

Miljøprojekt Nr. 785 2003
Teknologiudviklingsprogrammet for
jord- og grundvandsforurening.

Risikovurdering af MTBE-forurening i forhold til grundvandet

Dorte Harrekilde, Pia Korneliusen og John Nielsen
Rambøll A/S

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 OG BAGGRUND	15
1.1 BAGGRUND	15
1.2 FORMÅL	16
1.3 RAPPORTENS OPBYGNING	17
2 MTBE	19
2.1 SAMMENSÆTNING AF BENZIN	19
2.2 FYSISK-KEMISKE EGENSKABER	20
2.3 GRÆNSEVÆRDIER I GRUNDVAND/DRIKKEVAND	21
2.4 NEDBRYDNINGSFORHOLD FOR MTBE	21
2.5 NEDBRYDNINGSFORHOLD FOR BENZEN	22
3 RISIKOVURDERING AF 43 LOKALITETER	23
3.1 BAGGRUND OG FORMÅL	23
3.2 DATAGRUNDLAG	23
3.2.1 <i>Datamateriale og databehandling</i>	23
3.2.2 <i>Undersøgelserapporterne for de 43 lokaliteter</i>	24
3.2.3 <i>Vurdering af datakvalitet</i>	26
3.3 MÅLTE KONCENTRATION AF MTBE OG BENZEN	27
3.3.1 <i>Fordeling af målte koncentrationer</i>	27
3.3.2 <i>Sammenhæng mellem målte koncentrationer af MTBE og benzen</i>	30
3.3.3 <i>Sammenhængen mellem målte koncentrationer i det terrænnære og primære grundvand</i>	31
3.4 JAGG-BEREGNINGERNE	32
3.4.1 <i>Model</i>	32
3.4.2 <i>Koncentrationer målt i det primære magasin</i>	33
3.4.3 <i>Koncentrationer målt i det terrænnære magasin</i>	33
3.4.4 <i>Anvendte data</i>	34
3.4.5 <i>Bemærkninger til beregningerne</i>	35
3.5 RESULTATER	36
3.5.1 <i>Betydende parametre</i>	36
3.5.2 <i>Vurdering af forureningsniveauet i det terrænnære grundvand</i>	37
3.5.3 <i>Koncentrationsudvikling under udvaskning og spredning i det primære magasin</i>	40
3.5.4 <i>MTBE-spredning til og i grundvandsmagasinet</i>	41
3.5.5 <i>Benzenspredning til og i grundvandsmagasinet</i>	43
3.5.6 <i>Sammenhæng mellem MTBE og benzen</i>	46
3.5.7 <i>Redoxforholdenes betydning</i>	47
3.6 SAMMENFATNING	48

4	RISIKOVURDERING FOR INDVINDINGSOPLANDE	49
4.1	FORMÅL OG BAGGRUND	49
4.2	RISIKOBeregning for de 37 indvindingsoplande	50
4.2.1	<i>Datagrundlag og detaljeret metodebeskrivelse</i>	51
4.2.2	<i>Resultater fra risikovurdering af 37 indvindingsoplande på Fyn</i>	54
4.2.3	<i>Diskussion af masseberegning og JAGG-beregning</i>	57
4.2.4	<i>Konstateret forurening af det primære grundvand</i>	60
4.3	RISIKOBeregning for lokaliteter i Svendborgområdet	61
4.3.1	<i>Strømningsmodellen</i>	62
4.3.2	<i>Stoftransportmodellen</i>	66
4.3.3	<i>Stoftransportscenarier</i>	71
4.3.4	<i>Resultater og diskussion af scenarier</i>	72
4.4	Sammenfattende risikovurdering	74
4.4.1	<i>Supplerende risikovurdering</i>	75
4.4.2	<i>Sammenfattende risikovurdering</i>	78
5	RISIKOVURDERING FYN OG DANMARK	79
5.1	FORUDSÆTNINGER FOR OPSKALERING	79
5.2	RISIKOVURDERING FOR GRUNDVAND	81
5.3	RISIKOVURDERING FOR INDVINDING PÅ FYN, MTBE	81
5.3.1	<i>Eksisterende indvinding</i>	81
5.3.2	<i>Potentiel drikkevandsressource</i>	82
5.3.3	<i>Sammenfatning</i>	83
5.4	RISIKOVURDERING FOR INDVINDING PÅ FYN, BENZEN	83
5.5	RISIKOVURDERING FOR INDVINDING PÅ LANDSPLAN	84
6	KONKLUSION	85
7	REFERENCER	87

Forord

I Danmark er der i de seneste år konstateret methyl-tertiær-butyl-ether (MTBE) i en række grundvandsboringer. MTBE anvendes i Danmark i benzin til øgning af oktantallet.

Foranlediget af de danske fund af MTBE i grundvandet udarbejdede Miljøstyrelsen i 1998 en handlingsplan. Handlingsplanen indeholder en række anbefalinger til reduktion af miljøbelastningen med MTBE.

Miljøstyrelsen har i samarbejde med Fyns Amt efterfølgende iværksat en række projekter med fokus på grundvandsforurening med MTBE, primært som følge af, at der er observeret forurening med MTBE ved en meget stor procentdel af de fynske benzinstationer, der er undersøgt.

Forureningsundersøgelser på 72 servicestationer i Fyns Amt viser således, at der hyppigt træffes forurening med MTBE. Stoffet er konstateret i grundvandet under 86% af de undersøgte servicestationer. Den gældende grænseværdi for drikkevand er overskredet i 53% af undersøgelserne. MTBE er desuden konstateret i 14 af 32 undersøgte vandværksboringer i amtet.

Miljøstyrelsen og Fyns Amt har på denne baggrund igangsat et projekt med det formål at risikovurdere MTBE-forurening og sekundært benzenforurening i forhold til grundvandet. Risikovurderingen tager udgangspunkt i de 43 MTBE-forurenede lokaliteter på Fyn.

Arbejdet er iværksat under Miljøstyrelsens Teknologiudviklingsprogram for jord- og grundvandsforurening.

Projektet er fulgt af en styregruppe nedsat af Miljøstyrelsen:
Kim Dahlstrøm, Jordforureningskontoret, Miljøstyrelsen
Martin Skriver, Spildevands- og Vandforsyningskontoret, Miljøstyrelsen
Steen Kofoed Munch, Jordforureningskontoret, Fyns Amt
Leif B. Jespersen, Miljøcenter Fyn/Trekantområdet
Michael M. Jensen, Oliebranchens Miljøpulje
Pia Korneliusen, RAMBØLL
Dorte Harrekilde, RAMBØLL

Projektet er udført af RAMBØLL for Miljøstyrelsen og Fyns Amt. Projektet er gennemført i perioden juli 2001 til december 2001 og har bestået af en indsamling af litteratur, vurdering af eksisterende rapporter for undersøgelser og afværgeforanstaltninger på 43 fynske lokaliteter, der er forurenede med MTBE, samt en risikovurdering overfor grundvandet.

Sammenfatning og konklusioner

MTBE (methyl-tertiær-butyl-ether) er siden 1985 tilsat blyfri benzin, primært 98 oktan, men findes også i oktan 95. MTBE opløses nemt i vand og bliver kun i ringe grad nedbrudt eller tilbageholdt i jord og grundvand. Udslip eller lækage af stoffet fra benzinstationer er derfor en væsentlig trussel mod grundvandet. Truslen er bekræftet af et stigende antal fund af MTBE i dansk grundvand.

Undersøgelser af benzinstationer på Fyn har vist, at der er en meget stor sandsynlighed for at finde MTBE i sekundært grundvand og i en række tilfælde også i det primære grundvand. Miljøstyrelsen og Fyns Amt har derfor i 2001 igangsat en række projekter vedrørende MTBE-forurening. Nærværende projekt er et af disse projekter, og har til formål at vurdere, hvilken risiko MTBE-forureninger på 43 fynske lokaliteter udgør for grundvandet, de berørte indvindingsoplande samt for den samlede indvinding på Fyn. Sekundært at skalere risikovurderingen til at dække hele Danmark.

Risikovurderingen er primært foretaget overfor MTBE og sekundært overfor benzen. Vurderingerne er baseret på den fremtidige grænseværdi for MTBE på 5 µg/l og på grænseværdien for benzen på 1 µg/l.

Projektet tager udgangspunkt i 43 fynske lokaliteter, hvor der er konstateret MTBE over den gældende grænseværdi på 30 µg/l enten i det sekundære eller primære grundvand eller i nærliggende vandværksboringer. Alle 43 lokaliteter ligger indenfor indvindingsoplandet til et vandværk.

Indledningsvist er der udført et litteraturstudie med henblik på at udvælge nedbrydningskonstanter for MTBE under forskellige redoxforhold til brug i risikoberegningerne.

Risikoberegningerne er udført ud fra en række forudsætninger om følgende faktorer;

- kildestyrken
- forureningens omfang og udbredelse
- infiltrationshastigheden
- grundvandsspejlets gradient i det primære grundvandsmagasin
- den hydrauliske ledningsevne
- tykkelsen af lavpermeable lag mellem terrænnære magasiner og primært magasin
- nedbrydningshastigheder og dermed redoxforholdene

Beregningerne viser, at disse faktorer har større eller mindre betydning for usikkerhederne i beregningerne. Særlig betydning har kildestyrken og bestemmelsen af forureningens omfang.

Risikoen for forurening af grundvandet under de 43 lokaliteter på Fyn er søgt belyst ved beregninger i Miljøstyrelsens regnearksprogram JAGG ver. 1.5.

Beregningerne angiver ud fra en række forudsætninger, at MTBE-indholdet i det primære grundvandsmagasin efter 1 års transporttid (max. 100 m nedstrøms) under 39 % af de MTBE-forurenede lokaliteter, overskrider den fremtidige grænseværdi på 5 µg/l. For benzen overskrides grænseværdien på 1 µg/l i det primære grundvandsmagasin på 44 % af de MTBE-forurenede lokaliteter. Disse tal er opnået under forudsætning af, at de højest målte koncentrationer af MTBE og benzen svarer til kildestyrken på lokaliteterne.

Imidlertid er det vurderet, at de højest målte koncentrationer af MTBE og benzen kun svarer til kildestyrken på 20 % af lokaliteterne, hvor indholdene er målt centralt i kildeområdet. JAGG-beregninger på disse lokaliteter viser, at væsentligt flere lokaliteter kan medføre forurening i det primære grundvandsmagasin over grænseværdierne for hhv. MTBE og benzen.

Risikoen for forurening af drikkevandsboringer i indvindingsoplandene, hvor de 43 MTBE-forurenede lokaliteter ligger, er vurderet ved sammenligning af forureningsmasse med indvindingsmængde (masseberegning), samt for 3 lokaliteter indenfor samme indvindingsopland ved simulering af stoftransport i en lokal hydrogeologisk edb-model.

Masseberegningerne angiver, at 25 % af indvindingsoplandene er forurenede med MTBE over grænseværdien. For benzen er tallet 38 %. Det er forudsat, at forureningen udvaskes til vandværksboringerne på 1 år uden nedbrydning eller tilbageholdelse.

JAGG- og masseberegningerne viser, at der forventeligt sker en reduktion af MTBE og benzen under transport fra lokaliteten til indvindingsboringen. At reduktionen for benzen er så lille som ovenfor nævnt skyldes udelukkende, at masseberegningerne ikke inddrager nedbrydning, der netop for benzen har betydning.

Modellering af strømning og stoftransport for forurening under 3 lokaliteter i Svendborg til nærmeste indvindingsboring viser, at modellen giver et mere præcist billede af grundvandets strømningsretning og af indvindingsoplandets afgrænsning samt af forureningens udbredelse i grundvandsmagasinet end masseberegningerne.

Endelig er risikoen for forurening af hele den fynske indvindingsmængde samt potentielle grundvandsressource groft skønnet ud fra masseberegningerne og erfaringsopsamlingen for de 43 lokaliteter. Denne risikovurdering er yderligere opskaleret til landsplan.

Opskaleringen giver et billede af, at 8-26 % af den samlede indvindingsmængde på Fyn kan være forurenede med MTBE over grænseværdien. I forhold til den samlede potentielle drikkevandsressource indenfor OSD (områder med særlige drikkevandsinteresser) er der tale om, at en samlet ressource på 630 mill. m³ kan være forurenede med MTBE over grænseværdien svarende til ca. 5 gange den årlige grundvandsdannelse.

På landsplan er det meget groft beregnet, at 36-117 mill. m³ af den samlede årlige indvindingsmængde på 450 mill. m³ kan være forurenet med MTBE over grænseværdien. Denne opskalering vurderes at overestimere problemet i områder, hvor der er tale om iltede grundvandsmagasiner, hvor MTBE til en vis grad vil blive nedbrudt, som f.eks. i Vestjylland. Derimod kan opskaleringen for f.eks. Københavnsområdet, hvor der indvindes meget store mængder vand i forhold til størrelsen af den samlede ressource, forventes at underestimere problemets omfang.

Summary and conclusions

MTBE (methyl-tertiary-butyl-ether) has since 1985 been added to non-leaded gasoline, primarily 98 octane, but is also found in 95 octane. MTBE is readily soluble in water and will only slightly be biodegraded or withheld in soil and groundwater. Surface spills or leakages of MTBE from gas stations therefore present a threat to groundwater quality. This is confirmed by an increasing number of MTBE-contaminations found in Danish groundwater.

Investigations of gas stations on the Island of Funen have shown a high probability of finding MTBE in secondary groundwater aquifers. In several cases MTBE has also been found in primary groundwater aquifers. In 2001 the Danish Environmental Protection Agency and the County of Funen therefore initiated a number of projects concerning contamination with MTBE. The present project is one of them. The primary purpose of the project is to assess the risk of groundwater contamination from 43 MTBE-contaminated sites on Funen. Risk assessment is carried out towards groundwater resources, well fields and the total abstraction rate on Funen. Secondly the purpose of the project is to scale this risk assessment to cover all Denmark.

The risk assessment is primarily carried out towards MTBE and secondarily towards benzene. The assessments are based on the future groundwater limit value (5 $\mu\text{g/l}$) for MTBE and the existing limit value for benzene (1 $\mu\text{g/l}$).

The project is based on the results of investigations carried out at 43 sites on Funen where MTBE contaminations exceeding the present groundwater limit value for MTBE (30 $\mu\text{g/l}$) have been found either in the secondary groundwater aquifers or the primary groundwater aquifers or in nearby drinking water wells.

A review of degradation constants for MTBE under different redox conditions has been carried out in order to create input data for the risk assessments.

Furthermore the risk assessments have been carried out based on a number of assumptions about the following;

- point source concentrations
- extent of contamination
- rate of infiltration
- groundwater gradient
- hydraulic conductivity
- thickness of low permeable layers between secondary and primary aquifers
- degradation rates and redox conditions

Risk calculations show that these parameters have varying implications for the calculations and their uncertainties. The point source concentrations and the extent of contamination are of major importance for the calculations.

The risk of groundwater contamination under the 43 sites is based on calculations in a worksheet prepared by the Danish EPA (JAGG version 1.5).

Based on a number of assumptions the calculations show that the contents of MTBE in the primary aquifer exceed the groundwater limit value under 39 % of the MTBE contaminated sites (after a transport time of 1 year). The corresponding percentage for benzene is 44 %. A major assumption is that the highest measured concentration corresponds to the point source concentration.

However it is estimated that the highest measured concentrations of MTBE and benzene only on 20 % of the investigated sites correspond to the concentrations measured in the middle of the point source area. Calculations on these sites show, that a larger number of sites than above mentioned can lead to contamination of the primary aquifer in concentrations exceeding groundwater limit values for MTBE and benzene.

The risk of contaminating groundwater wells in catchment areas covering the 43 MTBE contaminated sites has been assessed by comparing the amount of contaminant with the amount of abstracted water. This method of risk assessment has been supplemented with a numerical model that simulates mass transport under 3 sites located within the same catchment area.

Mass calculations show that 25 % of the catchment areas may be contaminated with MTBE above the limit values. The corresponding percentage for benzene is 38 %. In these calculations it is assumed that the contamination within one year is washed out and transported to the drinking water well without being degraded or withheld.

As expected these calculations as well as the JAGG calculations show that the content of MTBE and benzene is reduced under transport to the drinking water well. The reduction for benzene is less than expected due to the fact that the mass calculations do not include degradation, an important process for benzene.

Simulation of groundwater flow and mass transport under the mentioned 3 sites indicate that the model in comparison to mass calculations gives a more precise indication of groundwater flow direction, extent of the catchment area and the contamination plume.

