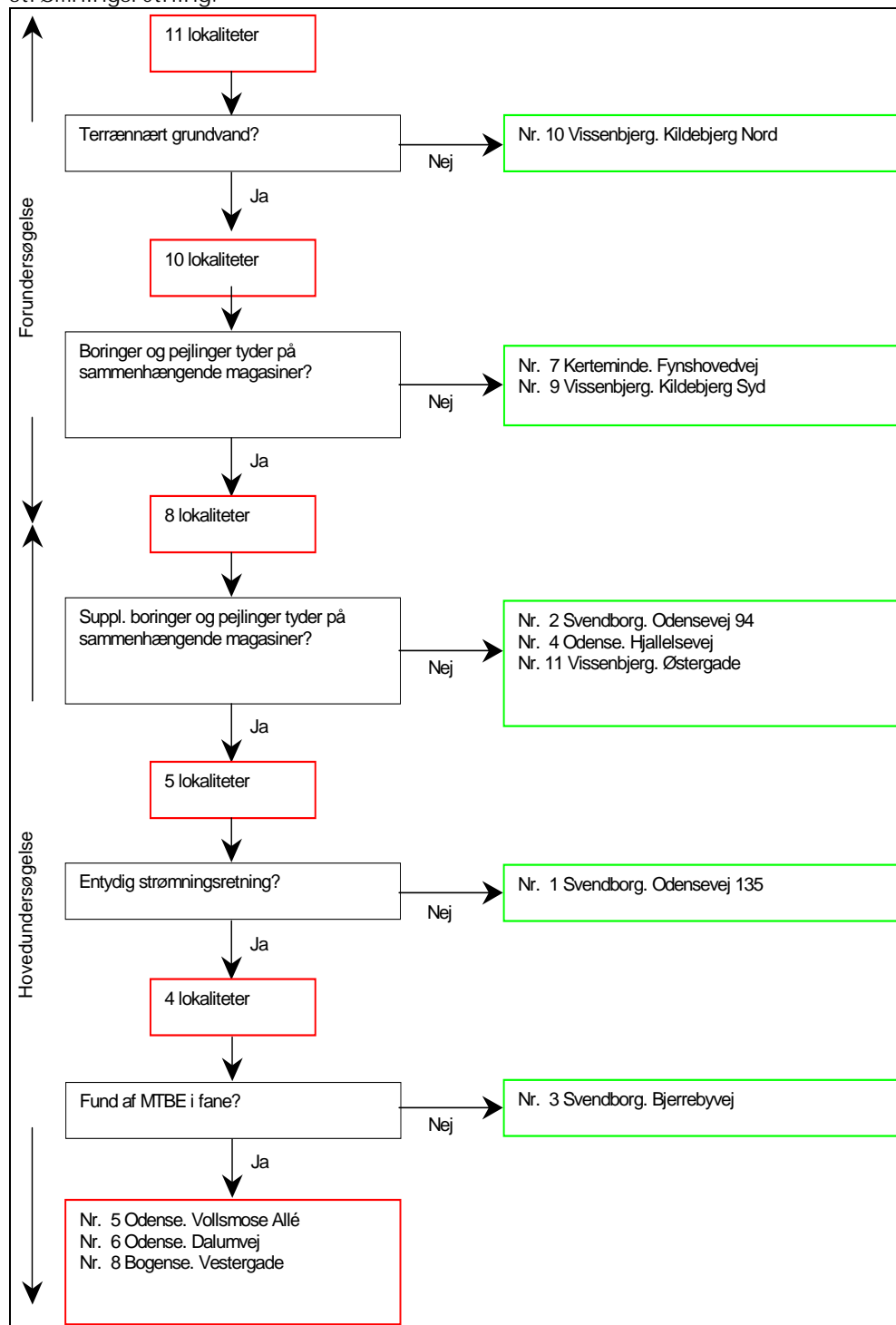
Ved vurdering af grundvandsforureninger på lavt niveau er det naturligvis vigtigt at overveje om den påviste grundvandsforurening er relateret til den konkrete kilde, eller om den kan relateres til andre potentielle kilder i området, eller kan være forårsaget af en diffus forureningsspredning. For de 3 benzinstationer i drift, undersøgt ved denne undersøgelse, er tilstedeværelsen af andre kilder mv. inddraget i vurderingen. På baggrund af dette vurderes det, at de pågældende benzinstationer er de mest sandsynlige kilder til den påviste MTBE forurening af grundvandet udenfor benzinstationerne.

Sammenfattende viser undersøgelserne at der er meget stor sandsynlighed for at påvise MTBE i grundvandet ved tidligere benzinstationer, der har håndteret MTBE-holdigt benzin. For benzinstationer i drift (2002/2003), er datamaterialet meget spinkelt, hvorfor der næppe kan konkluderes noget generelt.

6 Forslag til ændringer af koncept

Det er en helt afgørende forudsætning for undersøgelseskonceptet, at der under lokaliteten findes et sammenhængende sandmagasin med entydig strømning. Dette har kun været tilfældet på 4 af de 11 lokaliteter jf. fig. 6.1.

Figur 6.1. Oversigt over lokaliteter med sammenhængende magasin og entydig strømning.



Det er derfor vigtigt, at indsatsen koncentrerer om - på så tidligt et tidspunkt i undersøgelsesforløbet som muligt - at få verificeret hvorvidt der på en given lokalitet findes et sammenhængende sandmagasin med ensartet strømningsretning, således at der ikke bruges unødvendige ressourcer på analyser mv.

Af tabel 6.1 fremgår det, at på de lokaliteter, hvor den fundne "strømningsretning" på basis forundersøgelserne afviger væsentligt (60-70 kompasgrader) fra den forventede strømningsretning på basis af terrænforholdene, er der i intet tilfælde fundet et sammenhængende sandmagasin med ensartet strømningsretning. Derfor kan undersøgelserne i henhold til konceptet standses på disse lokaliteter på dette tidspunkt, hvor der er udført 3 borer og eksempelvis 3 pejlerunder. Dette ville have været tilfældet for 3 lokaliteter ud af de 11. På yderligere 3 lokaliteter er der ikke truffet sand i alle de 3 borer i forundersøgelsen, så også disse lokaliteter kunne "konceptundersøgelserne" standses på dette indledende tidspunkt.

Tabel 6.1 Grundvandets strømningsretning ctr. sammenhængende magasin

	Lokalitet	Nr.	Strømningsretning		Sammenhængende sandmagasin med entydig strømningsretning
			Forventet før forundersøgelsen	Vurderet efter forundersøgelsen	
Tidligere benzinstationer med benzinforurening	Svendborg. Odensevej 135-137	1	Mellem SØ og SV	Meget varierende. SØ, VSV, S og V	Nej
	Svendborg. Bjerrebyvej 100	3	N	NV	Ja
	Odense. Vollsmose Allé 2	5	NØ	ØSØ	Ja
	Odense. Dalumvej 50	6	Ø	NØ	Ja
	Kerteminde. Fynshovedvej 290	7	Ø	Øvre filterniveau NØ, Ø og ØNØ Nedre filterniveau: S	Nej
	Bogense. Vestergade 25A	8	SV til V	SV	Ja
Benzinstationer i drift	Svendborg. Odensevej 94	2	Mellem SØ og SV	VSV til V	Nej
	Odense Hjallesøvej	4	NV	SSØ til SØ	Nej
	Vissenbjerg Kildebjerg Syd	9	Ø til NØ	Ikke muligt at bestemme	Nej
	Vissenbjerg Kildebjerg Nord	10	Ø	Ukendt. Der er kun registreret vandspejl i to af borerne	Nej
	Vissenbjerg Østergade 11	11	SØ	ØNØ	Nej

Dette levner 5 lokaliteter, hvor hovedundersøgelsen skulle gennemføres, og hvor denne efterfølgende viste, at der på alle lokaliteter var et sammenhængende sandmagasin, og hvor der på de 4 var en entydig strømningsretning.

På de lokaliteter, hvor der findes rimelig overensstemmelse mellem forventet strømningsretning på basis af terrænforhold og strømningsretningen vurderet på basis af forundersøgelsens 3 borer og 3 pejlerunder, kunne forekomsten af et sammenhængende magasin verificeres ved at forundersøgelsen suppleres med yderligere 3 borer (2 i strømningsretningen og 1 kildeboring) sammen

med yderligere 2 pejlerunder. Først herefter udtages vandprøver til analyse og behovet for yderligere boringer vurderes.

Undersøgelingsstrategien bliver således:

1. Lokalisering af kilder.
2. Vurdering af strømningsretning baseret på terrænhældning.
3. Udførelse af 3 filtersatte boringer i øverste grundvand i sandmagasin.
4. Udførelse af 3 pejlerunder.
5. Vurdering af strømningsretning og sammenligning med forventede.

Såfremt der enten ikke træffes vandmættet sand i alle 3 boringer eller der er væsentlig afvigelse mellem forventet og registreret strømningsretning standses "konceptundersøgelserne" og der tilrettelægges individuelle videregående undersøgelser på lokaliteten. På øvrige lokaliteter forsættes:

6. Udførelse af 3 supplerende, filtersatte boringer (2 i strømningsretningen og 1 boring på lokaliteten til understøttelse af den geologiske model).
7. Udførelse af 2 supplerende pejlerunder.
8. Vurdering af variationer i strømningsretning, gradient, hydraulisk ledningsevne, magasinforhold og strømningshastighed.
9. Vurdering af forureningsfanen på baggrund af erfaringstal og strømningshastighed.

Såfremt den supplerende forundersøgelse bekræfter tilstedeværelsen af et sammenhængende sandmagasin med entydig strømningsretning udføres hovedundersøgelsen med analyser af vandprøver etc. idet det tilstræbes at have 4 boringer i fanen i alt.

7 Referencer

- /1/ Miljøstyrelsen. Miljøprojekt nr. 483. 1999. Afværgeteknikker for MTBE-forurenet grundvand.
- /2/ Miljøstyrelsen. 1998a. Handlingsplan for MTBE. Miljø- og Energiministeriet.
- /3/ ATV-møde. MTBE – et stof som truer drikkevandet. Indlæg af Erik Arvin og Kim Broholm. MTBEs skæbne i jord og grundvand. Schæffergården. 30. april 2003.
- /4/ DHI og Niras AS: Undersøgelserprogram for grundvandsforurening fra benzinstationer.
- /5/ Oliebranchens Fælles Repræsentation. Oliefraktioneringsprojekt. 2000.
- /6/ ATV-vintermøde 2001. Hvor ofte findes MTBE og i hvilke koncentrationer? En opsamling af resultater fra Fyns Amt. Opdateret med tal fra 2003 oplyst af Fyns amt.
- /7/ Oliebranchens Miljøpulje. Opgørelse over MTBE fund på OM II sager. Juni 2006.
- /8/ GEUS. Grundvandsovervågning 1998-2003. 1. december 2004.
- /9/ Miljøstyrelsen 1999. Afværgeteknikker for MTBE-forurenet grundvand. Vurderinger baseret på et litteraturstudie. Miljøprojekt 483, 1999
- /10/ EPA. Chemical summary for Methyl-Tert-Butyl Ether. Office of Pollution Prevention and Toxics. U.S. Environmental Protection Agency. August 1994.
- /11/ Oplysninger fra Oliebranchens Miljøpulje til Miljøstyrelsen, sendt med mail den 27.10.2006
- /12/ Miljø- og Energiministeriets bekendtgørelse nr. 555 af den 9. juni 2001, om forebyggelse af jord- og grundvandsforurening fra benzin- og dieselsalgsanlæg bekendtgørelse om forebyggelse af jord- og grundvandsforurening fra benzin- og dieselsalgsanlæg.

Forureningstransport i moræneler

Forureningstransport i moræneler har op gennem 1990'erne været underkastet intens forskning, blandt andet i forbindelse med pesticidforskningen /2, 3/. Grunden til dette er, at moræneler før i tiden var betragtet som en god barriere mod nedsivning af forurening til underliggende grundvandsmagasiner. Denne evne som grundvandsbeskytter har været genstand for megen diskussion de senere år, hvor man har erkendt tilstedeværelsen af makroporer (sprækker, rodgange og gravegange), og efterhånden er man kommet tættere på forståelsen af transportmekanismerne.

De efterfølgende betragtninger bygger således på resultaterne af en række forsøg med intakte blokke af moræneler /1/. Der er udført 23 hydrauliske forsøg med blokke af moræneler med en diameter på 0,5 m og en højde på 0,5-1,0 m. Blokkene er udtaget på 8 forskellige lokaliteter, der skønnes at repræsentere variationen af normal moræneler i Danmark. Morænerne har et lerindhold på mellem 10% og 22%, og det øverste vandspejl varierer mellem 0 og 1,5 m under terræn i vinterperioden og mellem 2 og 4 m under terræn i sommerperioden.

På alle lokaliteter er de øverste 3-7 m af profilerne præget af synlige makroporer. I den oxiderede zone, som udgør de øverste 3-4,5 m er forekomsten af makroporer meget høj (indtil flere hundrede pr. m²), mens makroporer i den reducerede zone forekommer spredt i grupper med en afstand på mere end 10 m.

Der er målt høje hydrauliske ledningsevner i de øverste par meter af profilerne, jf. fig. 1. I den oxiderede zone aftager den hydrauliske ledningsevne typisk fra 10⁻⁵ m/s nær terræn til 10⁻⁷ m/s ved overgangen til den reducerede zone, hvor ledningsevnen aftager yderligere med dybden til ca. 10⁻⁹ m/s i 6-7 meters dybde.

Fig. 1. Bulk hydraulisk ledningsevne
 X-akse: Hydraulisk ledningsevne (m/s)
 Y-akse: Dybde (m)

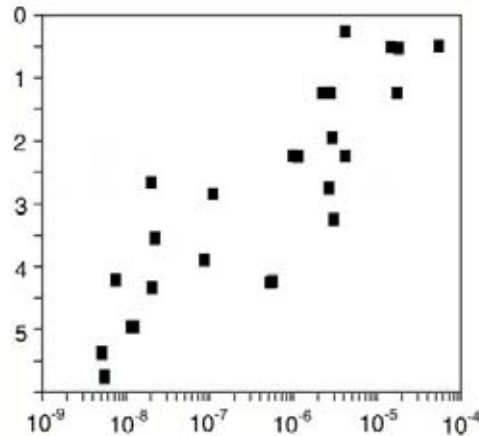
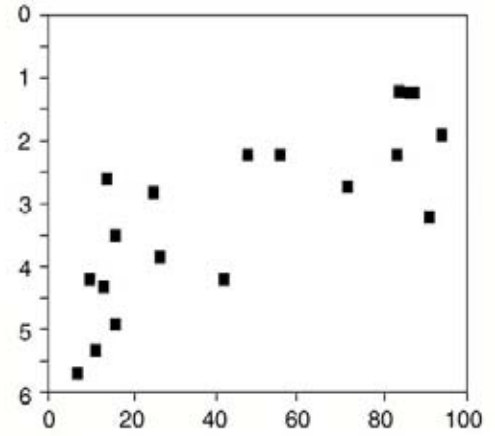


Fig. 2. Beregnet sprækkeåperture
 X-akse: Beregnet sprækkeåperture (μm)
 Y-akse: Dybde (m)



Figurer fra /1/

Ved hjælp af kendskab til antallet af sprækker kan sprækkernes åbning (sprækkeåperture) beregnes som vist på fig. 2. Heraf ses det, at åbningen aftager med dybden fra 60-90 μm nærmest terræn til 7-16 μm i 6-7 meters dybde. Konsekvensen af de mange og store makroporer nær terræn er, at strømning i alt væsentligt foregår i makroporerne. Af fig. 3 ses at typisk 96-99 % af strømningen i de øverste 3-4 m foregår i makroporerne, mens denne andel falder til ca. 60 % i 6-7 meters dybde. Da makroporerne trods det høje antal i den øverste zone kun udgør en lille del af totalvolumenet, idet makroporeporøsiteten er typisk mindre end 0,1 %, se fig. 4, kan strømningshastighederne i de øvre morænelerslag - afhængig af gradienten - blive op til 10-100 m/døgn.