Based on mass calculations and data collected from investigations on the 43 sites a rough estimate of the risk of contaminating all groundwater abstracted on Funen and of the risk of contaminating the groundwater resource has been carried out. This risk assessment has furthermore roughly been scaled to cover the whole country.

Calculations show that 8-26 % of the total amount of abstracted water on Funen may be contaminated with MTBE above the limit values. Compared to the total potential drinking water resource this means that 630 million cubic meters of water may be contaminated with MTBE above the limit value. This amount corresponds to 5 times the yearly recharge.

For the country as a whole it is roughly estimated that 36-117 million cubic meters of water out of a total abstracted amount of 450 million cubic meters can be contaminated with MTBE exceeding the limit value. This estimation is

assessed to overestimate the size of the risk in areas where the groundwater aquifer is oxidized and MTBE therefore to some degree will be biodegraded (as for example in the west of Jutland). On the other hand the risk is underestimated for the Copenhagen area where large amounts of water are abstracted compared to the potential resource.

1 Indledning og baggrund

1.1 Baggrund

MTBE (methyl-tertiær-butyl-ether) er en etherforbindelse, der i Danmark har været anvendt som tilsætningsstof til benzin siden ca. 1985. MTBE tilsættes blyfri benzin for at øge oktantalet og er primært tilsat 98 oktan. Der er dog også MTBE i en del af 95 og 92 oktan benzinen. Siden 1994 er der desuden tilsat MTBE til den "blyholdige" 98 oktan. Der er ikke et detaljeret kendskab til det eksakte MTBE-indhold i de forskellige benzintyper fra 1985 og frem til 2001.

MTBE er karakteriseret ved en høj vandopløselighed, ringe sorption til jordmatricen og ringe nedbrydelighed i jord og grundvand. MTBE udvaskes hurtigt fra jorden, og bevæger sig hurtigere med grundvandet end andre benzinstoffer. Disse egenskaber medfører, at MTBE er en væsentlig grundvandstruende forbindelse. I forbindelse med udslip fra servicestationer kan MTBE i nogle tilfælde endda være det dominerende forureningsstof, evt. det eneste spor fra benzinformeningen, hvis kulbrinterne i benzinen ved forekomst af ilt i grundvandszonen er blevet biologisk nedbrudte.

Der er de seneste år forekommet et stigende antal fund af MTBE i dansk grundvand.

Fyns Amt har i efteråret 2000 foretaget en erfaringsopsamling af MTBE-forureninger /1/. Denne erfaringsopsamling er baseret på egne, frivillige og OM-undersøgelser og har omfattet 72 grunde, hvor der sælges eller har været solgt MTBE-holdig benzin.

Forureningsundersøgelserne på de 72 servicestationer i Fyns Amt viser, jf. /1/, at der er udbredt forurening med MTBE. MTBE er konstateret i grundvandet under de 62 lokaliteter (86%). Den gældende grænseværdi for drikkevand på 30 µg/l er overskredet i 38 af undersøgelserne (53%), på 33% af lokaliteterne er MTBE påvist under grænseværdien, og på 14% af lokaliteterne er MTBE ikke påvist i grundvandet.

MTBE er konstateret i 14 ud af 32 undersøgte vandværksboringer i amtet, svarende til MTBE-indhold i 7 vandværker. MTBE er påvist mellem 0,1 og 56 µg/l. To af boringerne har MTBE-indhold over 30 µg/l. Det forurenede grundvand kommer i alle tilfælde fra områder, hvor der er konstateret forurening med benzinstoffer.

Kun 20 ud af 266 vandværker på Fyn vides at have analyseret for MTBE i grundvand eller drikkevand.

Derudover har Fyns Amt analyseret for MTBE i 9 boringer, der indgår i det nationale overvågningsprogram, NOVA2003.

Den gældende grænseværdi for MTBE i grundvand er 30 µg/l, og den reduceres i 2003 til 5 µg/l med en anbefalet værdi på 2 µg/l i henhold til den nye drikkevandsbekendtgørelse, /2/. Grænseværdien for MTBE er fastsat ud fra kriterier for lugt og smag.

1.2 Formål

Projektet tager udgangspunkt i de 43 fynske lokaliteter, hvor der er konstateret MTBE over den gældende grænseværdi for drikkevand enten i det terrænnære eller primære grundvand ved lokaliteten eller i nærliggende vandværksboringer. Alle 43 lokaliteter ligger indenfor indvindingsoplandet til et vandværk.

Formålet med projektet er på baggrund af de 43 lokaliteter at vurdere hvilken risiko forureningerne udgør for de berørte indvindingsoplande samt for den samlede indvinding i Fyns Amt. Sekundært at skalere risikovurderingen til at dække hele Danmark.

Projektet gennemføres dels ud fra foreliggende undersøgelsesrapporter for de 43 lokaliteter dels ud fra geologiske og hydrogeologiske oplysninger samt data om vandforsyninger og indvindingsoplande.

Risikovurderingerne foretages primært overfor MTBE og sekundært overfor benzen i det omfang datamaterialet gør det muligt.

Risikovurderingen foretages i 3 trin:

- vurdering af risikoen for, at den fremtidige grænseværdi for MTBE på 5 µg/l eller grænseværdien for benzen på 1 µg/l overskrides i grundvandet under de 43 lokaliteter
- vurdering af risikoen for forurening af vandværksboringer
- opskalering af resultatet så det svarer til hele Fyns Amt og sekundært til hele Danmark

Risikovurderingen overfor de 43 lokaliteter foretages efter metoderne i Miljøstyrelsens oprydningvejledning, /3/. For indvindingsoplandene er risikovurderingen udført ved en masseberegning suppleret med stoftransportsimulering i en eksisterende hydrogeologisk edb-model for et indvindingsopland på Fyn.

Indledningsvist gennemføres et litteraturstudie med henblik på at opsamle eksisterende viden om MTBEs nedbrydningsforhold i grundvand. Litteraturstudiet sigter bl.a. mod at finde nedbrydningskonstanter, der kan indgå i Miljøstyrelsens regneark JAGG ver. 1.5, /3/.

1.3 Rapportens opbygning

Rapporten indledes med et kapitel om MTBE og dets nedbrydningsforhold (kap. 2) som beskrevet i tilvejebragt litteratur. Dernæst følger et kapitel med risikovurdering i forhold til grundvandet under de 43 lokaliteter (kap. 3). I dette kapitel beskrives, vurderes og diskuteres det anvendte datagrundlag og forudsætningerne for risikovurderingen.

I kapitel 4 vurderes risikoen for forurening af de berørte indvindingsoplande og vandværksboringer. Risikovurderingen foretages ved hjælp af en simpel masseberegning. Desuden udføres en stoftransportsimulering for 3 lokaliteter beliggende i et indvindingsopland i Svendborg.

Risikovurderingen opskales groft til hele Fyns Amt og Danmark i kapitel 5.

Bilagsdelen indeholder i bilag 1 et resumé af indsamlet materiale om MTBE's kemisk-fysiske parametre og en vurdering af nedbrydningskonstanter for stoffet. Bilag 2 indeholder 2 eksempler (bilag 2.1) på de udførte JAGG-beregninger foruden dokumentationen (bilag 2.2) for de udførte beregninger på de 43 lokaliteter. I bilag 3 er vedlagt dokumentationen for masseberegningerne udført for de 37 indvindingsoplande. Bilag 4 indeholder figurer med simuleret udbredelse af MTBE- og benzenforurening samt udviklingen i kildestyrken (figurer til kapitel 4) beregnet i stoftransportmodellen. Endelig indeholder bilag 5 kommentarer fra Oliebranchens Miljøpulje til rapporten.

2 MTBE

Miljøfremmede stoffers opførsel i jord og grundvand afhænger bl.a. af stoffernes fysiske-kemiske egenskaber. Nedenfor er derfor givet et resumé af foreliggende viden om MTBEs fysiske-kemiske egenskaber, grænseværdier for drikkevand/grundvand og nedbrydningsforhold i grundvandsmagasiner. Til sammenligning er desuden anført data for benzen.

2.1 Sammensætning af benzin

I forhold til at beskrive sammensætning af benzin i Danmark mht. til indholdet af benzen og MTBE foreligger der ikke et detaljeret kendskab fra perioden 1980 til 2001. Benzin består af en blanding af flere hundrede forskellige tilsætningsstoffer og kulbrinter herunder benzen og MTBE. Begge stoffer øger benzinenes oktantal, hvilket i mange tilfælde betyder, at højt MTBE indhold, vil kræve lavere benzen indhold, ligesom højt benzen indhold vil kunne betyde lavere MTBE indhold.

Det årlige forbrug på landsplan var i 1990 ca. 100.000 tons, men forbruget faldt til ca. 8.000 tons i 1998, /1/. På baggrund af nye EU-krav til bedre luftkvalitet i områder med tæt trafik forventer oliebranchen, at der i fremtiden skal tilsættes mere MTBE til benzinen. Det samlede forbrug af MTBE må derfor forventes at stige igen fremover, /21/.

I forhold til vurderingerne i dette projekt, er det således benzinenes indhold af benzen og MTBE fra 1980'erne og frem til 2001, som er mest relevant, og ikke den fremtidige udvikling.

Oliebranchens fællesrepræsentation har oplyst, at:

"Brugen af MTBE som tilsætning til benzin i Danmark begyndte i midten af 1980'erne samtidig med udfasningen af bly. Indtil 1990 var det kun benzin produceret på Shell Raffinaderiet i Fredericia samt eventuelt importeret benzin der indeholdt MTBE. Efter 1990 har benzin fra Statoils raffinaderi i Kalundborg også været tilsat MTBE. Indholdet af benzen og MTBE har været styret under hensyn tagen til benzins egenskaber som brændstof uden overskridelse af det maksimale tilladte indhold jf. brændstoffdirektivet.

MTBE har primært været tilsat 98 oktan benzin, men også i mindre grad 95 oktan benzin, mens det har forekommet i 92 oktan, som følge af sammenblanding med de øvrige benzintyper i distributionssystemet. Der er således ikke generelt tilsat MTBE direkte til 92 oktan benzin

I 98 oktan blyfri benzin har indholdet af MTBE været 3,5-11 % v/v, i blyfri 95 oktan til mellem 0,1-5,5% v/v og i 92 oktan til mellem 0-0,3% v/v /4/. Intervallet afspejler bl.a. en årstidsvariation, idet MTBE indholdet typisk er højest om sommeren.

Fra maj 2001 og frem til udgangen af 2004 har OFR givet tilsagn om, at der ikke tilsættes MTBE til 92 og 95 oktan benzin solgt i Danmark, men der kan forekomme MTBE i begge benzintyper i op til 0,3 % v/v. Salget af 98 oktan benzin er begrænset til 124 benzinstationer. Fra 1. kv. 2001 til 2. kv. 2002 er der sket en reduktion i salget af 98 oktan benzin fra 20 % af det samlede benzinsalg til 1,5 %. I 2005 ændres reglerne for benzins maksimale indhold af aromater til max. 35 % v/v, hvilket kan betyde, at der igen tilsættes MTBE til 92 og 95 oktan.

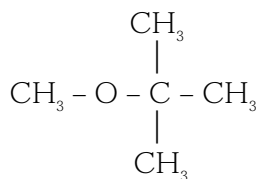
Benzenindholdet i benzin har som følge af lovgivning siden 1985 været faldende fra et niveau på 4-4,5 % til under 1 % fra 1995. MTBE og benzen har hver især et oktantal på ca. 115. Alt andet lige vil benzin med højt indhold af benzen derfor ikke have samme behov for tilsætning af MTBE som benzin med lavt indhold af benzen for at holde det ønskede oktantal. Det har på de danske raffinaderier været muligt at reducere indholdet af benzen i benzin løbende uden et tilsvarende behov for øget tilsætning af MTBE.”

Miljøstyrelsen foretager stikprøver af benzinsammensætningen. MTBE indholdet er i 2001 målt til følgende: 0,166-12,76 % v/v i 98 oktan, 0,03-9,28 % v/v i 95 oktan og 0,010-0,014 % v/v i 92 oktan. Benzenindholdet lå i intervallet mellem 0,7 og 0,9% v/v opgjort samlet for 92, 95 og 98 oktan, /24/.

Benzenindholdet i benzin har indtil 1995 udgjort indtil 3,5 %, og er herefter reduceret til under 1 %, jf. /5/.

2.2 Fysisk-kemiske egenskaber

MTBE er en ether og indeholder ilt jf. nedenstående strukturformel. Iltatomet gør MTBE polær og dermed relativt letopløselig i vand. Samtidig har MTBE en ringe adsorption til organisk stof i jord og grundvand, jf. tabel 2.1.



Tabel 2.1. Fysisk-kemiske egenskaber for MTBE og benzen, jf. bilag 1, /3/ og /6/

Stof	Molvægt g/mol	Damptryk Pa	Vandopløselighed mg/l	Henrys konstant	Diffusionskoefficient i luft m ² /s	log K _{ow}
MTBE	88,2	33.330	50.000	0,02	8*10 ⁻⁶	1,06
Benzen	78,1	12.700	1.760	0,22	9,3*10 ⁻⁶	2,1

Sammenlignes de fysisk-kemiske egenskaber, jf. tabel 2.1 for de to stoffer ses, at MTBE er mere villig til at blive opløst i vand end benzen. MTBE opløst i vand har en ringe flygtighed. Benzen damper derimod lettere af fra vandfasen, jf. tabel 2.1. MTBE bindes meget lidt til organisk stof i forhold til benzen.

De fysisk-kemiske egenskaber medfører, at MTBE stort set følger vandets bevægelser, hvorimod benzen til en vis grad kan fordampe eller bindes til jordens organiske fraktion.

I bilag 1 er indsamlet data for MTBE's damptryk, vandopløselighed, diffusionskvotient i luft, octanol-vand koefficienten samt nedbrydningshastigheder under forskellige forhold.

2.3 Grænseværdier i grundvand/drikkevand

Grænseværdien for MTBE i drikkevand/grundvand er i dag 30 µg/l, /2/. Grænseværdien reduceres til 5 µg/l med en anbefalet værdi på 2 µg/l, idet nogle få personer kan smage/lugte MTBE ned til dette niveau. Grænseværdien er således smags-/lugtbaseret. Reduktionen træder i kraft i 2003, jf. den nye drikkevandsbekendtgørelse, /2/.

US EPA vurderer, at en sundhedsbaseret drikkevandsværdi ligger i størrelsesordenen 20-40 µg MTBE/l eller der under. I den forbindelse nævnes det, at MTBE i drikkevand i høje koncentrationer, anses for potentiel carcinogen, /22/.

For benzen er grænseværdien i grundvand og drikkevand 1 µg/l baseret på sundhedsmæssige vurderinger.

Ordet grænseværdi anvendes i denne rapport for både grundvandskriterier i henhold til oprydningvejledningen, /3/ og for kvalitetskrav til drikkevand i henhold til drikkevandsbekendtgørelsen, jf. /2/.

2.4 Nedbrydningsforhold for MTBE

Der er foretaget et litteraturstudie af nedbrydningsforholdene for MTBE under forskellige redoxforhold ved felt- og laboratorieforsøg. Litteraturstudiet er sammenfattet i bilag 1. I tabel 2.2 gives en oversigt over de forskellige halveringstider og nedbrydningskonstanter for MTBE fundet ved feltforsøg.

Tabel 2.2: Halveringstider ($T_{1/2}$) og nedbrydningskonstanter (k) for MTBE i feltforsøg. Parenteser angiver estimeret nedbrydningsorden.

Redoxforhold	Kinetik	$T_{1/2}$	k	Reference, jf. bilag 1
Aerob	(1 ^{ste} orden)	ca. 2 år	(ca. 0,0009 d ⁻¹)	Johnson et al. (2000)
Aerob	1 ^{ste} orden	693 dage	0,0010 d ⁻¹	Borden et al. (1997)
Aerob	1 ^{ste} orden	577 dage	0,0012 d ⁻¹	Schirmer et al. (1999)
Aerob	(1 ^{ste} orden)	756 dage	(0,0026 d ⁻¹)	Stocking et al. (2000) efter Barcelona & Jaglowski, 1999
Anaerob og aerob	1 ^{ste} orden	274 dage	0,00253 d ⁻¹ (n=137)	Reid et al. (1999)
Methanogene	1 ^{ste} orden	94 dage	0,007 d ⁻¹ ± 0,003 d ⁻¹ (95% konfidensinterval)	Wilson et al. (2001)
Alle typer	(1 ^{ste} orden)	Ikke bionedbrydelig" => $T_{1/2} = 1 \cdot 10^6$ dage.	0,000-0,008 d ⁻¹ (6,9*10 ⁻⁷ d ⁻¹)	Anthony et al. (1999) EU (2001)

På baggrund af litteraturstudiet er følgende værdier for nedbrydningskonstanter for MTBE valgt som udgangspunkt for risikovurderingen i de efterfølgende afsnit:

- Overvejende oxiderede forhold: $k = 0,0012 \text{ d}^{-1}$. Denne værdi stemmer med resultater fra flere feltforsøg, jf. bilag 1.
- Overvejende reducerede forhold: $k = 0 \text{ d}^{-1}$. Der findes kun få data for nedbrydning af MTBE under reducerede forhold i felten. Generelt tyder data på, at MTBE er svært nedbrydelig under reducerede forhold. Da de foreliggende halveringstider ikke vurderes tilstrækkeligt troværdige til fastsættelse af en nedbrydningskonstant for MTBE under reducerede forhold er det valgt at sætte den til 0.