Fig. 3. Vandstrømning i matrix i % af total flow
 X-akse: Vandstrømning i % af total flow
 Y-akse: Dybde (m)

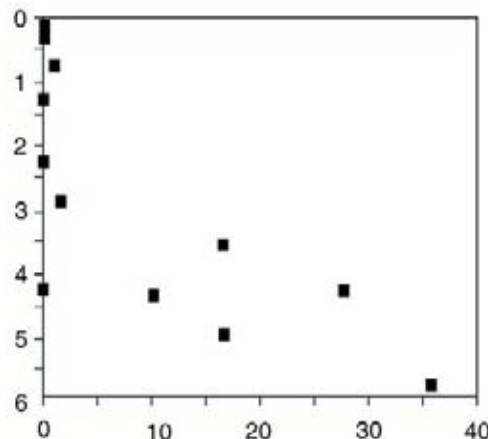
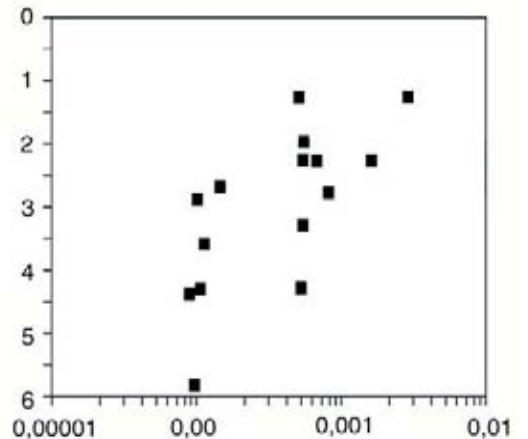


Fig. 4. Makropore porøsitet
 X-akse: Makroporeporøsitet (-)

Y-akse: Dybde (m)



Figurer fra /1/

Sammenlignet med strømningshastigheden vil transporten af opløste stoffer i makroporerne normalt være langsommere. Dette skyldes molekylær diffusion af stofferne ind i lermatricen omkring makroporerne. Hertil kommer tilbageholdelse og nedbrydning af stofferne ved kemiske og biologiske processer. Forsøg med konservative tracere som klorid og bromid, viser at transporthastigheden af disse stoffer er en faktor ca. 40 lavere end strømningshastigheden /4/.

Samlet set er betydningen af disse forhold, at i vinterperioden, hvor grundvandsstanden er høj og makroporerne i den øvre, højpermeable del af moræneleret er vandmættede, er der risiko for hurtig, lateral spredning af forurening, mens den vertikale forureningsspredning er begrænset af den hurtigt aftagende hydrauliske ledningsevne under 6-7 meters dybde. Den laterale strømning kan til gengæld føre til forureningsspredning til dræn, vandløb og eventuelle "vinduer" af sand i morænen. I sommer-perioden, hvor grundvandsstanden er lav og makroporerne i den øvre, højpermeable del af moræneleret ikke er vandmættede er risikoen for vertikal forureningsspredning selvsagt lille.

Som eksempel kan betragtes en øvre moræne med en hydraulisk ledningsevne på 1×10^{-6} m/s, en makroporeporøsitet på mellem 1 % og 0,1 % og en vandspejlsgradient på 1 %. Den laterale strømningshastighed vil under disse forhold være mellem 30 og 300 m/år, og den tilsvarende stoftransporthastighed af en konservativ tracer vil være mellem 1 og 10 m/år. Hertil kommer betydningen af nedbrydning. Den lodrette strømningshastighed vil i 10 meters dybde formentlig være mindre end 0,1 m pr. år, idet strømmingen her må antages at forekomme som strømning gennem lermatrix.

Referencer

- /1/ Jørgensen, P. R., Baumann, Jens, Helstrup, T., Urup, J., Butzbach, K.: Hydraulik i sprækket ler- karakteristisk af 8 danske morænelerslokaliteter. Geologisk Nyt 2/98.
- /2/ ATV-vintermøde 2006. Knud Erik Klint, Danmarks og Grønlands Geologiske Undersøgelse. Karakterisering og forureningstransport i moræneler.
- /3/ Jørgensen, P.R., m.fl. Point and non-point source leaching of pesticides in a till groundwater catchment. Bekæmpelsesmiddelforskning fra Miljøstyrelsen no.52. 2000.
- /4/ Jørgensen, P.R., m.fl. Evaluation of chloride and pesticide transport in a fractured clayey till using large undisturbed columns and numerical modeling. Water Resours. Res., 34, no. 4, 1998, 539-553.

Fanetrykning

Fanetrykning er et fænomen, som er meget omtalt, men som ikke er særligt godt dokumenteret/beskrevet ud fra feltnålinger. GEO har ikke erfaring for, at der tydeligt kan erkendes fanetrykning i olieforurenings-sager, og vi mener, at variationer i inhomogeniteter i magasinets geologi i mange tilfælde vil have større betydning for forureningsspredningen end fanetrykning.

I projektet "Metoder til udpegning af indvindingsoplande" /1/ er der beskrevet en simpel formel til en grov beregning af afstanden fra en kildeplads til en boring:

$$x = (z \cdot T \cdot i) / (N \cdot b) = (z \cdot k \cdot i) / N,$$

hvor:

- x = afstanden fra kildeplads til boring.
- z = den vertikale afstand fra grundvandsspejl til top filter (frit magasin) eller fra top magasin til top filter (spændt magasin).
- i = den hydrauliske gradient.
- T = magasinets transmissivitet.
- N = nettoinfiltrationen til det aktuelle grundvandsmagasin.
- b = tykkelsen af grundvandsmagasinet.
- k = magasinets hydrauliske ledningsevne.

Ved at bruge formelen "omvendt" er det muligt at få et simpelt udtryk for fanetrykningen (z) som funktion af afstanden fra forureningskilde til boring (x). Der gælder i dette tilfælde:

$$z = (N \cdot x) / (k \cdot i)$$

Størrelsen af en eventuel fanetrykning kan illustreres ved at indsætte aktuelle værdier fra et par af de aktuelle lokaliteter:

	Symbol	Enhed	Lokalitet 2 (stor gvs- hastighed)	Lokalitet 4 (lille gvs- hastighed)
Afstand fra kildeplads til boring (her afst. fra forureningskilde til boring)	x	m	60	50
Hydraulisk ledningsevne	k	m/s	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$
Hydraulisk gradient	i	-	0,019	0,001
Nettoinfiltration til aktuelt grundvandsmagasin	N	mm/år	50	250
Afstand top-magasin til filter (her lig fanetrykning)	z	m	0,04	8,0

Det ses, at der er meget stor forskel på fanetrykningens størrelse. Hvor grundvandshastigheden er lille (lokalitet 4) og nettoinfiltrationen er stor fås en endog meget stor fanetrykning, mens fanetrykning er uden betydning ved store grundvandshastigheder (lokalitet 2) og en lille nettoinfiltration.

Aktuelt skal man være opmærksom på, at de højtliggende sekundære grundvandsmagasiner på mange af lokaliteterne har en meget ringe vertikal udbredelse. I mange tilfælde er der filtersat over hele magasinets tykkelse.

Referencer

- /1/ Metoder til udpegning af indvindingsoplande. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, nr. 8 – 1995

Principper for fastlæggelse af hydraulisk ledningsevne og valg af hydraulisk gradient

Hydraulisk ledningsevne.

Den hydrauliske ledningsevne i et grundvandsmagasin indgår ved bestemmelse af grundvandets hastighed, og dermed som et element i vurderingen af fanelængder. På lokaliteter hvor der er truffet sammenhængende sandlag, der er vurderet at udgøre et magasin, er der udvalgt prøver af sand/gruslaget til kornfordelingsbestemmelse. Den hydrauliske ledningsevne kan jf. /1/ bestemmes efter følgende formel:

$$k = C_k \cdot d_{10}^2$$

hvor:

C_k = konstant der for faste aflejringer og skarpe korn sættes til 0,01

d_{10} = korndiameteren for 10%'s gennemfald

For hver lokalitet er der foretaget kornkurvebestemmelse af flere prøver. En gennemsnitlig hydraulisk ledningsevne for den enkelte lokalitet er beregnet som en logaritmisk middelværdi af de for hver kornkurve beregnede hydrauliske ledningsevner.

Hydraulisk gradient.

Med udgangspunkt i en geologisk model for området og potentialet i de enkelte borer er den hydrauliske gradient for de enkelte lokaliteter beregnet ved lineær interpolation mellem borerne.

Referencer

/1/ Geoteknik og fundering. DTU. Bent Hansen 1978.

Principper for filtersætning

Alle borerer er filtersat med $\varnothing 63$ mm PEH-rør. Inden borerernes udførelse blev følgende filtersætning fastlagt, se figur 1:

- **Ved frit vandspejl** tilstræbes top af filter placeret 0,2 - 0,5 m over vandspejlet. Filterlængden er 1,5-2,0 m. Under filtersætningen placeres en slamboks med en længde på typisk 1,0 m.
- **Ved spændt vandspejl** placeres top af filter 0,2 - 0,5 m over den vandførende formation (dvs. 0,5 m oppe i det tætte (ler) dæklag). Filterlængden er 1-2 m afhængigt af magasinets tykkelse. Under filterstrækningen er der placeret en slamboks med en længde på typisk 1,0 m.

Blindrøret er forsynet med styr for hver ca. 3 m. I toppen er blindrøret forsynet med aflåseligt dæksel, type Rotek T-prop.

Der er gruskastet omkring selve filterrøret og op til 0,5 m over slidsestrækningen. Over gruskastningen, og ud for lavpermeable lag, er der afproppet med bentonit. Der er desuden afproppet med bentonit 1,0 til 1,5 m under terræn. For at sikre, at bentonitten ekspanderer, er der efter behov tilsat vandværksvand.

Der er ikke anvendt opboret jord som tilbagefyld.

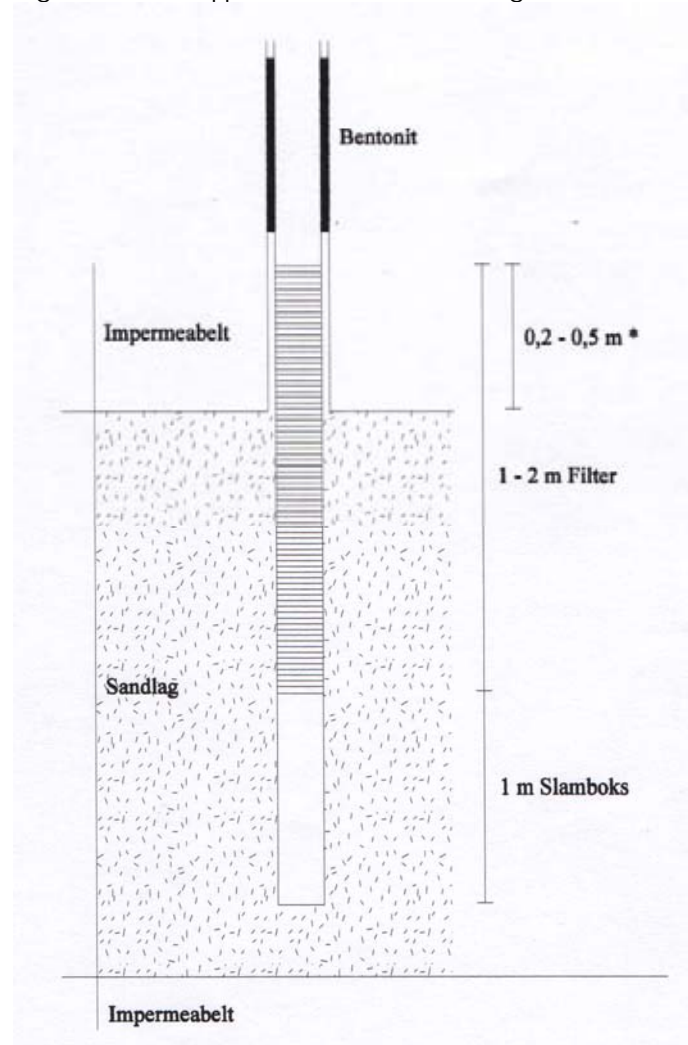
Ved terræn er der næsten alle steder monteret et betonbeskyttelsesrør, som er sat i filtergrus. Enkelte steder er der monteret kørebanedæksler.

Der findes følgende afvigelser fra den principielle filtersætning:

- De vandførende sandlags udstrækning er vurderet under borearbejdet. Enkelte steder er dybden til sandlaget vurderet lidt for stor, hvilket har medført at filtret er placeret lidt dybere end på forhånd fastlagt.
- Enkelte steder, hvor de vandførende sandlag var meget tynde, er filterstrækningen kun 1,0 m. Her dækker slidsestrækningen hele magasinet.
- På de lokaliteter, hvor der ikke har været noget sammenhængende grundvandsmagasin, eller hvor den horisontale grundvandshastighed har været meget lille, er der flere steder placeret filtre i to forskellige dybder.

Hvor den horisontale grundvandshastighed har været lille, og hvor grundvandet har brugt lang tid til transporten ud til de fjerneste borerer (placeret i 1/2 eller 2/3 fanelængde), er filtrene, for at tage højde for eventuel fanetrykning, placeret lidt dybere end forud fastlagt.

Figur 1. Principperne for filtersætning.



Ved frit vandspejl:

Top filter placeres 0,2 – 0,5 m over vandspejlet. Filterlængde 1,5-2,0 m + typisk 1 m slamboks.

Ved spændt vandspejl:

Top filter placeres 0,2-0,5 m oppe i lavpermeabelt (ler) lag. Filterlængden er 1 – 2 m afhængigt af magasinets tykkelse, hertil kommer en slamboks på typisk en længde af 1 m.

Modelberegninger

Ved undersøgelse af grundvandsforureninger fra benzinstationer indgår modelsimuleringer af forureningsspredningen som et af værktøjerne i undersøgelsesprogrammet.

På udvalgte lokaliteter er der gennemført simuleringer med FLOWPATH II /3/. FLOWPATH er en 2-dimensional grundvandsmodel, som kan simulere grundvandets strømning og forureningstransport i frie og/eller artesiske grundvandsreservoirer. I modellen kan der indlægges inhomogeniteter, pumpeboringer og injektionsboringer.

Med udgangspunkt i at potentialeforhold, gradient, strømningens retning og hydraulisk ledningsevne i magasinet er kendte parametre foretages modelsimuleringer til afdækning af følgende forhold:

- faneudbredelse for stofferne benzen og MTBE
- faneudbredelse til tiden nul, svarende til årstal for indførelse af MTBE i benzin (1985)
- faneudbredelse til tidspunktet hvor drift ophører. For de undersøgte lokaliteter 5 – 15 år efter indførelse af MTBE i benzinen.

Baggrundsdata.

Ved forundersøgelserne blev der på 6 lokaliteter truffet sekundære grundvandsforekomster, der havde karakter som et sammenhængende magasin under benzinstationen. For hver lokalitet er der fastlagt et modelområde, der dækker servicestationen og en strækning nedstrøms denne. Modelområderne udgør et areal på mellem 70 og 150 m vinkelret på strømningens retning og op til 200 m parallelt med strømningens retning.

På lokaliteter, hvor der ikke foreligger forureningsdata fra grundvandsmagasinet, er der som beregningsparameter anvendt en stofkoncentration beregnet på baggrund af et dagligt overfladespild svarende til 0,2 kg/år for MTBE /1/. Arealet af nedrivningsområdet er generelt sat til 100 m², og der er regnet med en årlig nettonedbør 50 mm/år. Størrelsen af nettonedbøren er valgt ud fra den betragtning, at belægningerne næppe er 100% tætte ligesom der kan komme vandtilskud fra utætte regnvandsledninger. Stoftilførslen til det aktuelle grundvandsmagasin er herefter beregnet i henhold til anvisningerne i /1/.

Simuleringer.