2.5 Nedbrydningsforhold for benzen

Benzen nedbrydes lettest under aerobe forhold. Under anaerobe forhold er benzen derimod svært nedbrydelig. Benzens nedbrydelighed under nitratreducerende forhold er ifølge /7/ tvivlsom.

Ifølge oprydningvejledningen, /3/, har benzen en nedbrydningskonstant på 0,01-0,2 d⁻¹ under aerobe forhold, og 0,001-0,003 d⁻¹ under anaerobe forhold.

I den følgende risikovurdering er valgt at anvende standardværdierne i JAGG nemlig;

- Overvejende oxiderede forhold: $k = 0,01 \text{ d}^{-1}$.
- Overvejende reducerede forhold: $k = 0,001 \text{ d}^{-1}$.

Nedbrydningskonstanterne for MTBE og benzen viser, at benzen er noget mere nedbrydelig end MTBE under aerobe forhold. Under anaerobe forhold, hvor der ikke er troværdige nedbrydningskonstanter for MTBE, forventes benzen også at være mere nedbrydelig end MTBE.

3 Risikovurdering af 43 lokaliteter

3.1 Baggrund og formål

I det følgende vurderes risikoen for, at grænseværdierne for MTBE og benzen overskrides i grundvandet under 43 MTBE-forurenede lokaliteter i Fyns Amt. For MTBE er der taget udgangspunkt i den fremtidige grænseværdi på 5 µg/l.

Undersøgelserapporterne for de 43 MTBE-forurenede lokaliteter er stillet til rådighed af Fyns Amt. Data fra disse rapporter udgør grundlaget for risikovurderingen. Datamaterialets omfang og kvalitet er beskrevet i afsnit 3.2, og i afsnit 3.3 er sammenhængen mellem de målte koncentrationer af MTBE og benzen i terrænnært og primært grundvand beskrevet.

Selve risikovurderingen er foretaget i henhold til Miljøstyrelsens oprydningvejledning, /3/, og ved hjælp af regnearksprogrammet JAGG version 1.5. Beregningsmetode og anvendte data til beregningerne er beskrevet i afsnit 3.4, efterfulgt af resultaterne af risikovurderingen i afsnit 3.5. Afsnittet er afrundet med en sammenfatning, afsnit 3.6.

3.2 Datagrundlag

3.2.1 Datamateriale og databehandling

Det benyttede datamateriale er som nævnt udleveret af Fyns Amt. Der er for hver af de 43 lokaliteter udleveret den seneste rapport med angivelse af grundvandskoncentrationer for både MTBE og benzen. For 3 lokaliteter på Vestergade i Svendborg er samtlige undersøgelses- og afværgerapporter dog udleveret.

Fyns Amt har forestået undersøgelserne på 17 af de 43 lokaliteter, mens Oliebranchens Miljøpulje har forestået undersøgelserne på 21 af lokaliteterne. På de sidste 5 lokaliteter er undersøgelserne forestået af olieselskaber.

Det gælder for hovedparten af undersøgelserne, at der ikke var kendskab til forurening inden undersøgelsen for evt. MTBE-forurening. Der var ligeledes ikke kendskab til lokaliteternes aldersmæssige fordeling og indretningsmæssige forhold.

Det udleverede datamateriale er gennemlæst med henblik på at udtrække de nødvendige data til opgaven. De primært søgte data omhandler forureningskoncentrationer og -udbredelse, filtersætning i borer, beskrivelse af geologiske lag samt pejleresultater.

Det er vigtigt at være opmærksom på, at de i nærværende rapport beskrevne og anvendte koncentrationer for MTBE og benzen er udvalgt som de højest målte koncentrationer på hver enkelt lokalitet uafhængig af boringens placering i forhold til forureningsudbredelse og uafhængigt af, om der er påvist både MTBE og benzen i samme boringsfilter. Baggrunden herfor er, at risikovurderingen ønskes udført på netop de højest påviste koncentrationer på hver enkelt lokalitet.

På en del af de lokaliteter, som er undersøgt under Oliebranchens Miljøpulje, er der efter rapporternes udarbejdelse udført afværgetiltag. På disse lokaliteter er kilden til de i dette afsnit angivne grundvandskoncentrationer således ikke længere tilstede. Endvidere er den nuværende koncentration i det terrænnære grundvand antageligt lavere end de i dette afsnit angivne koncentrationer. Såfremt forureningen er spredt uden for det område, som er/bliver oprenset, vil der dog stadig kunne foregå en spredning af forurening mod og i de dybereliggende magasiner i koncentrationer, som svarer til de i undersøgelsesrapporterne angivne. Derfor kan risikovurderingen også være relevant på de lokaliteter, hvor der er foretaget oprensning af de terrænnære jordlag og magasiner.

3.2.2 Undersøgelsesrapporterne for de 43 lokaliteter

De gennemgåede rapporter for de 40 lokaliteter er generelt seneste udarbejdede rapport for hver lokalitet og dateret inden for perioden 1997 til 2001, dog er et par rapporter fra 1994 og tidligere. Rapporterne er fordelt på undersøgelsesniveauerne: Industrikortlægning, forureningsundersøgelser, supplerende forureningsundersøgelser, statusrapporter for afværgepumpning/in-situ-oprensninger og afrapportering af afgravninger. Rapporternes antal inden for de forskellige undersøgelsesniveauer er angivet i tabel 3.1 for alle 43 lokaliteter. Referencer for de enkelte rapporter er angivet i bilag 2.2.

Industrikortlægningerne er udført for Fyns Amt. De er ensartet udført og består af en poreluftundersøgelse omkring tankningsanlæg suppleret med 1-3 lokaliseringsboringer samt 1-2 filtersatte boringer. Formålet med undersøgelsen har primært været at skabe overblik over, hvorvidt den undersøgte lokalitet er forurennet.

Forureningsundersøgelserne er primært udført for Oliebranchens Miljøpulje. Undersøgelserne består primært af analyse af jord- og grundvandsprøver fra et antal boringer, som på nogle lokaliteter overstiger 10. Formålet med undersøgelserne har primært været at afgrænse en kendt forurening samt at skabe overblik over de maksimale koncentrationer på lokaliteten.

De supplerende undersøgelser er udført for Oliebranchens Miljøpulje og benzinselskaber. Undersøgelserne består af analyse af poreluft-, jord- og grundvandsprøver fra et antal boringer, som på nogle lokaliteter overstiger 10. Der er tidligere udført undersøgelser på lokaliteterne, og formålet med de supplerende undersøgelser er primært at afgrænse de tidligere påviste forurenings udbredelse. De tidligere undersøgelsesresultater er resumeret i rapporterne.

Statusrapporterne for afværgepumpning/in-situ oprensning er udført for Oliebranchens Miljøpulje og et benzinselskab. Der er tidligere udført undersøgelser på lokaliteterne. Formålet med rapporterne er primært at dokumentere udviklingen i grundvandskoncentrationerne. Afværgeboring og mindst én monitoringsboring er placeret i forureningens kildeområde.

Oprensningsrapporter for afgravninger er udarbejdet for Oliebranchens Miljøpulje. Formålet med rapporterne er at dokumentere jordhåndteringen og omfanget af restforurening. Der er tidligere udført forureningsundersøgelser på lokaliteterne og udvalgte af disse resultater er resumeret i rapporterne.

Tabel 3.1 Fordelingen af undersøgelsesniveauer på de 43 lokaliteter med angivelse af, i hvilket magasin undersøgelsesboringerne er fil tersat.

Undersøgelsesniveau	Antal lokaliteter							
	I alt	Fyns Amt	OM	Private	Terrænnært grundvand		Primært grundvandsmagasin	
					1 undersøgelsesboring	Flere undersøgelsesboringer ¹⁾	1 undersøgelsesboring	Flere undersøgelsesboringer ²⁾
Industrikortlægning	16	16	0	0	13	3	0	0
Forureningsundersøgelse	15	0	14	1	1	15	0	1
Supplerende forureningsundersøgelse	5	1	2	2	1	3	0	2
Statusrapport for afværgepumpning/in-situ oprensning	3	0	1	2	0	1	0	3
Oprensningsrapport (afgravning)	4	0	4	0	0	3	1	2
1): Der er ved undersøgelserne udført mellem 2 og 12 undersøgelsesboringer								
2): Der er ved undersøgelserne udført mellem 2 og 8 undersøgelsesboringer								

Det ses, at en stor del af datamaterialet indeholder begrænsede undersøgelser (industrikortlægninger og forureningsundersøgelser), mens en mindre del af datamaterialet indeholder omfattende undersøgelser.

På 15 (13+1+1) af de 43 lokaliteter er der kun udført en begrænset forureningsundersøgelse, hvor undersøgelsen har bestået af én kort, filtersat boring. For disse lokaliteter stammer den i risikovurderingen anvendte koncentration af MTBE og benzen fra denne ene boring. Boringen på hver af disse lokaliteter er ved planlægningen af undersøgelsen forventeligt placeret ud fra de historiske oplysninger. Det er erfaringsmæssigt vanskeligt at placere en enkelt boring optimalt på en lokalitet, hvor forureningsforholdene ikke tidligere er belyst. Det vurderes derfor, at de ved undersøgelserne målte koncentrationer anvendt til risikovurderingen, næppe repræsenterer den højeste koncentration i det terrænnære grundvand på lokaliteten. Risikovurderingen for disse lokaliteter må derfor forventes at give resultater, som fører til undervurdering af risikoen.

På 18 (15+3) af de 43 lokaliteter er der udført en enkelt undersøgelse men med flere filtersatte undersøgelsesboringer. Som i den forrige gruppe er disse boringer afsat på baggrund af historiske oplysninger. Med det øgede antal boringer må det forventes, at der er større sandsynlighed for at påvise koncentrationer, som repræsenterer de højeste koncentrationer på grunden, end i forrige gruppe. Risikovurderingen for disse lokaliteter vil derfor i højere grad være baseret på et datamateriale, som svarer til den reelle risiko.

På de resterende 10 af de 43 lokaliteter er der udført mere end én undersøgelse. Da undersøgelserne især har været rettet mod forurening med benzin og olie, må det antages, at i hvert fald benzinfureningen er rimeligt godt kortlagt. For MTBE er forholdet lidt anderledes, fordi MTBE først er begyndt at indgå i overvågningsprogrammerne og vandværksanalyserne i de sidste år af 1990'erne. Antallet af vandprøver, som er analyseret for MTBE, er derfor generelt begrænset til 1-2 af boringerne på lokaliteten, og det er kun i få boringer, at der målt for MTBE mere end én gang. Derfor vurderes det, at kortlægningen af MTBE generelt for disse lokaliteter er mangelfuld.

På 9 af de 43 lokaliteter er der analyseret for både MTBE og benzen i det primære magasin. Her har der således været mulighed for at påvise en evt. forureningsspredning til det primære magasin i de tilfælde hvor filteret har været placeret korrekt.

3.2.3 Vurdering af datakvalitet

Med det specifikke formål at trække data ud til brug i JAGG-regnearket, jf. bilag 2.1 og 2.2., vurderes det generelt, at materialet er af meget varierende kvalitet. Det har dog været muligt at udtrække de nødvendige data fra rapporterne.

Det har endvidere i de fleste tilfælde været nødvendigt at supplere op med data fortrinsvist om det primære grundvandsmagasin, hvortil oplysninger er hentet fra Fyns Amts potentialekort over det primære grundvandsmagasin og geologiske basisdatakort.

På 9 af de 43 lokaliteter findes der analyseresultater fra det primære magasin, som har kunnet bruges til risikovurderingen. På de øvrige 34 lokaliteter er udgangspunktet for de udførte risikovurderinger en koncentration målt i det terrænnære magasin. Disse risikovurderinger involverer derfor også vertikal transport til det primære magasin.

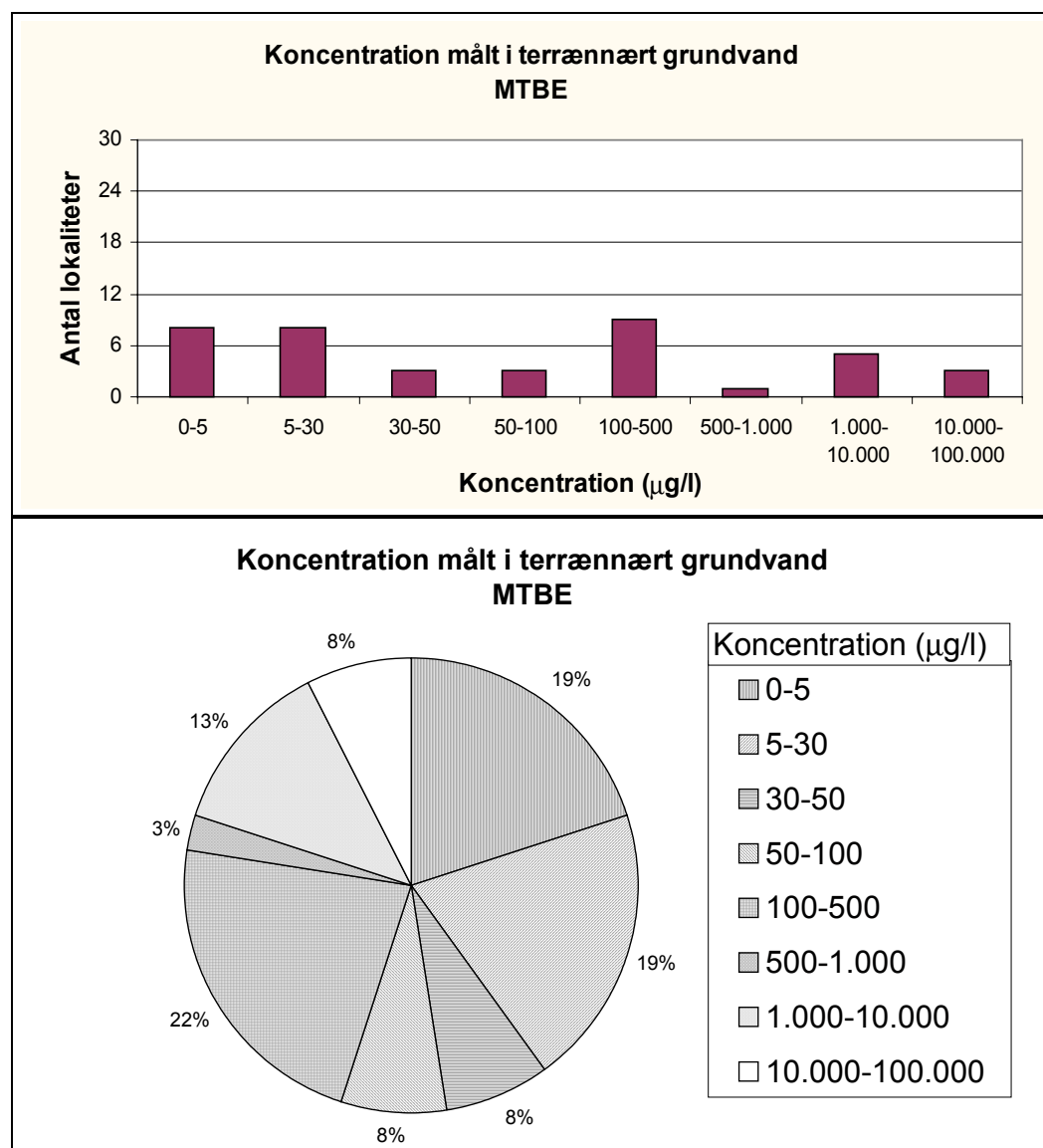
Generelt vurderes det, at de anvendte undersøgelser er udført med det formål at lokalisere området med det højeste benzinniveau og dermed benzenkoncentrationen snarere end den højeste MTBE-koncentration. Det vurderes, at vandprøverne på omkring 20% af de undersøgte lokaliteter er udtaget inden for selve kildeområdet enten i det terrænnære eller det primære grundvand, således at den målte MTBE- og benzenkoncentration må forventes af samme størrelsesorden som den maksimale koncentration på lokaliteten. På de resterende lokaliteter vurderes vandprøverne at være udtaget på grænsen af eller uden for kildeområdet. Disse koncentrationer vurderes derfor ikke at repræsentere de maksimale koncentrationer i kildeområdet, men i nogle tilfælde nok den maksimale koncentration i den aktuelle afstand fra kildeområdet.