Indledningsvis er grundvandsmodellen kalibreret, således at de beregnede potentialeforhold svarer til de målte potentialeforhold. Potentialet i hhv. øvre og nedre rand i modelområdet er fastlagt således, at der opnås samme gradient, som beregnet ud fra de i forundersøgelsen udførte potentialebestemmelser.

I simuleringerne indgår magasinetype, altså om der er tale om spændt magasin eller frit magasin. Den hydrauliske ledningsevne i magasinet er bestemt ud fra kornfordelingskurver, og er valgt til at have samme størrelse i både x – og y retning. Den longitudinale dispersivitet er sat til 1, mens den transversale og

vertikale er sat til 0,01. I simuleringerne er retardationsfaktoren for MTBE sat til 1,0, mens den for benzen er sat til 1,1 /1, 2/. Der regnes ikke med naturlig nedbrydning af MTBE. For benzen er den naturlige aerobe nedbrydning sat til $0,005 \text{ d}^{-1}$ og den anaerobe nedbrydning sat til $0,001 \text{ d}^{-1}$ jf. /1/.

Simulering af stoftransport er herefter foretaget med baggrund i enten en beregnet koncentration eller en målt koncentration. I to tilfælde er valgt maksimal opløselighed af benzen som indgangsparameter. Uagtet at benzen altid har været i benzin, er tidshorizonten, over hvilken der er regnet med stoftilførsel, fastlagt ud fra MTBE's anvendelsesperiode. 1985 er sat som år nul, og produkttilførsel er så valgt som perioden frem til driftsstop af servicestationen. Herefter er faneudbredelsen ved driftsstop (typisk 10 år) og ved undersøgelsestidspunktet (typisk 15 år) simuleret for både MTBE og benzen.

Resultater.

Resultaterne af simuleringerne præsenteres som iso-kurver for hhv. potentialeforhold og koncentrationer af MTBE eller benzen. For koncentrationskurverne gælder generelt, at kurven der afgrænser fanen er en "nul-kurve", der svarer til grundvandskvalitetskriterierne for benzen ($1 \mu\text{g/l}$) og MTBE ($5 \mu\text{g/l}$).

Referencer

- /1/ DHI og Niras AS: Undersøgelingsprogram for grundvandsforurening fra benzinstationer.
- /2/ Miljøstyrelsen. JAGG - regneark til risikovurdering af jord, afdampning, gas og grundvand.
<http://www.mst.dk/default.asp?Sub=http://www.mst.dk/affald/02070100.htm>.
- /3/ FlowPath II Ver.1.1. Waterloo Hydrogeologic, Inc

Resume af undersøgelser Odense, Svendborgvej 135-137. Lokalitet 1

Forundersøgelse	Kilder, mv.	Potentielle kilder er lokaliseret, og er placeret, så der kan defineres delvist separate, potentielle forureningsfaner. Ingen spild registreret. Forventet strømningsretning er usikker, mellem SØ og SV
	Boringer	Boring 1-3 er placeret i randen eller uden for lokaliteten. Efter en ekstra kontrolpejling er der etableret yderligere en boring 4
	Magasin	Tilsyneladende sammenhængende magasin af mere end 8 m smeltevandssand og -grus med varierende kornstørrelse i lagserien, stedvist med indslag af morænesand i toppen. Ikke gennemboret
	Analyser	Ingen analyser i forundersøgelse pga. usikker strømningsretning
	Strømningsretning	Meget varierende. SØ, VSV, S og V ved 4 forskellige pejlerunder
	Gradient	0,8 ‰ á 1,1 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	Skønnet på baggrund af d_{10} fra kornkurven fra to prøver. Stor variation pga. varierende kornstørrelse i lagserien (3 til 20×10^{-5} m/s)
	Fane	På grund af varierende strømningsretning og lille strømningshastighed er der valgt ret korte fanelængder på 30–40 m og bredder på 10-15 m
	Afvielser fra koncept	Der er ikke udført analyser af vandprøver i forundersøgelsen pga. varierende strømningsretning
Hovedundersøgelse	Boringer	Kildeboring: Boring 5. Ingen faneboringer pga. varierende strømningsretninger
	Analyser	Der er fundet 3400 g/l MTBE i kildeboring 5, lave koncentrationer (0,2 – 1,1 g/l) i boring 4 og 3 mod SV og VNV. Boring 1 og 2 mod S og Ø er uforurenede
	Magasin	Som ved forundersøgelse
	Strømningsretning	Ved sidste pejling efter udførelse af kildeboring 5 er registreret en vestlig strømningsretning ligesom ved den sidste pejling i forundersøgelsen
	Gradient	1,5 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	Ikke yderligere undersøgt, men samme jordartstype som i forundersøgelse
	Fane	Fanens placering og størrelse er ikke fastlagt og veksler sandsynligvis med de varierende strømningsretninger.
Afvielser fra koncept	Der er ikke udført faneboringer i hovedundersøgelsen pga. varierende strømningsretning. Der er udført 1 kildeboring	
Koncept	Konceptet er ikke anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da strømningsretningen er meget varierende. Der er ved en kildeboring fundet kraftig forurening med MTBE, men det lave indhold af MTBE i skelboringer mod vest tyder på, at fanen ikke er lokaliseret, enten fordi den har en anden retning eller fordi den ikke på undersøgelsestidspunktet har nået skel endnu	

Resume af undersøgelser Svendborg, Odensevej 94. Lokalitet 2

Forundersøgelse	Kilder, mv.	Potentielle kilder bortset fra olieudskiller er lokaliseret, og er placeret, så evt. forureningsfaner er overlappende. Ingen spild registreret. Forventet strømningsretning er usikker, mellem SØ og SV
	Boringer	Boring 1-3 er placeret i randen eller uden for lokaliteten
	Magasin	Tilsyneladende sammenhængende magasin af smeltevandssand, ikke gennemboret
	Analyser	Ingen analyser i forundersøgelse
	Strømningsretning	VSV til V ved 3 pejlerunder
	Gradient	18 ‰ - 20 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	Skønnet på baggrund af d_{10} fra kornkurven fra 4 prøver. Nogen variation pga. varierende kornstørrelse i lagserien (6 til 20×10^{-5} m/s)
	Fane	Der er skønnet en fanelængde på 75-100 m og en bredde på 20-35 m. Den "samlede" fanebredde nær skel skønnes til 50 m (uden hensyn til variation i strømningsretning)
	Afvielser fra koncept	Der er ikke udført analyser af vandprøver i forundersøgelsen
Hovedundersøgelse	Boringer	Faneboringer: Skel: Boring 4-7. ½ fane: Boring 8-11
	Analyser	Der er fundet MTBE i lave koncentrationer (0,15 – 3,6 g/l) i boring 5, 6 og 8 mod SV. Boring 4, 7 og 9-11er rene. Der er ikke udført analyser fra boring 1-3
	Magasin	Overvejende mellemkornet smeltevandssand med indslag af groft sand og grus. Ikke gennemboret. Overlejret af 6-12 m moræneler. Magasinet er frit og tilsyneladende ikke sammenhængende, idet sandlaget ved boring 1 næppe er i hydraulisk kontakt med magasinet i den vestlige del af området, boring 2-4 og 8-11. Områderne er tilsyneladende adskilt af flage af moræneler ved boring 5-7
	Strømningsretning	SV til V i den vestlige sammenhængende del. Usikkert bestemt, da nøjagtigheden ved pejlingerne er af samme størrelse som forskellen i vandspejlskote i de enkelte boringer
	Gradient	Usikkert bestemt, ca. 0,5 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	Ikke yderligere undersøgt, men samme jordartstype som i forundersøgelse
	Fane	De fundne indhold af MTBE i boring 5, 6 og 8 er næppe udtryk for en sammenhængende fane, og disse lave indhold er ikke et tyndt udtryk for et spild eller lækage på lokaliteten, jf. /3/
Koncept	Konceptet er ikke anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da magasinet ikke er sammenhængende. Herudover er der en meget lille gradient på vandspejlet vest for lokaliteten, hvilket gør bestemmelse af strømningsretning og –hastighed meget usikker	

Resume af undersøgelser. Svendborg, Bjerrebyvej 100. Lokalitet 3

Forundersøgelse	Kilder, mv.	Potentielle kilder bortset fra olieudskillere, rørforbindelser og tankudluftning er lokaliseret, og er placeret tæt på hinanden. Ingen spild registreret. I 1993 er der fundet svag jord- og grundvandsforurening (hhv. 94 mg/kg TS og 87 g/l totalkulbrinter). Forventet strømningsretning er N
	Boringer	Boring 1-3 er placeret i randen eller uden for lokaliteten.
	Magasin	Tilsyneladende sammenhængende magasin af smeltevandssand, ikke gennemboret ved boring 1 og 2.
	Analyser	Vandprøve fra boring 2. Ingen forurening.
	Strømningsretning	Strømningsretning NV
	Gradient	2,0 - 2,6 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	Skønnet på baggrund af d_{10} fra kornkurven fra 2 prøver. Stor variation pga. varierende siltrige horisonter i lagserien (1 til 25×10^{-5} m/s).
	Fane	Der er skønnet en fanelængde på 75-100 m og en bredde på 20-35 m (uden hensyn til variation i strømningsretning).
	Afvielser fra koncept	Der er kun analyseret 1 vandprøve i forundersøgelsen
Hovedundersøgelse	Boringer	Faneboringer: Skel: Boring (2) og 4. Halv fane: Boring 5 og 6
	Analyser	Der er ikke fundet MTBE eller kulbrinter ved de udførte analyser. Der er ikke udført analyser fra boring 1 og 3.
	Magasin	Mellemkornet smeltevandssand stedvist med indlejrede lag af moræneler. Ikke gennemboret. Magasinet er frit og sammenhængende.
	Strømningsretning	Strømningsretning NV.
	Gradient	1,0-2,0 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	Ikke yderligere undersøgt, men samme jordartstype som i forundersøgelse.
Fane	Der er ikke fundet MTBE eller andre former for forurening ved undersøgelsen.	
Koncept	Konceptet er ud fra et hydrogeologisk synspunkt anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da magasinet er sammenhængende og der kun er registreret lille variation i strømningsretning og gradient. Der er tidligere truffet svag forurening i jord og grundvand ved kilden, men denne er ikke verificeret ved den aktuelle undersøgelse. Hvorvidt dette skyldes, at kilden er ophørt (konceptet tager ikke højde for en "vandrende" fane) eller om forureningen er fortyndet/nedbrudt vides ikke.	

Resume af undersøgelser Odense, Hjaltevej 240B. Lokalitet 4

Forundersøgelse	Kilder, mv.	Potentielle kilder bortset fra tankudluftning er lokaliseret, men ligger inden for et så lille område, at der ikke kan defineres separate forureningsfaner. Ingen spild registreret. Forventet strømningsretning NV.
	Boringer	Boring 1-3 er placeret i randen eller uden for lokaliteten.
	Magasin	Tilsyneladende sammenhængende magasin af morænesand, ikke gennemboret.
	Analyser	Vandprøve fra boring 2. Ingen forurening.
	Strømningsretning	Strømningsretning SSØ til SØ.
	Gradient	Meget varierende. Henholdsvis 7 ‰ og 0,7 ‰ ved 3 pejlerunder.
	Hydraulisk ledningsevne	Skønnet på baggrund af d_{10} fra kornkurven fra to prøver. Stor variation (0,9 til 12×10^{-5} m/s). Usikkert bestemt, da skønsformel kun gælder for velsorteret sand og grus.
	Fane	Der er skønnet en fanelængde på 60-65 m og en bredde på 20-25 m. Den "samlede" fanebredde nær skel skønnes til 35 m (uden hensyn til variation i strømningsretning).
	Afvielser fra koncept	Der er kun analyseret 1 vandprøve i forundersøgelsen
Hovedundersøgelse	Boringer	Faneboringer: Skel: Boring 4-5. ½ fane: Boring 6-8
	Analyser	Der er fundet MTBE i lave koncentrationer (0,1 – 0,7 g/l) i samtlige faneboringer.
	Magasin	1,5 til 3,0 m morænesand med indslag af smeltevandssand og underlejret af moræneler. Formentlig ikke sammenhængende.
	Strømningsretning	Hvis det forudsættes, at der er tale om et sammenhængende magasin, varierer den beregnede strømningsretning 180 grader. Hvis det antages, at magasinet ved boring 3 er adskilt fra magasinet ved de øvrige boringer kan strømningsretningen under lokaliteten ikke beregnes, da usikkerheden ved pejlingerne overstiger forskellen i vandspejlskote i de enkelte boringer i området sydøst for lokaliteten.
	Gradient	Meget lille, kan ikke fastlægges.
	Hydraulisk ledningsevne	Ikke yderligere undersøgt, men samme jordartstype som i forundersøgelse.
Koncept	Fane	Der er fundet MTBE i lave koncentrationer i samtlige faneboringer. Fanen er afgrænset mod NØ af bor. 2, men da det ikke er muligt entydigt at måle strømningsretningen under lokaliteten på grund af et næsten horisontalt vandspejl med formodet skiftende strømningsretninger, kan det ikke udelukkes, at faneretningen varierer hen over året.
		Konceptet er ikke anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der tilsyneladende ikke er et sammenhængende magasin. Herudover er der et næsten horisontalt grundvandsspejl (meget lille gradient) under og sydøst for lokaliteten. Der er fundet lave indhold af MTBE i faneboringerne, men disse lave indhold er ikke et entydigt udtryk for et spild eller lækage på lokaliteten, jf. /1/. På den anden side kan det på grund af formodede skiftende strømningsretninger ikke udelukkes, at der findes en kraftigere forurening med MTBE længere mod vest og nordvest.

Resume af undersøgelser. Odense, VoIIsmose Allé 2. Lokalitet 5

Forundersøgelse	Kilder, mv.	Potentielle kilder er lokaliseret bortset fra tankudluftning. Der er registreret spild i 1992. Der er konstateret forurening i 1992, som er ryddet delvist op. Forventet strømningsretning NØ
	Boringer	Boring 1-3 er placeret i randen eller uden for lokaliteten
	Magasin	Tilsyneladende sammenhængende magasin af morænesand og -grus (ikke gennemboret) under 7-9 m vekslende lag af sand og moræneler
	Analyser	Vandprøver. Boring 1: 1000 g/l MTBE, boring 2: uforurenet
	Strømningsretning	Strømningsretning ØSØ ved begge pejlerunder
	Gradient	2,4 ‰ ved begge pejlerunder
	Hydraulisk ledningsevne	1,0 til $2,0 \times 10^{-5}$ m/s. Skønnet på baggrund af d_{10} fra kornkurven fra to prøver, idet der er set bort fra to stærkt lerede prøver. Usikkert bestemt, da skønsformel kun gælder for velsorteret sand og grus
	Fane	Der er skønnet en potentiel, teoretisk fanelængde på 75-100 m og en bredde på 25-35 m. Den "samlede" fanebredde nær skel skønnes til 60 m (uden hensyn til variation i strømningsretning)
	Afvielser fra koncept	Der er kun analyseret 2 vandprøver i forundersøgelsen
Hovedundersøgelse	Boringer	Faneboringer: Skel: Boring 4-7. Trekvart fane: Boring 8-9. Pga. kraftig forurening i boring 1 er boring 10 udført i større afstand end normalt (ca. 1,5 x fane)
	Analyser	Der er fundet MTBE i høje koncentrationer (130-9200 g/l) i boring 1, 4, 5 og 8 nedstrøms den efterladte forurening. Der er fundet små indhold af MTBE (0,18-11 g/l) i boring 6, 7 og 10 i den sydlige potentielle fane, mens der ikke er fundet MTBE i boring 2 og 9
	Magasin	Mere end 5 á 6 m morænesand og grus. Spændt vandspejl. Tilsyneladende sammenhængende magasin
	Strømningsretning	Varierer en smule mellem Ø og ØSØ ved de forskellige pejlerunder
	Gradient	2,1 – 2,4 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	Op til 40×10^{-5} m/s. Supplerende kornkurver viser, at der findes lag af morænegrus med højere hydrauliske ledningsevne end set i forundersøgelsen
Fane	Der er fundet MTBE i høje koncentrationer i boring 1, 4, 5 og 8 (og sandsynligvis boring 6), som ligger i fanen fra en kendt restforurening. Herudover er der kun fundet meget lave indhold af MTBE.	
Koncept	Konceptet må betegnes som anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da magasinet er sammenhængende og der kun er registreret lille variation i strømningsretning og gradient. Herudover er der lokaliseret en forureningsfane fra en kendt restforurening på lokaliteten.	