3.3 Målte koncentration af MTBE og benzen

3.3.1 Fordeling af målte koncentrationer

På de 43 lokaliteter er niveauerne af de målte koncentrationer af MTBE og benzen i terrænnært grundvand og det primære grundvandsmagasin som illustreret i figur 3.1-3.2 hhv. figur 3.3-3.4. For de målte koncentrationer i terrænnært grundvand er endvidere angivet den procentvise fordeling.

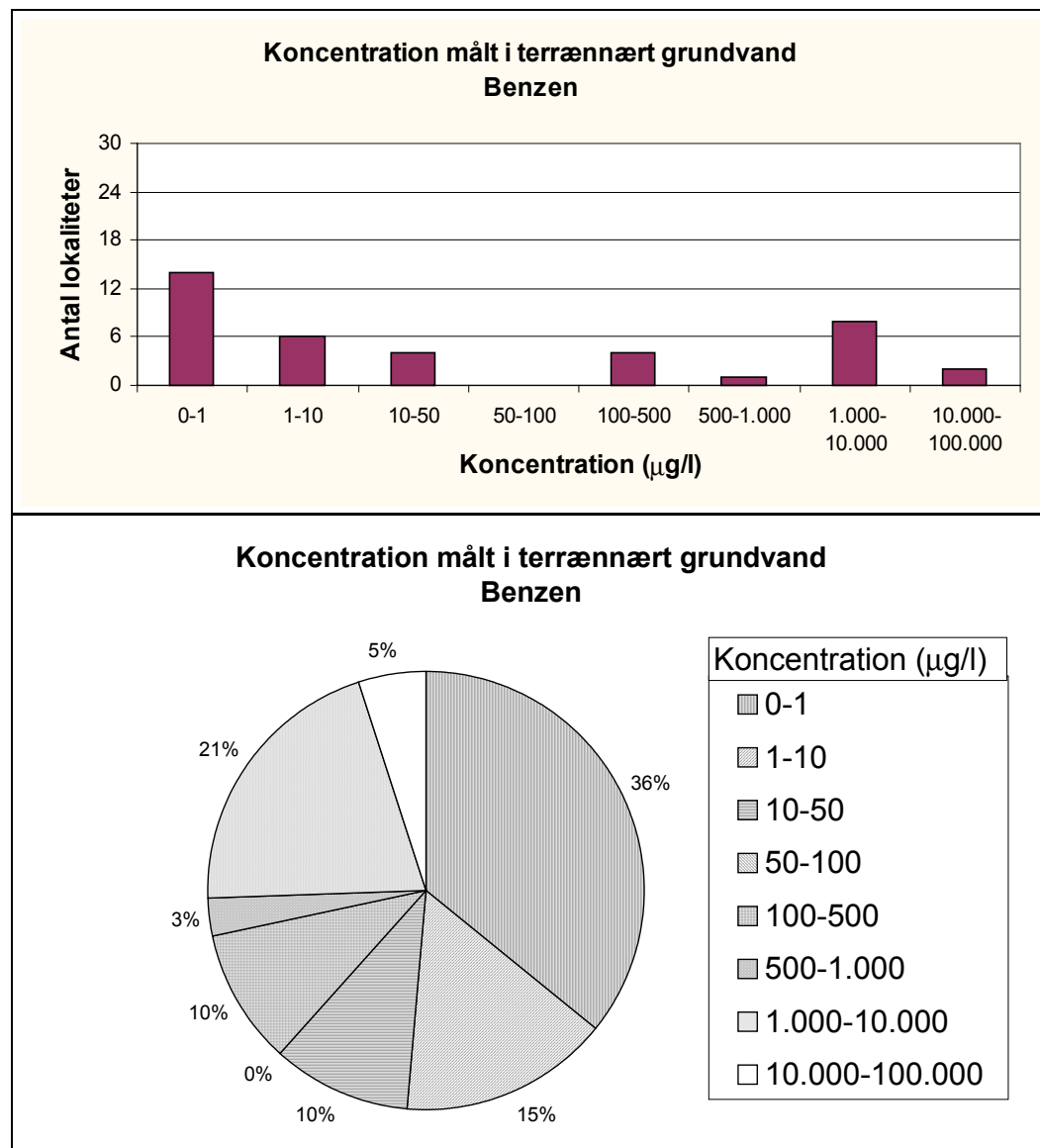
Figur 3.1 Niveauerne og fordelingen af den højeste målte koncentration af MTBE i terrænnært grundvand på hver lokalitet. 40 lokaliteter, hvorfra der er udtaget vandprøver i det terrænnære grundvand.



Det ses af figur 3.1, at de højeste målte koncentrationer af MTBE på hver enkelt af lokaliteterne er jævnt fordelt på de angivne koncentrationsintervaller. Der er målt MTBE-koncentrationer på op til 53 mg/l i terrænnært grundvand.

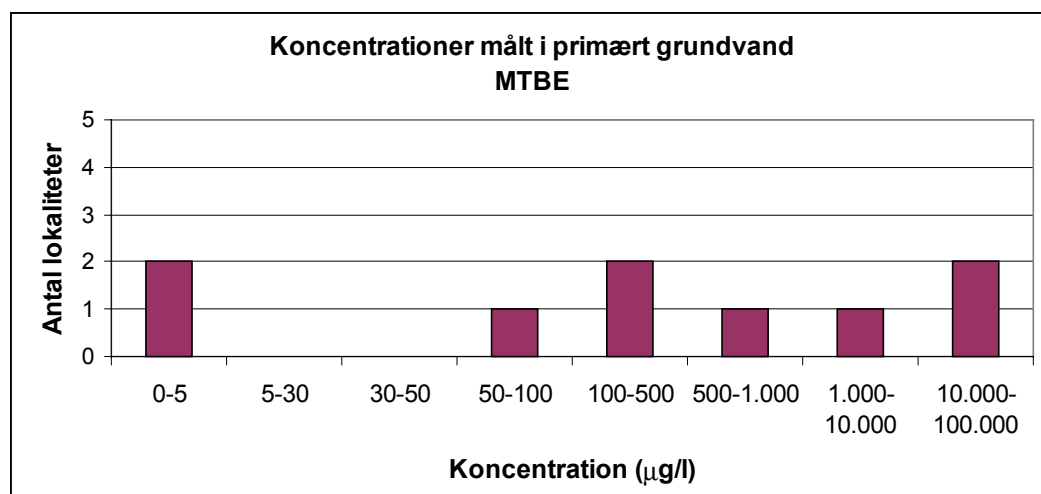
Det ses også af figur 3.1, at den højeste målte koncentration på 81% (100-19) af lokaliteterne ligger over den fremtidige grænseværdi på 5 µg/l.

Figur 3.2 Niveauerne og fordelingen af målte koncentrationer af benzen i terrænnært grundvand. 39 lokaliteter, hvorfra der er udtaget vandprøver i det terrænnære grundvand.



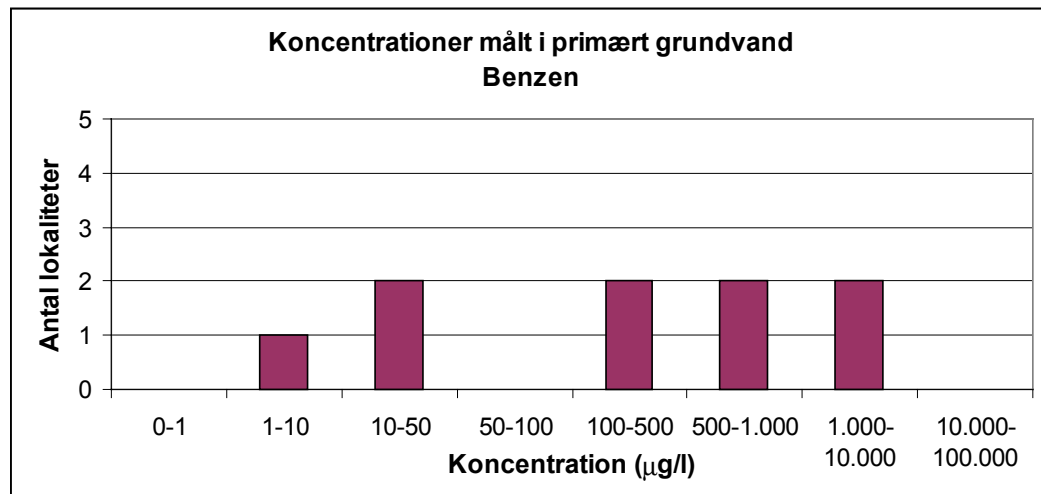
Benzen er analyseret i vandprøver fra 39 lokaliteter. Det ses af figur 3.2, at blandt de 39 lokaliteter er der en overvægt af lokaliteter med relativt lave koncentrationer af benzen. Endvidere er der en relativt stor gruppe med høje koncentrationer af benzen. Der er målt koncentrationer af benzen på op til 27 mg/l i terrænnært grundvand. På én lokalitet er der ikke målt for benzen, men den højeste koncentration af benzen er bestemt til 110 mg/l. Det ses også af figur 3.2, at den højeste målte koncentration på 64% (100-36) af lokaliteterne ligger over grænseværdien på 1 µg/l.

Figur 3.3 Niveauerne af den højeste målte koncentration af MTBE i det primære grundvandsmagasin på hver lokalitet, hvorfra der er udtaget vandprøver i det primære magasin. 9 lokaliteter.



Det ses af figur 3.3, at de højeste målte koncentrationer af MTBE i det primære magasin på hver enkelt lokalitet overvejende ligger over den fremtidige grænseværdi. Den højeste målte koncentration ligger på 29 mg/l.

Figur 3.4 Niveauerne af den højeste målte koncentration af benzen i det primære grundvandsmagasin på hver lokalitet, hvorfra der er udtaget vandprøver i det primære magasin. 9 lokaliteter.



Det ses af figur 3.4, at de højeste målte koncentrationer af benzen i det primære magasin på hver enkelt lokalitet ligger over grænseværdien. Den højeste målte koncentration ligger på 8,2 mg/l.

3.3.2 Sammenhæng mellem målte koncentrationer af MTBE og benzen

MTBE har siden 1985 udgjort mellem 1-10% af benzinen (98 oktan samt for nogle produkter 95 oktan). Benzen har indtil 1995 udgjort op til 3,5 % af benzinen, hvorefter indholdet er reduceret til under 1%, /5/.

Med udgangspunkt heri, må det forventes, at MTBE og benzen ses i et forhold på 0,3-10 umiddelbart efter udsivning.

Da MTBE er mere vandopløselig end benzen, er forholdet mellem de 2 stoffer efter opblanding i vandfasen 0,4-13. Dette forhold vil holdes konstant, såfremt forureningstransporten er upåvirket af sorption og nedbrydning. I tabel 3.2 er vist forholdet mellem MTBE og benzen i datamaterialet bestående af 40 sæt analyser fra det terrænnære grundvand og 9 sæt analyser fra det primære grundvandsmagasin. Endvidere er tykkelsen af de infiltrerede jordlag angivet som indikation for transporttiden.

Der er i det terrænnære grundvand målt indhold af MTBE og benzen på hhv. 0,00022-53 mg/l og indtil 27 mg/l. I det primære grundvand er der målt MTBE og benzen på hhv. 0,00022-29 mg/l og 0,005-8,2 mg/l.

Tabel 3.2 Forholdet mellem MTBE- og benzen-koncentrationen målt på hver lokalitet i hvert magasin. Tabellen viser, hvor mange lokaliteter, hvorpå de angivne forhold observeres i de 2 magasintyper. Endvidere er tykkelsen af de infiltrerede jordlag angivet som interval for de aktuelle lokaliteter.

$f = \frac{\text{MTBE - koncentration}}{\text{Benzenkoncentration}}$	$f > 10$	$f = [1;10]$	$f = [0,1;1]$	$f = [0,01;0,1]$	$f < 0,01$	Benzen ikke påvist
Terrænnært grundvand	10	6	9	5	2	11
Dybde til terrænnært magasin (m)	0,2-12	0,6-3	0,2-5	1,3-5	2-10	1-7
Primært magasin	2	5	1	1	2	1
Tykkelse af magasinadskillelse (m)	5-9	0,4-6	15	6	9	

Det ses af tabel 3.2, at på 8 lokaliteter er benzen påvist i en koncentration mere end en faktor 10 lavere end MTBE koncentrationen og tilsvarende på 2 lokaliteter i det primære grundvandsmagasin. Dette kunne indikere, at der foregår nedbrydning af benzen eller, at boringen er placeret nedstrøms det forurenede område.

Der er på 6 lokaliteter påvist et forhold på mellem 1 og 10 i det terrænnære grundvand og tilsvarende på 4 lokaliteter i det primære grundvandsmagasin. Dette indikerer, at forureningstransporten i disse magasiner er tilnærmelsesvis upåvirket af sorption og nedbrydning. Det ses også af tabellen, at dette forhold mellem MTBE og benzen er påvist i de mest terrænnære primære grundvandsmagasiner.

På 9 lokaliteter er påvist et forhold på mellem 0,1 og 1 i det terrænnære grundvand og på 1 lokalitet i det primære grundvandsmagasin, hvilket ligeledes kan indikere, at forureningstransporten i disse magasiner er tilnærmelsesvis upåvirket af sorption og nedbrydning. Det er mere overraskende, at dette forhold også er påvist i en prøve udtaget fra et magasin under 15 m ler.

På 7 lokaliteter er der påvist benzen i en koncentration mere end en faktor 10 højere end MTBE koncentrationen i det terrænnære grundvand og tilsvarende på 2 lokaliteter i det primære grundvandsmagasin. Dette kan indikere, at sorption har en betydende rolle for forureningstransporten, idet MTBE i højere grad end benzen er udvasket. En anden forklaring kan være, at den primære del af forureningen består af benzin uden indhold af MTBE.

Endelig er der på 10 af lokaliteterne slet ikke påvist benzen, hvilket indikerer, at borerne er sat udenfor det forurenede område.

Det må konkluderes, at der på lidt under halvdelen af lokaliteterne ses MTBE og benzen i et indbyrdes forhold svarende til, hvad der må forventes i et frisk spild af benzin. På en næsten lige så stor del af lokaliteterne indikerer de målte koncentrationer, at der enten foregår hurtigere nedbrydning af benzen end MTBE, eller at der foregår hurtigere udvaskning af MTBE end benzen. Indikationerne kan dog ikke karakteriseres som velunderbyggede ved nærværende data.

3.3.3 Sammenhængen mellem målte koncentrationer i det terrænnære og primære grundvand

På 6 af de lokaliteter, hvor der er analyseret for både MTBE og benzen i det primære magasin, er der endvidere analyseret for MTBE og benzen i det terrænnære grundvand. Datamaterialet på disse 6 lokaliteter skulle umiddelbart give mulighed for at belyse koncentrationsudviklingen for MTBE og benzen under infiltrationen til det primære magasin. De målte koncentrationer på disse 6 lokaliteter er gengivet i tabel 3.3.

Tabel 3.3 Sammenstilling af de højeste koncentrationer målt i hhv. terrænnært grundvand og primært magasin på de 6 lokaliteter, hvor der er analyseret for både MTBE og benzen i begge magasiner. ☼ angiver, at lokaliteten hører til en af de ca. 20%, jf. afsnit 3.2.3

		Koncentration i terrænnært grundvand	Koncentration i primært magasin
		(µg/l)	(µg/l)
Bystævnet 17 ☼ Lok.nr. 483-04022	MTBE	330	730
	Benzen	1.800	190
Vestergade 78 Lok.nr. 479-00055	MTBE	4.000	1.000
	Benzen	3,1	170
Svendborgvej 324 Lok.nr. 461-06335	MTBE	85	65
	Benzen	2.700	33
Vestergade 100 Lok.nr. 479-00044	MTBE	5.100	2,0
	Benzen	490	980
Tvedvej 71 Lok.nr. 479.04014	MTBE	6.300	0,22
	Benzen	110.000 (benzin)	5 (benzen+toluen)
Tårup Byvej 7 ☼ Lok.nr. 495-04005	MTBE	50	10.000
	Benzen	8.600	8.200

Af tabel 3.3 fremgår det, at det umiddelbart er svært at se en tendens eller bare en sammenhæng mellem de målte koncentrationer af MTBE og benzen i de 2 magasiner. På flere af lokaliteterne er der målt den højeste koncentration af ét af de 2 stoffer i det primære magasin, hvilket er i modstrid med den umiddelbare forventning om, at de højeste koncentrationer skulle findes i det terrænnære magasin. Datamaterialet giver således ikke umiddelbart mulighed for at belyse koncentrationsudviklingen under infiltration fra terræn til det primære magasin.