Resume undersøgelser. Odense, Dalumvej 50. Lokalitet 6

Forundersøgelse	Kilder, mv.	Potentielle kilder er lokaliseret, bortset fra tankudluftning, og er placeret tæt på hinanden. Ingen spild registreret. Tanke og forurenede jord er fjernet i 1996. Der er ikke efterladt restforurening. Forventet strømningsretning Ø.
	Boringer	Boring 1-3 er placeret i randen eller uden for lokaliteten.
	Magasin	Tilsyneladende sammenhængende magasin (1-2 m tykt) af morænesand og smeltevandssand under ca. 7 m moræneler.
	Analyser	Vandprøve fra boring 2, hvor der er fundet 88 g/l MTBE.
	Strømningsretning	Strømningsretning NØ
	Gradient	5,4 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	Meget stor variation (0,1 til 25×10^{-5} m/s) bla. fordi magasinet består af både morænesand og smeltevandssand. Skønnet på baggrund af d_{10} fra kornkurven fra 4 prøver. De små værdier er usikkert bestemt, da skønsformel kun gælder for velsorteret sand og grus.
	Fane	Der er skønnet en fanelængde på 75-100 m og en bredde på 20-30 m.
	Afvielser fra koncept	Der er kun analyseret 1 vandprøve i forundersøgelsen
Hovedundersøgelse	Boringer	Faneboringer: Skel: Boring 4-5. Halv fane: Boring 6-7 (placeret i andre afstande pga. bygninger)
	Analyser	Der er fundet MTBE i moderate koncentrationer (0,19-88 g/l) i alle undersøgte boringer.
	Magasin	Magasinet består af dels smeltevandssand, dels morænesand af varierende mægtighed og med meget varierende hydraulisk ledningsevne. Derfor er der ikke tale om planparallel strømning
	Strømningsretning	Overordnet mod NØ, men varierer lokalt pga. inhomogenitet i et ellers sammenhængende magasin
	Gradient	Overordnet ca. 15 ‰, men varierer lokalt pga. inhomogenitet i et ellers sammenhængende magasin
	Hydraulisk ledningsevne	Ikke yderligere undersøgt, men samme jordartstyper som i forundersøgelse.
	Fane	Indholdene af MTBE i boring 2, 5 og 7 på 6,2 til 29 (88) g/l er i henhold til konceptet udtryk for, at der findes grundvandsforurening under lokaliteten. Det meget lave MTBE indhold i boring 4 kunne tyde på en mere nordlig strømningsretning lokalt i området ved boring 2 og 7.
Koncept	Konceptet må betegnes som anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da magasinet på trods af inhomogen opbygning tilsyneladende er sammenhængende og der overordnet set er registreret stort set samme strømningsretning ved de forskellige pejlerunder.	

Resume af undersøgelser. Kerteminde, Dalby, Fynshovedvej 290. Lokalitet 7

Forundersøgelse	Kilder, mv.	Potentielle kilder er lokaliseret, men ligger inden for et så lille område, at der ikke kan defineres separate forureningsfaner. Forventet strømningsretning Ø (usikker).
	Boringer	Boring 1-3 er placeret i randen eller uden for lokaliteten.
	Magasin	Der er ikke fundet et egentligt grundvandsmagasin. Hver boring er filtersat i to niveauer 1-3 m ut. og ca. 8 m ut. i moræneler.
	Analyser	Vandprøve fra boring 1, øvre filter. Ingen MTBE.
	Strømningsretning	Strømningsretning i øvre filterniveau er NØ, Ø og ØNØ ved 3 pejlerunder. I nedre filterniveau er strømningsretningen S.
	Gradient	Øvre filterniveau: 8 - 20 ‰ og nedre filterniveau: 20-30 ‰ ved 3 pejlerunder.
	Hydraulisk ledningsevne	Skønnet på baggrund af generel viden om strømning i moræneler. Øvre filterniveau: $0,1 \times 10^{-5}$ m/s og nedre filterniveau: $0,001 \times 10^{-5}$ m/s
	Fane	Der er ikke skønnet fanelængder pga. fraværet af et egentligt grundvandsmagasin
	Afvielser fra koncept	Boringer er filtersat i to niveauer. Der er kun analyseret 1 vandprøve i forundersøgelsen (boring 1, øvre niveau)
Hovedundersøgelse	Boringer	Faneboringer: Skel: Boring 4-6. Boring 4 og 5 er placeret mod NØ og filtersat i øvre niveau, mens boring 6 er placeret mod S og filtersat i nedre niveau.
	Analyser	Der er fundet MTBE i moderate koncentrationer (1,4 – 89 g/l) i boring 2, 4 og 5 i øvre niveau og spor af MTBE i boring 3 i nedre niveau. Ingen MTBE i boring 6.
	Magasin	Som ved forundersøgelse
	Strømningsretning	Øvre filterniveau: SØ, nedre filterniveau: S
	Gradient	Øvre niveau: 15 ‰, nedre niveau: 30 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	Se forundersøgelse.
Koncept	Fane	Der er ikke skønnet fanelængder og –udbredelse pga. fraværet af et egentligt grundvandsmagasin. Der er registreret højest indhold af MTBE i boring 2 (øvre niveau). Denne boring er placeret meget tæt ved de tidligere standere. De øvrige fund af MTBE er lokaliseret i boring 4 og 5 NØ for kildeområdet. Der er ikke analyseret prøver fra øvre niveau V, S og SØ for kildeområdet, og da strømningsretningen i øvre niveau varierer en del, kan ikke udelukkes, at der er spredt MTBE i andre retninger end mod NØ. I nedre niveau er der fundet samme strømningsretning i alle pejlerunder, og der er kun fundet spor af MTBE i boringerne, som er placeret nedstrøms kilderne.
	Koncept	Konceptet er ikke anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der ikke er et sammenhængende magasin. Det øvre grundvand er lokaliseret i moræneler, hvor der må forventes sprækkestrømning, hvilket kan betyde strømningshastigheder, som er væsentligt højere end i sædvanlige sandmagasiner.

Resume af undersøgelser. Bogense, Vestergade 25A. Lokalitet 8

Forundersøgelse	Kilder, mv.	Potentielle kilder er lokaliseret, bortset fra tankudluftning og delvist rørforbindelser, og er placeret så evt. faner er overlappende. Ingen spild registreret. Afværgeforanstaltninger i 1994. Restforurening efterladt. Forventet strømningsretning SV til V
	Boringer	Boring 1-3 er placeret i randen eller uden for lokaliteten
	Magasin	Tilsyneladende sammenhængende, ca. 2 m tykt magasin af postglacialt sand
	Analyser	Vandprøve fra boring 3. Meget lille indhold af MTBE (0,66 g/l)
	Strømningsretning	Strømningsretningen er SV. De to første pejlerunder tydede på en nordvestlig strømningsretning, men dette skyldes et langsomt reagerende pejlefilter i boring 3. Vandspejlet ligger de fleste steder under kote 0 og vurderes at være påvirket af dræn og kloakker i området.
	Gradient	11 til 14 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	3 til 4×10^{-5} m/s. Skønnet på baggrund af d_{10} fra kornkurven for to prøver
	Fane	Der er skønnet en fanelængde på 75-100 m og en bredde på 15-25 m. Den "samlede" fanebredde nær skel skønnes til 35 m (uden hensyn til variation i strømningsretning)
	Afvielser fra koncept	Der er kun analyseret 1 vandprøve i forundersøgelsen
Hovedundersøgelse	Boringer	Faneboringer: Skel: Boring 4-5 mod SV og boring 6 og 7 mod NNW. ½ fane: Ingen
	Analyser	Der er fundet MTBE (4,4 - 520 g/l) i boring 4 og 5 mod SV og kun 0,35 g/l i boring 7 mod NNW. Der er ikke fundet MTBE i boring 6 mod N
	Magasin	1 - 2 m marint sand stedvist med lerede lag. Mod NNW er der fundet egentlige lag af gytje i den marine serie. Formentlig sammenhængende magasin
	Strømningsretning	S til SV drejende strømningsretning
	Gradient	15 til 20 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	Ikke yderligere undersøgt, men samme jordartstype som i forundersøgelse
	Fane	Indholdet af MTBE i faneboringerne 4 og 5 er et udtryk for, at der findes MTBE forurening under lokaliteten med en faneudbredelse mod SV. Den først registrerede strømningsretning mod NNW skyldes sandsynligvis, at et lag af fedt ler ved boring 3 forsinker trykudligningen i boring 3. Alle pejlinger efter 2002-07-03 viser en strømningsretning mod SV
Afvielser fra koncept	Der er ikke placeret faneboringer i halv (eller trekvart) fanelængde	
Koncept	Konceptet må betegnes som anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da magasinet trods inhomogenitet er sammenhængende. Den først registrerede afvigende strømningsretning skyldes et langsomt reagerende pejlefilter i boring 3. Der er lokaliseret en forureningsfane fra en kendt (rest)forurening på lokaliteten	