Det vurderes, at en væsentlig grund til, at datamaterialet ikke viser den forventede tendens er, at kun få af de påviste niveauer af MTBE og benzen i det terrænnære grundvand repræsenterer den sande maksimale koncentration på de 6 lokaliteter. At der f.eks. ikke er påvist højere koncentration af benzen end 3,1 µg/l på Vestergade 78, hvor der findes en større benzinforurening, vurderes at være et udtryk for, at undersøgelsesboringerne er placeret umiddelbart uden for benzinforureningens kildeområde.

På Tårup Byvej kan det endvidere ikke forklares, hvordan der kan findes 10.000 µg/l MTBE i det primære magasin, hvis den sande koncentration i det terrænnære grundvand i kildeområdet er blot 50 µg/l. Størrelsesordenen af den faktiske maksimale koncentration på de betragtede lokaliteter diskuteres nærmere i afsnit 3.4.2.

3.4 JAGG-beregningerne

3.4.1 Model

I det følgende beskrives de forudsætninger, hydrogeologiske principper og modelinputs, der er anvendt til beregning af forureningsrisikoen for det primære grundvandsmagasin ved hjælp af Miljøstyrelsens regneark til risikovurdering, JAGG ver. 1.5. Der er givet 2 regneeksempler i bilag 2.1.

Beregningerne af spredningen af MTBE og benzen fra kildeområdet er for 35 af de 43 lokaliteter baseret på målte koncentrationer af de 2 stoffer i terrænnære, lokale grundvandsmagasiner, mens beregningerne for de resterende 8 lokaliteter er baseret på målte koncentrationer fra det primære grundvandsmagasin. Ind- og uddata fra beregningerne er angivet i bilag 2.2.

Beregningerne er udført på baggrund af en geologisk modelprofil for de betragtede lokaliteter bestående af følgende geologiske lag under de øvre, lavpermeable lag:

- Et terrænnært, lokalt, sekundært sandmagasin af ringe mægtighed og ringe horisontal strømning.
- Et lavpermeabelt, regionalt lag som udgør en magasinadskillelse.
- Det primære grundvandsmagasin, hvor der er kraftig horisontal strømning.

3.4.2 Koncentrationer målt i det primære magasin

Spredningen i det primære magasin er beregnet med JAGG-regnearkets moduler "Grundvand, trin Ib, IIb og III".

De i rapporterne målte koncentrationer og den angivne længde af det filter, hvori koncentrationerne er målt, er anvendt. Da filterlængden ved alle disse lokaliteter er større end 0,25 m, vil JAGG-regnearket øge den målte koncentration, fordi den målte koncentration opfattes som fortyndet med forholdet mellem 0,25 m og filterets reelle længde.

3.4.3 Koncentrationer målt i det terrænnære magasin

3.4.3.1 Vertikal transport til det primære magasin

Den vertikale transport mellem det terrænnære grundvand og det primære grundvandsmagasin er regnet som konservativ transport, således at koncentrationen umiddelbart over det primære grundvandsmagasin er lig den målte koncentration i det terrænnære grundvand.

Den vertikale transporthastighed anvendes til at beregne opblandingsforholdet i det primære grundvandsmagasin. På baggrund af trykdifferensen mellem det terrænnære, sekundære magasin og det primære magasin, samt data for det mellemliggende lavpermeable lag er Darcy's lov benyttet til at beregne den vertikale transporthastighed mellem magasinerne.

Darcy's lov involverer, udover gradienten forårsaget af trykdifferensen, det betragtede lags hydrauliske ledningsevne. For alle 43 betragtede lokaliteter er laget beskrevet som enten moræneler eller (prækvartær) ler. Laget er derudover ikke videre beskrevet for de 43 lokaliteter. Det er derfor valgt at benytte samme værdi for alle 43 lokaliteter. Værdien for den vertikale, hydrauliske ledningsevne er sat til $1 \cdot 10^{-8}$ m/s. I Miljøstyrelsens oprydningvejledning, /3/, er der angivet værdier for lerlag fra $1,3 \cdot 10^{-5}$ m/s i dybden 1,5 m under terræn faldende til $2,5 \cdot 10^{-7}$ m/s i dybde 4,5 m under terræn. Den vertikale hydrauliske ledningsevne i leren forventes at falde med dybden og med få undtagelser findes bunden af lerlaget på de betragtede lokaliteter i væsentlig større dybde end 4,5 m, således at den vertikale hydrauliske ledningsevne må forventes at være mindre end $2,5 \cdot 10^{-7}$ m/s i bunden af lerlaget. Det er derfor alt i alt vurderet, at det ikke er fagligt velbegrunderet at sætte værdien under $1 \cdot 10^{-8}$ m/s, hvorfor denne værdi er valgt.

Den beregnede værdi er efterfølgende sammenlignet med den nettonedbørmængde, som i JAGG-programmet er angivet som standard for det aktuelle område. I tilfælde, hvor den vertikale transporthastighed er beregnet til en værdi større end nettonedbøren, er den vertikale transporthastighed sat lig nettonedbøren. Dette er begrundet i en vandbalancebetragtning, idet vandmængden, som fjernes fra det terrænnære magasin (som gennemsnit) ikke kan overgå vandmængden som tilføres.

3.4.3.2 Opblanding i det primære magasin

Opblandingen i det primære magasin er beregnet med JAGG-regnearkets modul "Grundvand, trin Ia". Værdien for nedbørsmængden er bestemt som den laveste værdi af den vertikale darcyhastighed hhv. nettonedbøren som ovenfor nævnt. Den horisontale, hydrauliske ledningsevne er sat til standardværdi angivet i JAGG-programmet for den identificerede jordtype og kornstørrelse i det primære magasin og gradienten er bestemt ud fra potentialekort. Baggrundskoncentrationen af både MTBE og benzen i det primære grundvandsmagasin er sat til 0 mg/l.

Arealet af nedsivningsområdet er for hver sag bestemt som det område, der i de gennemgæede rapporter er markeret med jordforurening. Bredden vinkelret på grundvandsstrømningen er målt i forhold til den identificerede strømningsretning i det primære magasin. For de lokaliteter, hvor der er identificeret flere områder med jordforurening er et repræsentativt samlet areal og bredde skønnet. Der er i dette tilfælde kun inkluderet områder med benzinformaling, idet der kun er tilsat MTBE til benzin, og benzen kun findes i ubetydelige mængder i andre oliefraktioner, som sælges fra tankstationer.

3.4.3.3 Spredning i det primære magasin

Den videre spredning i det primære magasin er beregnet med JAGG-regnearkets moduler "Grundvand, trin IIa og III".

For de hydrogeologiske parametre er anvendt standardværdier i JAGG-regnearket baseret på beskrivelser af jordtype og kornstørrelse enten i rapporter eller på Geologisk basisdatakort.

Som værdier for de stofs specifikke data (1'-ordens nedbrydningskonstant og oktanol-vand-fordelingskoefficient) er for benzen anvendt standardværdier fra JAGG-regnearket, mens der for MTBE er anvendt resultaterne fra litteraturstudiet (bilag 1).

3.4.4 Anvendte data

De anvendte data for hver enkelt lokalitet fremgår af bilag 2.2. Data kan deles i 4 grupper alt efter om de angår:

- Forureningsudbredelse og -koncentrationer
- Stof (MTBE/benzen)
- Geologiske/hydrogeologiske forhold og parametre
- Redoxforhold

Data for forureningsudbredelsen er generelt hentet fra de gennemgæede undersøgelsesrapporter fra de 43 lokaliteter. Disse data er således lokalitetsspecifikke.

Data for MTBE er hentet fra bilag 1, mens der for benzen anvendes standarddata fra JAGG. Data er konstante for alle de 43 lokaliteter med undtagelse af førsteordens nedbrydningskonstanterne for MTBE og benzen, som har ét sæt af værdier ved lokaliteter med reducerede forhold og et andet sæt af værdier ved lokaliteter med oxiderede forhold.

Data for de geologiske forhold er hentet fra undersøgelsesrapporterne for de 43 lokaliteter og suppleret op med data fra geologiske basisdatakort. Generelt er den lavpermeable magasinadskillelse på alle 43 lokaliteter beskrevet som ler eller moræner jf. geologiske basisdatakort. Det benyttede datamateriale har derfor ikke givet basis for at variere de anvendte data for dette geologiske lag i forhold til de 43 lokaliteter. Laget er generelt tolket som dybtliggende moræner med konstante egenskaber for hele Fyn.

For det primære grundvandsmagasin er jordtypen tolket ud fra beskrivelsen på det geologiske basisdatakort for de nærmeste boringer omkring hver lokalitet. Variationen af jordtyper i det primære grundvandsmagasin er forsimplet til følgende jordtyper:

- Grovkornet sand
- Grus
- Kalk

For hver af de 43 lokaliteter er der således anvendt data for én af de 3 jordtyper for det primære magasin.

Det primære grundvandsspejls gradient er generelt bestemt på baggrund af et tolket potentialekort tegnet på baggrund af foreliggende data i august 2001. Grundvandsspejlets gradient er lokalitetsspecifik.

Som værdier for de geologiske og hydrogeologiske parametre er generelt anvendt standardværdier fra JAGG for de 4 jordtyper moræner, groft sand, grus og kalk. For kalk har det dog været nødvendigt at estimere parametrene effektiv porøsitet, bulkdensitet og indhold af organisk materiale. Disse data er angivet i bilag 2.2.

Bortset fra området omkring Svendborg har oplysninger om redoxforholdene i det primære grundvandsmagasin generelt ikke været tilgængelige. Det er i langt de fleste tilfælde (40 af 43) vurderet, at de mest sandsynlige redoxforhold vil være svagt reducerede til reducerede (dvs. ilt < 1 mg/l og nitrat < 1 mg/l) på grund af tykke dæklag af ler. Under disse redoxforhold er det valgt at udføre risikovurderingen ud fra en antagelse om, at MTBE ikke er nedbrydelig jf. kapitel 2. De oxiderede primære magasiner findes på kystnære lokaliteter omkring Svendborg og i et område ved Nyborg, hvor magasinet ligger terrænnært.

3.4.5 Bemærkninger til beregningerne

Til beregningerne i JAGG-regnearket er anvendt de på hver lokalitet højest forekommende koncentrationer af MTBE og benzen i det terrænnære grundvand hhv. det primære magasin.

Generelt sker der kun en begrænset reduktion af MTBE og benzen inden for en afstand svarende til 1 års grundvandsstrømning (dog højst 100 m). Dette skyldes, at det inden for denne afstand gælder, at opblandingsdybden er relativ beskeden, samt at nedbrydning kun har lille betydning, da nedbrydningskonstanten for både benzen og MTBE er relativt lav.

Det skal endvidere bemærkes for de prøver, som er udtaget fra det primære magasin, at den faktiske filterlængde for borerne i det primære magasin i alle tilfælde er større end de 0,25 m opblandingsdybde, der regnes med i JAGG-programmet. Derfor opfattes den målte koncentration i de udtagne vandprøver fra det primære magasin som værende fortyndet i forholdet mellem 0,25 m og den faktiske filterlængde. F.eks. opfattes en prøve udtaget fra et 3 m filter som 12 gange fortyndet, således at den målte koncentration ved beregningerne øges med en faktor 12. Situationen opstår ikke, hvor der kun er udtaget prøver fra det terrænnære grundvand.

3.5 Resultater

3.5.1 Betydende parametre

De mest betydende parametre er vurderet ud fra de beregnede resultater på de 43 lokaliteter.

Betydende parametre er naturligt de målte koncentrationer af hhv. MTBE og benzen. De målte koncentrationer afhænger af en række forhold, som samlet forurening, placering af monitoringsboringer og filtersætningens dybde. Den samlede forurening kan igen korreleres til den samlede opmagasinerede mængde benzin og den samlede aktivitet på lokaliteten.

Udover de målte koncentrationer har forholdene omkring opblanding af det infiltrerende forurenede vand i det primære magasin markant betydning for de beregnede koncentrationer. De vigtigste parametre ved beregningen af opblandingen er den vertikale og den horisontale darcyhastighed, og sekundært infiltrationsområdet. Den vertikale darcyhastighed er i nærværende projekt beregnet på baggrund af tykkelsen af lerlaget, den vertikale hydrauliske ledningsevne i dybtliggende moræner samt trykdifferensen mellem det terrænnære grundvand og det primære magasin. Såfremt den beregnede værdi har oversteget nettonedbøren for området er darcyhastigheden sat lig nettonedbøren. Den horisontale darcyhastighed er beregnet på baggrund af grundvandsspejlets gradient og det primære magasins hydrauliske ledningsevne.

Ved beregningen af spredningen i det primære magasin, kan nedbrydningshastigheden have stor betydning, såfremt nedbrydningshastigheden indregnes. Nedbrydning får dog først betydning, når transporttiden får en størrelse, som er på niveau med eller overgår nedbrydningshastigheden baseret på halveringstiden. F.eks. vil nedbrydningen under en transporttid på 2 måneder ikke have betydning, hvis halveringstiden er 1 år.

Den uprioriterede liste over betydende parametre er følgende:

- Målt koncentration af stoffet (MTBE/benzen).
- Infiltrationshastighed ($m^3/år$).
- Grundvandsspejlets gradient i det primære magasin.
- Det primære grundvandsmagasins hydrauliske ledningsevne.
- Infiltrationsområdets areal = det forurenede områdes størrelse.
- Tykkelsen af det lavpermeable lag mellem det terrænnære magasin og det primære magasin.
- Nedbrydningshastigheden og dermed redoxforholdene.

3.5.2 Vurdering af forureningsniveauet i det terrænnære grundvand

Der er i afsnit 3.3.3 redegjort for, at de målte data ikke giver mulighed for at vurdere de forhold som påvirker spredningen af MTBE og benzen fra det terrænnære grundvand til det primære magasin. Baggrunden herfor er, at de målte koncentrationer i det terrænnære grundvand på flere af de betragtede lokaliteter er lavere end koncentrationerne målt i det primære magasin. Det vurderes jf. afsnit 3.3.3, at den umiddelbare grund til dette er, at de målte koncentrationer i det terrænnære grundvand ikke repræsenterer de faktiske højeste koncentrationer i kildeområdet.

De højeste koncentrationer af MTBE og benzen, der er målt i et kildeområde på de 43 lokaliteter, er hhv. 53 mg/l og 27 mg/l. Disse koncentrationer er ikke målt på den samme lokalitet. Det bemærkes, at forholdet mellem disse koncentrationer er ca. 2, og således jf. afsnit 3.3.2. ligger inden for det interval, som kan forventes i frisk benzin med indhold af MTBE. Da disse koncentrationer er de højeste målte på 43 MTBE- og benzenforurenede lokaliteter kunne koncentrationerne angive en størrelsesorden for de faktiske maksimale stofkoncentrationer i forureningerne på lokaliteterne.

Det skal bemærkes, at de angivne koncentrationer svarer til ca. 0,1% af MTBEs opløselighed henholdsvis 1-2% af benzens opløselighed regnet som opløselighed for de rene stoffer i vand.

For at belyse teorien om, at de målte koncentrationer i det terrænnære grundvand på hver enkelt lokalitet næppe repræsenterer de faktiske koncentrationer i kildeområdet, er det valgt at udføre beregninger i JAGG-programmet, hvor koncentrationerne 53 mg/l og 27 mg/l for hhv. MTBE og benzen tænkes at repræsentere de faktiske højeste koncentrationer i det terrænnære grundvand. Beregningerne er udført for de 9 lokaliteter, hvor koncentrationerne af MTBE og benzen er målt i det primære magasin, således at det har været muligt at sammenligne de beregnede koncentrationer med de målte. Beregningerne er udført helt tilsvarende beregningerne for de lokaliteter, hvor der er målt MTBE og benzen i det terrænnære grundvand jf. afsnit 3.4.3. Resultaterne af beregningerne er gengivet i tabel 3.4, hvor betegnelserne C_1 , C_2 og C_3 henviser til koncentrationerne i det primære grundvandsmagasin, jf. JAGG (trin I, II og III). Endvidere er resultaterne illustreret i figur 3.5 og 3.6.

I tabel 3.4 er de beregnede koncentrationer C_1 , C_2 og C_3 angivet sammenlignet med den målte koncentration i det primære magasin og den korrigerede koncentration i det primære magasin. Den korrigerede koncentration svarer til indholdet af MTBE og benzen målt i det primære magasin og korrigeret for filterlængden i forhold til opblandingsdybden i den pågældende afstand fra forureningskilden. Den korrigerede koncentration skal dermed sammenlignes med C_1 i de tilfælde, hvor den anvendte boring i det primære magasin ligger tæt på forureningskilden (dvs. indenfor 5 m). I tabellen der derfor også angivet afstanden mellem boringen og forureningskilderne. I de tilfælde, hvor boringen i det primære magasin står nedstrøms kilden og indenfor et års transportafstand, angivet i tabellen, er det den målte koncentration, der skal sammenlignes med C_2 eller C_3 (opblandingsgraden i C_2 og C_3 svarer i disse tilfælde, jf. bilag 2.2, stort set til filterlængden i boringen, og den målte koncentration skal således ikke korrigeres for filterlængde.

Det ses af tabel 3.4 samt figurerne 3.5 og 3.6, at når koncentrationerne 53 mg/l og 27 mg/l anvendes for MTBE hhv. benzen som koncentrationerne i kildeområdet, ligger de beregnede koncentrationer i det primære magasin (hhv. C_1 , C_2 og C_3) på 4-5 af lokaliteterne i samme størrelsesorden som de målte koncentrationer i det primære magasin efter korrektion for filterlængde.

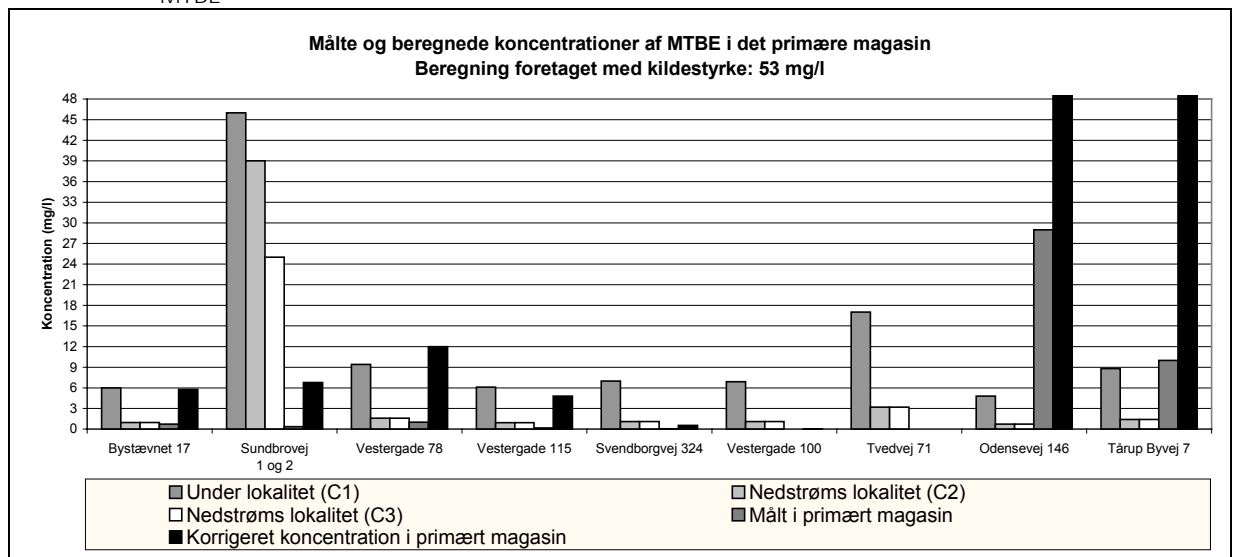
På Vestergade 78 og 115 (hhv. lok.nr. 479-00055 og 479-00044) ligger de korrigerede, målte koncentrationer for både MTBE og benzen mellem C_1 og kildestyrkekoncentrationen (53 mg/l for MTBE og 27 mg/l for benzen), mens det også for benzen er tilfældet på Vestergade 100 (479-00076). På Bystævnet 17 (483-04022) ligger de korrigerede, målte koncentrationer på niveau med C_1 . På Svendborgvej 324 (461-06335) og tilnærmedesvis på Sundbrovej 1 og 2 (479-04005) ligger de korrigerede, målte koncentrationer på niveau med C_2/C_3 .

Tabel 3.4 Beregnede koncentrationer baseret på antagede maksimale koncentrationer i det terrænnære grundvand på 53 mg/l for MTBE og 27 mg/l for benzen. ☼ angiver, at lokaliteten hører til en af de ca. 20%, jf. afsnit 3.2.3

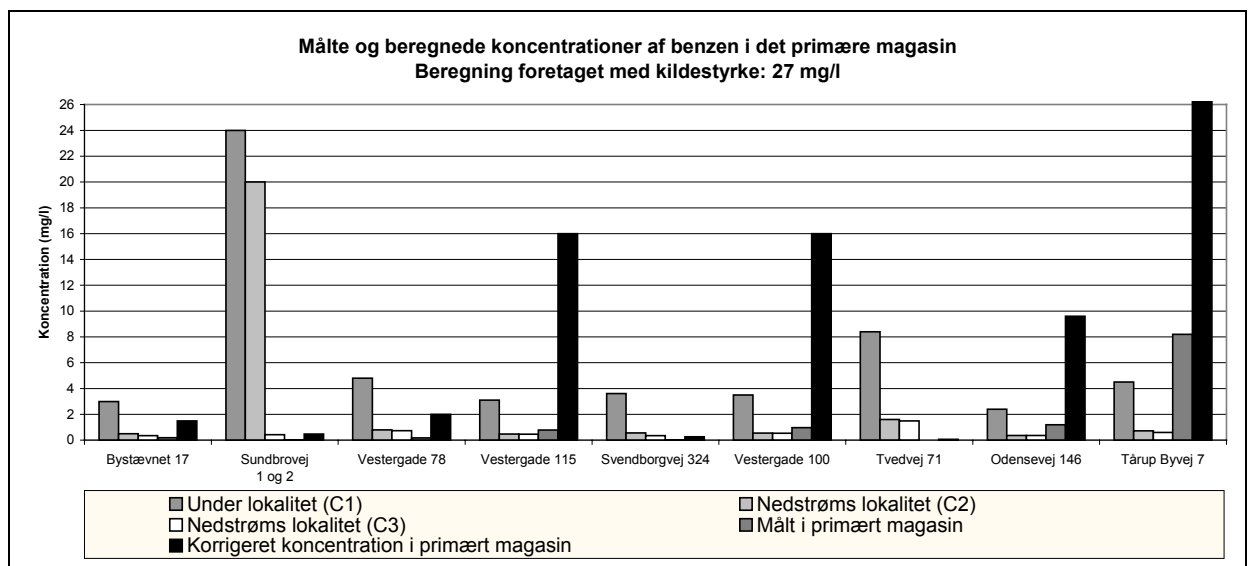
		Antaget kildestyrke terrænnært grundvand	Under lokalitet, C_1	Nedstrøms lokalitet, C_2	Nedstrøms lokalitet ¹⁾ , C_3	Transportafstand	Målt i primært magasin	Korrigeret koncentration i primært magasin ²⁾	Afstand til kilde
		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	m	mg/l	mg/l	m
Bystævnet 17 ☼	MTBE	53	6,0	0,98	0,98	94	0,73	5,8	1
	Benzen	27	3,0	0,50	0,34		0,19	1,5	
Sundbrovej 1 og 2	MTBE	53	46	39	25	35	0,34	6,8	10-30
	Benzen	27	24	20	0,42		0,024	0,48	
Vestergade 78	MTBE	53	9,4	1,6	1,6	100	1,0	8-12	10-20
	Benzen	27	4,8	0,8	0,74		0,17	1,4-2	
Vestergade 115	MTBE	53	6,1	0,95	0,95	100	0,17	<2,4	<20
	Benzen	27	3,1	0,48	0,45		0,78	<15,1	
Svendborgvej 324	MTBE	53	7,0	1,1	1,1	100	0,065	<0,52	<10
	Benzen	27	3,6	0,57	0,34		0,033	<0,26	
Vestergade 100	MTBE	53	6,9	1,1	1,1	100	0,002	<0,032	5-10
	Benzen	27	3,5	0,55	0,53		0,98	<16	
Tvedvej 71	MTBE	53	17	3,2	3,2	100	0,00022	0,0018-0,0026	10-20
	Benzen	27	8,4	1,6	1,5		0,005	0,04-0,06	
Odensevej 146	MTBE	53	4,8	0,73	0,73	100	29	230	1-3
	Benzen	27	2,4	0,37	0,36		1,2	9,6	
Tårup Byvej 7 ☼	MTBE	53	8,8	1,4	1,4	100	10	80	<5
	Benzen	27	4,5	0,73	0,6		8,2	66	

¹⁾: Under indregning af nedbrydning og sorption.
²⁾: Korrigeret for filterlængde i forhold til opblandingsdybden i den pågældende afstand til forureningskilden ud fra en opblandingsdybde på ca. 1,8 m i 100 m's afstand. Opblandingsdybden er forudsat at være lineær og min. 0,25 m

Figur 3.5 Illustration af målte koncentrationer og beregnede koncentrationer baseret på antagede maksimale koncentrationer i det terrænnære grundvand på 53 mg/l for MTBE



Figur 3.6 Illustration af målte koncentrationer og beregnede koncentrationer baseret på antagede maksimale koncentrationer i det terrænnære grundvand på 27 mg/l for benzen



Det ses dog også, at der på 2 af lokaliteterne (Odensevej 146 (449-04015) og Tårup Byvej 7 (495-04005)) er målt væsentligt højere koncentrationer i det primære magasin end beregningerne viser, selv med de relativt høje anvendte kildestyrkekoncentrationer. Dette indikerer, at der på disse 2 lokaliteter findes væsentligt højere koncentrationer i det terrænnære grundvand.

Endelig er der på Tvedvej 71 (479-04014) målt markant lavere koncentrationer end disse beregninger viser, hvilket indikerer, at koncentrationerne i det terrænnære grundvand på denne lokalitet ikke er så høje, som de anvendte maksimale koncentrationer. På denne lokalitet og på Vestergade 100 er der endvidere målt meget lave koncentrationer af MTBE i det primære magasin, hvilket indikerer, at den påviste forurening primært udgøres af benzin, som ikke har været tilsat MTBE.

De i dette afsnit angivne resultater synes at indikere, at de reelle maksimale koncentrationer i det terrænnære grundvand på mere end halvdelen af lokaliteterne ligger i en størrelsesorden svarende til 53 mg/l for MTBE hhv. 27 mg/l for benzen.

På denne baggrund må det konkluderes, at de udførte beregninger for de 34 lokaliteter, hvor der ikke er udtaget prøver fra det primære magasin, sandsynligvis er baseret på udgangskoncentrationer i det terrænnære grundvand, som er lavere end de faktiske maksimale koncentrationer af MTBE og benzen på lokaliteten. Det vurderes derfor, at de benyttede kildestyrkekonzentrationer sandsynligvis bidrager til, at de beregnede resultater for de 34 lokaliteter er undervurderede.

Når der tages udgangspunkt i koncentrationer i det terrænnære grundvand, vurderes JAGG-beregningen imidlertid at overvurdere de resulterende koncentrationer. Dette skyldes til dels utilstrækkelige data om forureningen og de geologiske/hydrogeologiske forhold foruden valget af konservative nedbrydnings- og sorptionsdata. Alt i alt betyder dette, at størrelsen af de beregnede resultater må karakteriseres som usikkert bestemt.

De i dette afsnit (afsnit 3.5.2) angivne kildestyrker og beregnede resultater er ikke benyttet i den øvrige del af rapporten.

3.5.3 Koncentrationsudvikling under udvaskning og spredning i det primære magasin

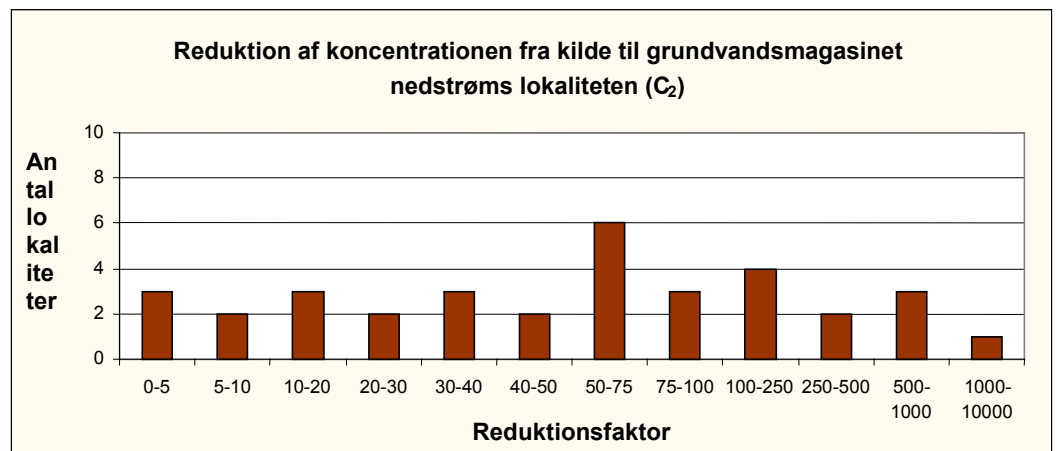
Generelt er de hydrauliske forhold på de 43 lokaliteter meget forskellige. Det primære magasins gradient varierer med knap en faktor 100, mens den hydrauliske ledningsevne i magasinet med de valgte standardværdier varierer med en faktor 20. Da de hydrauliske egenskaber har stor betydning for de beregnede koncentrationer i grundvandsmagasinet, medfører dette en stor variation i, hvordan forureningsudviklingen på de forskellige lokaliteter estimeres.

Ovennævnte forhold medfører blandt andet, at koncentrationen af MTBE og benzen under fortyndingen ved opblanding af det infiltrerende forurenede vand i det primære magasin og efterfølgende grundvandsspredning reduceres med en faktor fra 1 til 1.100 på de 43 lokaliteter.

Den efterfølgende reduktion i stofkoncentrationen under spredningen i det primære magasin inden for en afstand svarende til et års grundvandstransport (dog højst 100 m) ligger til sammenligning på en faktor 1-7 i situationer uden nedbrydning og på en faktor 1,5-50 i tilsvarende situationer med nedbrydning.

Reduktionen i stofkoncentrationen fra det terrænnære grundvand til spredningen i det primære magasin inden for en afstand svarende til et års grundvandstransport (dog højst 100 m) er for de 34 lokaliteter, hvor udgangspunktet for beregningen har været koncentrationer målt i det terrænnære grundvand, illustreret i figur 3.7.

Figur 3.7 Illustration af faktorens størrelse, hvormed den målte koncentration i det terrænnære grundvand reduceres under opblanding og spredning i det primære magasin baseret på de udførte beregninger uden nedbrydning og sorption. Bemærk varierende skala på absdiseaksen. 34 lokaliteter.



Det ses af figur 3.7, at den beregnede reduktion varierer stærkt, men at den på mere end halvdelen af lokaliteterne (19 lokaliteter) ligger over 50. For 3 af lokaliteterne ligger reduktionen nede på under 5. I den anden ende af skalaen ligger en lokalitet, hvor koncentrationen i det primære magasin efter et års grundvandsstrømning er reduceret til 1/8.000 af kildestyrkekoncentrationen uden at der er taget hensyn til eventuel nedbrydning eller sorption.