Resume af undersøgelser. Vissenbjerg, Kildebjerg Syd. Lokalitet 9

Forundersøgelse	Kilder, mv.	Potentielle kilder er lokaliseret bortset fra tankudluftning og – påfyldning. Der er ikke registreret spild. Forventet strømningsretning Ø til NØ
	Boringer	Boring 1-3 er placeret i randen eller uden for hovedlokaliteten. Efterfølgende er udført boring 4 og 6 for at undersøge udstrækning af sandlag
	Magasin	Der er ikke fundet et sammenhængende magasin. Boringerne er filtersat i moræneler eller i tynde lag af morænesand der ligger i morænen
	Analyser	Vandprøve fra boring 2. Ingen MTBE
	Strømningsretning	Det er ikke skønnet muligt på baggrund af pejleresultaterne nærmere at beregne hverken en strømningshastighed eller en gradient på grundvandsspejlet.
	Gradient	Se under strømningsretning
	Hydraulisk ledningsevne	$0,5 \times 10^{-5}$ m/s. Skønnet på baggrund af jordarten. Er lavere hvor der ikke træffes morænesand
	Fane	Der er ikke skønnet fanelængder pga. fraværet af et egentligt grundvandsmagasin
	Afvielser fra koncept	Der er kun analyseret 1 vandprøve i forundersøgelsen. Boring 3 er filtersat i 2 niveauer. Der er udført 5 boringer i alt
Hovedundersøgelse	Boringer	Boring 5. Da det ikke har været muligt at definere en fanebeliggenhed er boringen placeret for at opnå bedre dækning af lokaliteten
	Analyser	Der er ikke fundet MTBE ved den udførte undersøgelse
	Magasin	Der er ikke fundet et sammenhængende grundvandsmagasin.
	Strømningsretning	Det er ikke skønnet muligt på baggrund af pejleresultaterne nærmere at beregne hverken en strømningshastighed eller en gradient på grundvandsspejlet.
	Gradient	Se under strømningsretning
	Hydraulisk ledningsevne	Se forundersøgelse
	Fane	Der er ikke skønnet fanelængder og –udbredelse pga. fraværet af et egentligt grundvandsmagasin. Der er ikke registreret forurening med MTBE
Afvielser fra koncept	Boringsplacering i hovedundersøgelsen følger ikke konceptet, da det ikke har været muligt at definere en fanebeliggenhed	
Koncept		Konceptet er ikke anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der ikke er et sammenhængende magasin, og en entydig strømningsretning i grundvandet

Resume af undersøgelser. Vissenbjerg, Kildebjerg Nord. Lokalitet 10

Forundersøgelse	Kilder, mv.	Potentielle kilder er lokaliseret bortset fra tankudluftning. Der er ikke registreret spild. Forventet strømningsretning Ø.
	Boringer	Boring 1-3 er placeret i randen eller uden for hovedlokaliteten.
	Magasin	Der er ikke fundet et sammenhængende magasin. Boring 1 og 2 er filtersat i et ikke gennemboret lag af smeltevandssand under moræneler. Boring 1 er tør (20 m under terræn). Boring 3 er filtersat i et 2 m tykt, højtliggende sandlag og har et vandspejl tæt på terræn.
	Analyser	Ingen.
	Strømningsretning	Ukendt. Der er kun registreret vandspejl i to af boringerne.
	Gradient	Ukendt
	Hydraulisk ledningsevne	Er ikke vurderet.
	Fane	Der er ikke skønnet fanelængder pga. fraværet af et egentligt grundvandsmagasin
	Afvielser fra koncept	Der er ikke analyseret nogen prøver.
Hovedundersøgelse	Boringer	Ikke udført
	Analyser	Ikke udført
	Magasin	Se forundersøgelse
	Strømningsretning	Se forundersøgelse
	Gradient	Se forundersøgelse
	Hydraulisk ledningsevne	Se forundersøgelse
	Fane	Se forundersøgelse
	Afvielser fra koncept	Hovedundersøgelse er ikke udført.
Koncept	Konceptet er ikke anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der ikke er et sammenhængende magasin, og en entydig strømningsretning i grundvandet.	

Resume undersøgelser. Vissenbjerg, Østergade 11. Lokalitet 11

Forundersøgelse	Kilder, mv.	Potentielle kilder bortset fra tankudluftning og olieudskiller er lokaliseret og er placeret tæt på hinanden. Ingen spild registreret. Forventet strømningsretning SØ
	Boringer	Boring 1-3 er placeret i randen eller uden for lokaliteten. Der er efterfølgende udført boring 4 og 5, da der ikke blev truffet et sammenhængende magasin
	Magasin	Tilsyneladende sammenhængende magasin (ikke gennemboret) af smeltevandssand i boring 1, 2 (øvre filter) og 5. Sandlaget i boring 4 er tilsyneladende adskilt herfra
	Analyser	Vandprøve fra øverste filter i boring 2, hvor der er fundet spor af MTBE (0,13 g/l)
	Strømningsretning	Strømningsretning ØNØ
	Gradient	20 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	5×10^{-5} m/s. Skønnet på baggrund af geologisk beskrivelse.
	Fane	Der er skønnet en fanelængde på 75-100 m og en bredde på 15-30 m
	Afvielser fra koncept	Der er etableret 2 filtre i boring 2. Der er kun analyseret 1 vandprøve i forundersøgelsen
Hovedundersøgelse	Boringer	Faneboringer: Skel: Boring 6-7. Halv fane: Boring 8-9
	Analyser	Der er fundet meget små indhold af MTBE (0,13 og 0,24 g/l) i boring 2 og 6. Der er ikke fundet MTBE i boring 7-9. Der er ikke analyseret vandprøver fra boring 1, 3, 4 og 5
	Magasin	Boringerne 6-9 træffer alle samme sandlag som nævnt under forundersøgelsen. Der er ikke fundet et sammenhængende magasin under hele undersøgelsesområdet, men kun en afgrænset sandlomme umiddelbart under tankstationen
	Strømningsretning	Uklar. Såfremt der ses bort fra boring 2, 3 og 4, er strømningsretningen SØ
	Gradient	10- 15 ‰
	Hydraulisk ledningsevne	Ikke yderligere undersøgt, men samme jordartstyper som i forundersøgelse
Koncept	Fane	Der er ikke fundet indhold af MTBE, som ifølge konceptet indikerer en grundvandsforurening med MTBE under lokaliteten. På grund af usikkerhed om strømningsretningen har der ikke kunnet fastlægges sandsynlige faneudbredelser
	Koncept	Konceptet er ikke anvendeligt på den aktuelle lokalitet, da der kun er fundet en afgrænset sandlomme umiddelbart under tankstationen, men ikke et sammenhængende magasin under hele undersøgelsesområdet, og dermed ikke en entydig strømningsretning i grundvandet