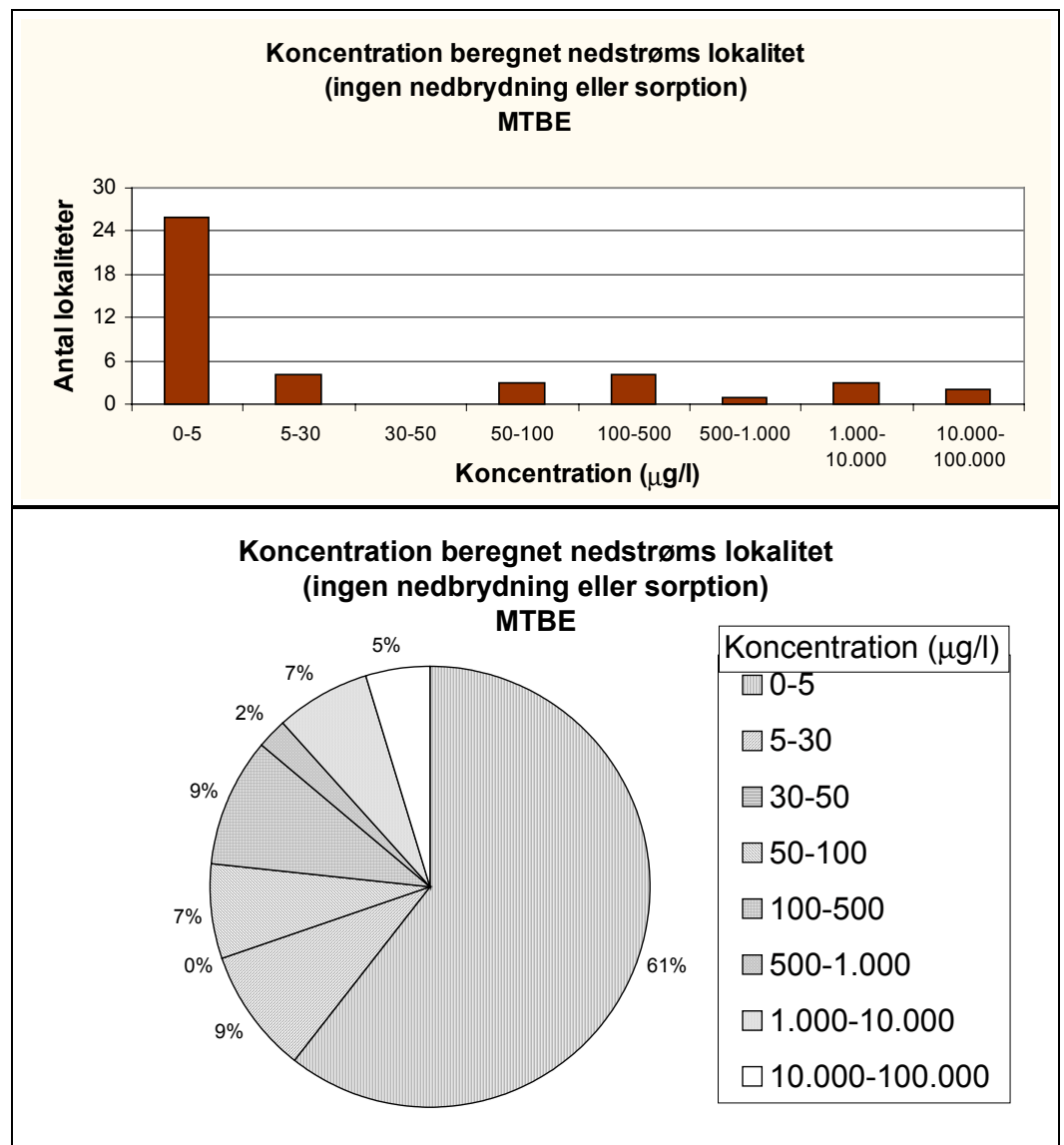
3.5.4 MTBE-spredning til og i grundvandsmagasinet

De beregnede koncentrationer af MTBE i grundvandsmagasinet i en afstand svarende til et års grundvandstransport (dog højst 100 m) er benyttet til vurdering af, hvilken størrelsesorden MTBE-koncentrationen i grundvandsmagasinet udgør. Resultaterne af beregningerne er illustreret i figur 3.8.

Det ses af figur 3.8, at beregningerne viser, at MTBE-koncentrationen på 39% (100-61) af lokaliteterne ligger over den fremtidige grænseværdi på 5 µg/l.

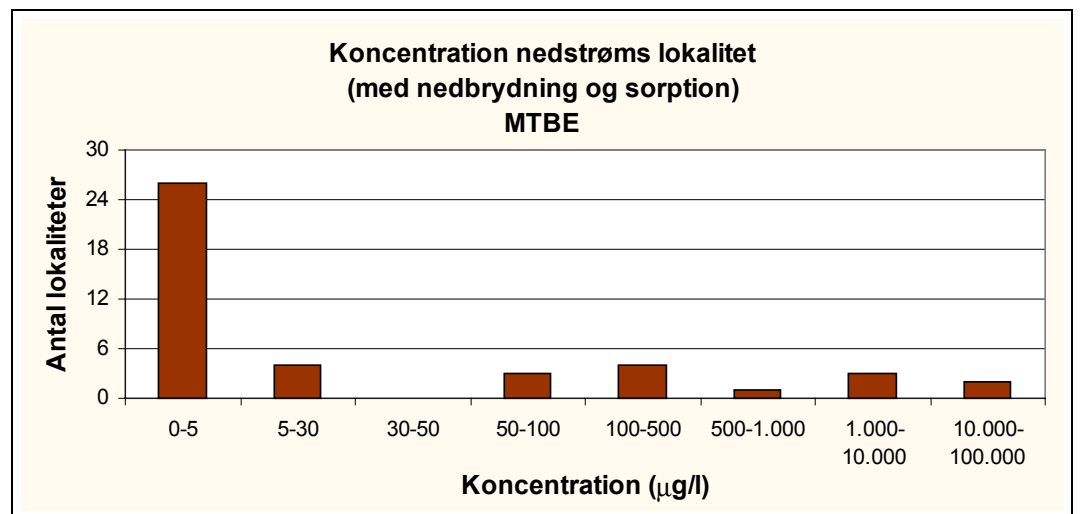
Den højeste koncentration af MTBE, som er beregnet i grundvandsmagasinet i en afstand svarende til et års grundvandstransport er på 33.000 µg/l, mens der på 4 andre lokaliteter er beregnet koncentrationer over 1.000 µg/l.

Figur 3.8 Fordel ingen af beregnede koncentrationer i grundvandsmagasinet i en afstand svarende til et års grundvandstransport (dog højst 100 m). Ved beregningerne er der ikke inkluderet påvirkning fra nedbrydning og sorption. Koncentrationerne svarer til C₂ i JAGG-programmet. 43 lokaliteter.



Resultaterne fra beregningerne, hvor der er inkluderet nedbrydning og sorption er illustreret i figur 3.9.

Figur 3.9 Fordelingen af beregnede koncentrationer i grundvandsmagasinet i en afstand svarende til et års grundvandstransport (dog højst 100 m). Ved beregningerne er der inkluderet påvirkning fra nedbrydning og sorption. Koncentrationerne svarer til C₃ i JAGG-programmet. 43 lokaliteter.



Fordelingen illustreret i figur 3.9 er identisk med fordelingen i figur 3.8 på grund af de anvendte lave nedbrydningshastigheder for MTBE.

På de 20% af lokaliteterne (lokaliteterne er markeret i bilag 2.2), hvor den anvendte koncentration vurderes at være i samme størrelsesorden som den maksimale koncentration på grunden (jf. afsnit 3.2.3 og 3.5.2), er fordelingen som angivet i tabel 3.5. Denne fordeling giver en indikation på, hvordan resultatet ville blive, hvis en antageligt mere sand maksimal koncentration på hver lokalitet var blevet målt. Der er ved beregningen af de angivne resultater inkluderet betydningen af nedbrydning og sorption.

Tabel 3.5 Fordelingen af de 20% af lokaliteterne, hvor MTBE-koncentrationen er vurderet at være målt centralt i det forurenede område. Fordelingen er baseret på, hvorvidt MTBE-koncentrationen på lokaliteten udgør en grundvandstrussel.

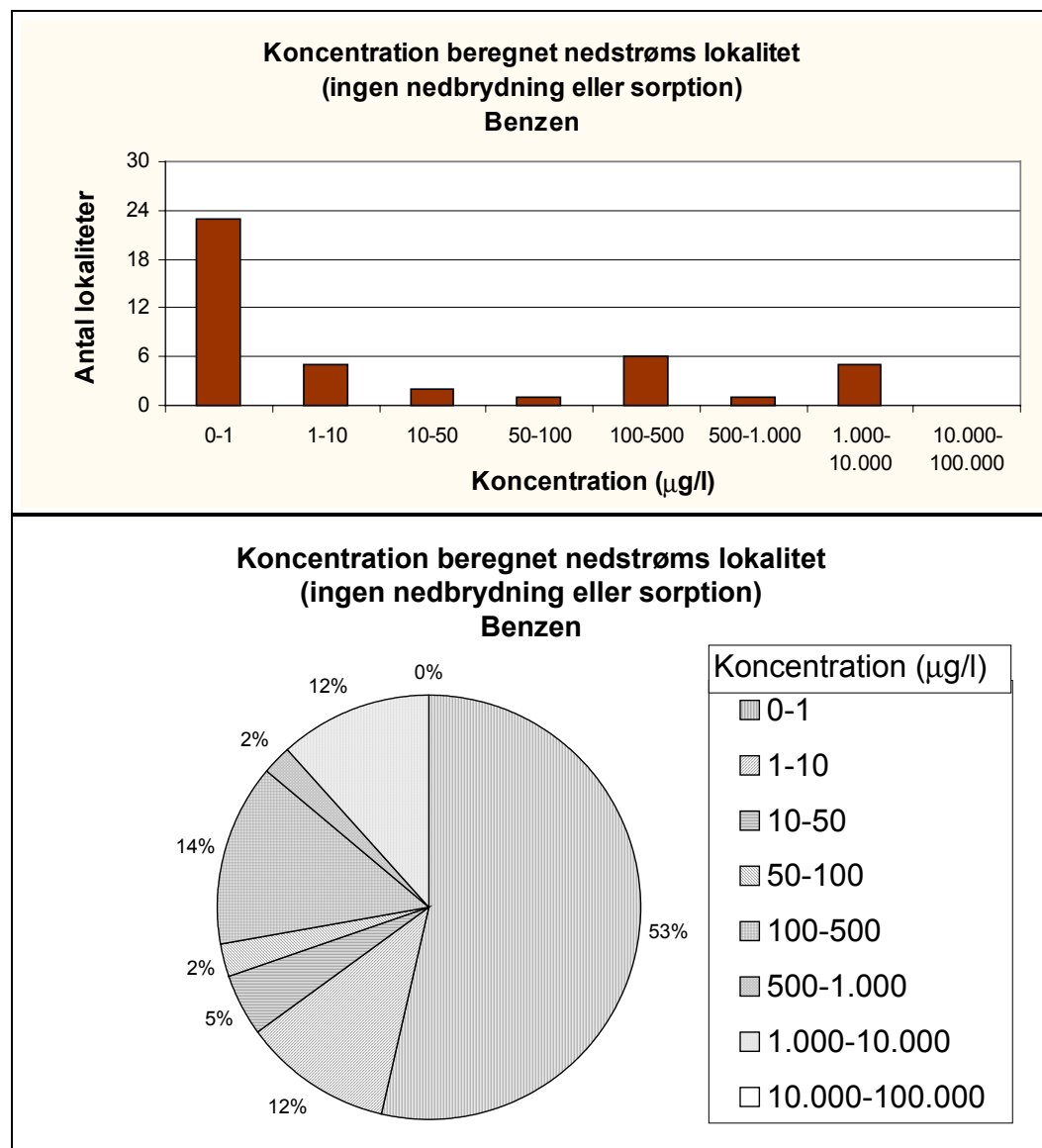
	MTBE-koncentration >5 µg/l	MTBE-koncentration <5 µg/l
%-andel	78%	22%

Af tabel 3.5 ses, at den mere reelle andel af lokaliteter, hvor MTBE-forureningen kan udgøre en trussel mod grundvandsmagasinet, kan være så høj som 78%. Det skal dog bemærkes, at der blandt 20% af lokaliteterne, hvor koncentrationen er målt centralt i det forurenede område, er en overvægt af lokaliteter med omfattende forurening, mens lokaliteterne med mindre omfangsrig forurening er væsentligt underrepræsenterede.

3.5.5 Benzenspredning til og i grundvandsmagasinet

De beregnede koncentrationer af benzen i grundvandsmagasinet i en afstand svarende til et års grundvandstransport (dog højst 100 m) er benyttet til vurdering af, hvilken størrelsesorden benzenkoncentrationen i grundvandsmagasinet udgør. Resultaterne af beregningerne er illustreret i figur 3.10.

Figur 3.10 Fordel ingen af beregnede koncentrationer i grundvandsmagasinet i en afstand svarende til et års grundvandstransport (dog højst 100 m). Ved beregningerne er der ikke inkluderet påvirkning fra nedbrydning og sorption. Koncentrationerne svarer til C₂ i JAGG-programmet. 43 lokaliteter.

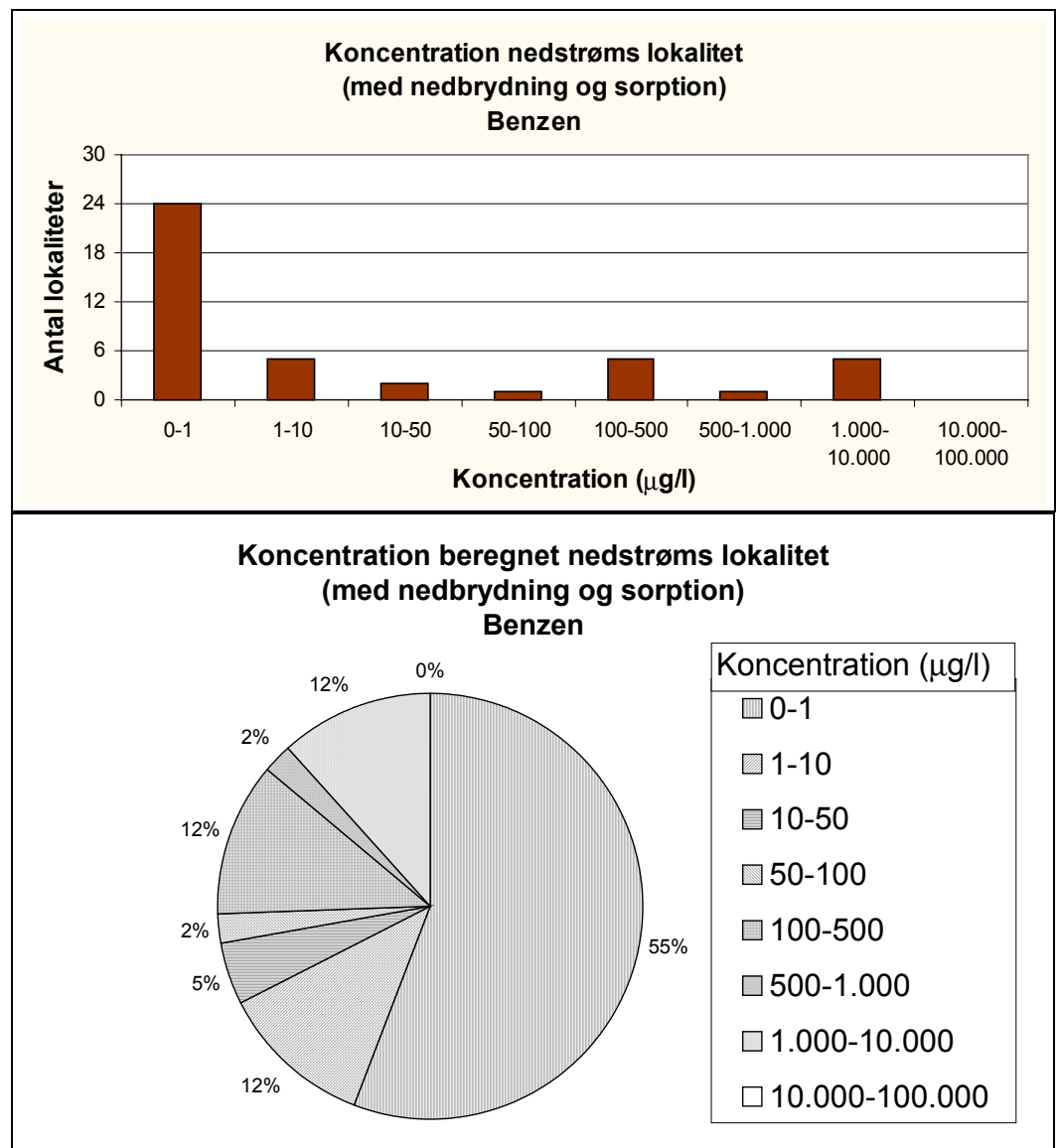


Det ses af figur 3.10, at beregningerne viser, at benzenkoncentrationen på 47% (100-53) af lokaliteterne ligger over grænseværdien på 1 µg/l.

Den højeste koncentration af benzen, som er beregnet i grundvandsmagasinet i en afstand svarende til et års grundvandstransport er på 9.200 µg/l. I alt er der på 5 lokaliteter beregnet koncentrationer over 1.000 µg/l.

Resultaterne fra beregningerne, hvor der er inkluderet nedbrydning og sorption er illustreret i figur 3.11.

Figur 3.11 Fordelingen af beregnede koncentrationer i grundvandsmagasinet i en afstand svarende til et års grundvandstransport (dog højst 100 m). Ved beregningerne er der inkluderet påvirkning fra nedbrydning og sorption. Koncentrationerne svarer til C₃ i JAGG-programmet. 43 lokaliteter.



Det ses ved sammenligning af fordelingerne illustreret i figur 3.10 og 3.11, at nedbrydning og sorption også for benzen kun spiller en lille rolle for resultaterne af de udførte beregninger. I forhold til beregningerne, hvor nedbrydning og sorption er udeladt, er antallet af lokaliteter inden for intervallet 0-1 µg/l steget med én, mens antallet af lokaliteter inden for intervallet 100-500 µg/l er faldet med én. Andelen af lokaliteter, hvor grænseværdien overskrides, reduceres således til 44%.

På de 20% af lokaliteterne (lokaliteterne er markeret i bilag 2.2, hvor den anvendte koncentration vurderes at være i samme størrelsesorden som den maksimale koncentration på grunden (jf. afsnit 3.1.3 og 3.4.2), er fordelingen som angivet i tabel 3.6. Denne fordeling giver en indikation på, hvordan resultatet ville blive, hvis den maksimale koncentration på hver lokalitet var blevet målt. Der er ved beregningen af de angivne resultater inkluderet betydningen af nedbrydning og sorption.

Tabel 3.6 Fordelingen af de 20% af lokaliteterne, hvor benzenkoncentrationen er vurderet at være målt centralt i det forurenede område. Fordelingen er baseret på, hvorvidt benzenkoncentrationen på lokaliteten udgør en grundvandstrussel.

	Benzenkoncentration > 1 µg/l	Benzenkoncentration < 1 µg/l
%-andel	100%	0%

Af tabel 3.6 ses, at den reelle andel af lokaliteter, hvor benzenforureningen kan udgøre en trussel mod grundvandsmagasinet, kan være så høj som 100%. Det skal dog bemærkes, at der blandt 20% af lokaliteterne, hvor koncentrationen er målt centralt i det forurenede område, er en overvægt af lokaliteter med omfattende forurening, mens lokaliteterne med mindre omfangsrig forurening er væsentligt underrepræsenterede.

3.5.6 Sammenhæng mellem MTBE og benzen

I forbindelse med benzinforurening regnes benzen som ét af de stoffer, der sammen med MTBE medfører den største risiko for grundvandsforurening. Derfor er det interessant at belyse, hvorvidt de 2 stoffer ved risikovurderingen indbyrdes bestemmes til at udgøre en risiko. I tabel 3.7 er dette belyst ved at sammenligne antallet af lokaliteter, hvor koncentrationen af både MTBE og benzen ud fra grænseværdien henholdsvis udgør en trussel mod grundvandsmagasinet og ikke udgør en trussel. Det skal i den sammenhæng bemærkes, at grænseværdien for MTBE er 5 gange større end grænseværdien for benzen, mens forholdet mellem MTBE og benzen i vandfasen efter et frisk benzinspild som tidligere nævnt må ventes at være af størrelsesordenen 0,4-13. Det betyder, at overholdelse af den fremtidige grænseværdi for MTBE og grænseværdien for benzen reelt betinger den samme stofreduktion inden for en faktor 10 for de 2 stoffer i forhold til indholdet i et frisk benzinspild. Det skulle således umiddelbart forventes, at grænseværdierne for de 2 stoffer tilnærmelsesvis overholdes for det samme antal/de samme lokaliteter såfremt der ses bort fra nedbrydning.

Tabel 3.7 Fordelingen af de 43 lokaliteter baseret på sammenhængen mellem, hvorvidt både MTBE- og benzenkoncentrationen på lokaliteten udgør en grundvandstrussel. Koncentrationerne er baseret på beregninger, hvor påvirkning fra sorption og nedbrydning er udeladt.

	MTBE-koncentration >5 µg/l og Benzenkoncentration >1 µg/l	MTBE-koncentration <5 µg/l og Benzenkoncentration <1 µg/l	Overskridelse af grænseværdien for kun ét af de 2 stoffer
Antal lokaliteter	14	21	8
%-andel	33	49	19

Tabellen viser, at koncentrationen af både MTBE og benzen overstiger grænseværdierne på 33% af lokaliteterne, mens koncentrationen af både MTBE og benzen ligger under grænseværdien på 49% af lokaliteterne. På 19% af lokaliteterne er det kun det ene af de 2 stoffer, som overskrider grænseværdierne, hvor MTBE overskrider grænseværdien på den ene halvdel af disse lokaliteter, mens benzen overskrider grænseværdien på den anden halvdel (ses ikke af tabellen).

Generelt indikerer resultaterne således, at der på en betydelig andel på over 80% af lokaliteterne er et sammenfald mellem, hvorvidt MTBE og benzen overskrider eller overholder grænseværdierne.

3.5.7 Redoxforholdenes betydning

Redoxforholdene er som beskrevet i afsnit 3.3.4 antaget at være reducerede på 40 af de 43 lokaliteter, hvorfor de gennemgæede resultater i høj grad afspejler risikovurderingen under disse forhold.

De resterende 3 lokaliteter, hvor forholdene er vurderet oxiderede (ilt og nitratzonen) udgør et spinkelt datamateriale. Under oxiderede forhold forventes imidlertid både for MTBE og benzen en højere nedbrydningshastighed end under reducerede forhold. Derfor må risikoen mod grundvandsmagasinet forventes mindre, hvor der er oxiderede forhold.

De beregnede koncentrationer på de 3 lokaliteter med oxiderede forhold er illustreret i tabel 3.8. I tabellen er endvidere angivet grundvandsstrømningshastigheden i det primære magasin ved lokaliteterne.

Tabel 3.8 Grundvandsstrømningshastigheden og koncentrationsudviklingen på de 3 lokaliteter, hvor der er vurderet at være aerobe forhold i det primære magasin

Lokalitet	MTBE			Benzen		
	Sundbrovej 479-04005	Svendborgvej 461-06335	Bøjdenevej 449-04020	Sundbrovej 479-04005	Svendborgvej 461-06335	Bøjdenevej 449-04020
Grundvandsstrømningshastighed (m/år)	35	790	630	35	790	630
Beregningsafstand (m)	35	100	100	35	100	100
Koncentration uden nedbrydning, C ₂ (µg/l)	2.900	73	0,060	200	37	Ikke påvist
Koncentration med nedbrydning, C ₃ (µg/l)	1.900	69	0,056	4,2	22	Ikke påvist

Det ses af tabellen, at nedbrydningen har begrænset effekt på koncentrationen af MTBE, mens effekten på koncentrationen af benzen kan være væsentlig.

Endvidere ses det af tabellen, at nedbrydning kun har markant betydning på lokaliteten på Sundbrovej, som er kendetegnet ved den laveste grundvandsstrømningshastighed. Dette skyldes, at der på denne lokalitet regnes med 1 års nedbrydningsperiode, mens der på de 2 andre lokaliteter regnes med væsentligt kortere nedbrydningsperioder på grund af den høje strømningshastighed. Nedbrydningens betydning for koncentrationerne på lokaliteten ved Sundbrovej illustrerer således betydningen af nedbrydning for JAGG-resultaterne på alle lokaliteter, hvor grundvandsstrømningen er under 100 m/år og der er oxiderede forhold.

3.6 Sammenfatning

Risikoen for, at grænseværdierne for MTBE og benzen overskrides i grundvandet under de 43 MTBE-forurenede lokaliteter er vurderet på baggrund af undersøgelsesrapporter, hvoraf en stor del omfatter begrænsede undersøgelser. Der er taget udgangspunkt i de højest målte koncentrationer af MTBE og benzen i grundvandet uanset den pågældende borings placering i forhold til forureningens udbredelse.

Langt de fleste vandprøver er udtaget fra borerer filtersat i terrænnært grundvand, og kun på 9 lokaliteter er der analyseret vandprøver fra borerer filtersat i det primære grundvandsmagasin.

Af de højest målte koncentrationer af MTBE og benzen i terrænnært grundvand ligger hhv. 19 % og 36 % under grænseværdierne. I det primære grundvand ligger alle de højest målte koncentrationer over grænseværdierne.

Selve risikovurderingen er foretaget ved hjælp af Miljøstyrelsens regnearksprogram JAGG ver. 1.5 og Darcy's lov. Der er taget udgangspunkt i et års grundvandstransport dog max. 100 m. Beregningerne viser, at nedbrydningen af MTBE kun har en lille effekt på risikovurderingen både under reducerede og oxiderede forhold. Dette skyldes, at transporttiden er større end stoffernes halveringstider (relativt lav nedbrydelighed selv under oxiderede forhold).

Nedbrydning af benzen under oxiderede forhold kan derimod have væsentlig betydning for stoffets reduktion.

Beregningerne viser, at koncentrationen af MTBE i det primære grundvandsmagasin under 39 % af lokaliteterne ligger over den fremtidige grænseværdi. For benzen er det tilsvarende tal 44 %.

20% af vandprøverne er udtaget centralt i kildeområdet. Indholdene af MTBE og benzen i disse prøver vurderes derfor at være af samme størrelsesorden som de maksimale koncentrationer på lokaliteten. På disse lokaliteter er det beregnet, at 78 % af de MTBE-forurenede lokaliteter kan udgøre en trussel mod grundvandsmagasinet. For de benzenforurenede lokaliteter er tallet 100 %. Den reelle risiko kan derfor være større end ovenfor angivet. Der er dog i disse 20 % af lokaliteterne en overvægt af lokaliteter med mere omfangsrig forurening end på de øvrige lokaliteter.

4 Risikovurdering for indvindingsoplande

4.1 Formål og baggrund

Risikovurderingen overfor indvindingsoplandene har til formål at afklare, hvorvidt de konstaterede forureninger med MTBE og benzen umiddelbart truer drikkevandsforsyningen i de 37 indvindingsoplande på Fyn indenfor hvilke de 43 lokaliteter ligger.

Risikovurderingen for alle berørte indvindingsoplande foretages primært ved beregning af forureningsmassen indenfor indvindingsoplandet i forhold til den indvundne vandmængde.

Derudover beregnes den resulterende koncentration i nærmeste indvindingsboring ved JAGG med henblik på at belyse usikkerhederne i masseberegningen.

Masseberegningen er en enkel metode til at foretage en risikovurdering overfor et berørt indvindingsopland og anvendes i dette tilfælde som den mest egnede metode ud fra datamaterialets omfang, et omfang der vanskeliggør anvendelse af mere komplicerede vurderings- og beregningsmetoder. Masseberegningens metode er ikke en generelt anvendt metode og anbefales heller ikke normalt anvendt, da den ikke sikrer en beskyttelse af grundvandet. JAGG er ikke opbygget til at foretage risikovurdering overfor indvindingsoplande, men for grundvandsressourcen. Den kildenære opblandingsmodel i JAGG vil blive brugt til at belyse usikkerhederne i masseberegningen. Resultatet af begge beregninger er ikke en eksakt værdi, men et bud på størrelsesordenen af risikoen for en indvinding.

I afsnit 4.2 gennemgås disse to beregningsmetoder, og resultaterne sammenholdes og vurderes.

Simulering af stoftransport fra en forurennet lokalitet i en numerisk stoftransportmodel er en supplerende metode til at foretage risikovurdering overfor en indvindingsboring. Opbygning af en stoftransportmodel kræver et indgående kendskab til geologi og forureningsforhold foruden store datamængder, og det er ofte tidskrævende at opstille modellen og foretage simuleringer, hvorfor modelberegninger typisk kun anvendes ved meget store forureningsager. Til gengæld er det med modelberegningerne muligt at opnå et mere detaljeret billede af en forureningsspredning et givet sted til et givet tidspunkt.

Risikovurdering ved hjælp af en stoftransportmodel foretages for 3 lokaliteter i Svendborg i afsnit 4.3. En allerede eksisterende strømningsmodel tilpasses et lokalområde og udbygges til at omfatte stoftransport. Der gennemføres en række simuleringer med modellen med henblik på at belyse forureningsrisikoen og stofkoncentrationer i det primære magasin i indvindingsboringer i de berørte indvindingsoplande.

Resultaterne fra risikovurderingen for indvindingsoplandet i Svendborg gennemgås i afsnit 4.3, og metodernes begrænsninger, samt muligheder diskuteres i afsnit 4.4.

4.2 Risikoberegning for de 37 indvindingsoplande

Risikovurderingen for indvindingsoplandene er udført for at estimere andelen af indvindingsoplande, hvor drikkevandet kan forventes at have indhold af MTBE og benzen i koncentrationer over grænseværdierne. Risikovurderingen for de 37 indvindingsoplande vil i kapitel 5 blive anvendt til for hele Fyn og Danmark at give et groft skøn over andelen af indvindingsoplande, der kan forventes at have indhold af MTBE og benzen i koncentrationer over grænseværdierne.

Af de 43 lokaliteter, hvor der på Fyn er konstateret forurening med MTBE, er de 33 af lokaliteterne fordelt med én lokalitet pr. indvindingsopland, mens de resterende 10 lokaliteter er fordelt med 5 lokaliteter på 2 indvindingsoplande i Svendborg, 3 lokaliteter i indvindingsoplandet til Glamsbjerg Vandværk og 2 lokaliteter i indvindingsoplandet til Nr. Åby Vandværk, i alt 37 indvindingsoplande. Lokaliteternes fordeling i indvindingsoplandene og indvindingsmængden i 1999 for de berørte indvindingsoplande fremgår af bilag 3.

Til vurdering af koncentrationerne af MTBE og benzen i det indvundne vand i de 37 indvindingsoplande på Fyn er primært benyttet masseberegningemetoden.

Inddata for beregningsmetoderne er gengivet i bilag 3 og er baseret på forureningsudbredelser og koncentrationer, der repræsenterer data fra lokaliteterne før en eventuel igangsat afværgeforanstaltning. Den samlede risikovurdering vil derfor som udgangspunkt være overestimeret i forhold til virkeligheden, da der er igangsat eller afsluttet afværgeforanstaltninger på 5 lokaliteter, jf. tabel 3.1. Det er dog ikke umuligt, at forureningen, inden afværgetiltagene er igangsat, er blevet spredt til grundvandet, således grundvandstruslen afhænger af forureningsniveauet før afværgetiltagene. Dertil kommer, at kvaliteten af data for efterladt restforurening i jord og grundvand på de lokaliteter, hvor der har været iværksat afværgeforanstaltninger, er af så varierende kvalitet, at det ikke har kunnet anvendes til risikoberegningerne.

Der er benyttet en simpel opblandingsmetode, hvor den samlede forureningsmængde på de betragtede lokaliteter indenfor hvert indvindingsopland er skønnet. Koncentrationen i det indvundne vand er beregnet ved at dividere forureningsmængden med den årligt indvundne vandmængde for oplandet baseret på tal for 1999.

Derudover er JAGG-programmet anvendt, hvor koncentrationen for MTBE og benzen er beregnet i en afstand svarende til afstanden til nærmeste vandværksboring. Det skal understreges, at JAGG ikke er udarbejdet med henblik på at vurdere forureningskoncentrationen ved boringen og at en række forhold bliver mere usikre, hvis afstanden øges meget mere end 100 m fra forureningskilden eksempelvis magasinforhold, herunder dispersionen og magasinets tykkelse.

De 2 metoder er valgt, fordi de giver et skøn over størrelsen af koncentrationerne af MTBE og benzen i det indvundne vand. De 2 metoder er baseret på forskellige antagelser, og det må derfor forventes, at de giver forskellige resultater. Det vurderes ligeledes, at resultatet af masseberegningen er velegnet til det aktuelle formål, men at JAGG-beregningerne også kan give et fingerpeg om risikoomfanget.

Masseberegningerne vurderes at overestimere koncentrationerne i det indvundne vand, fordi det antages at den samlede forureningsmængde frigives på et år, hvilket er en markant kortere tidsperiode end, hvad der reelt kan forventes. Den i JAGG-programmet beregnede koncentration i det indvundne vand vurderes ligeledes at være overestimeret, fordi JAGG-beregningerne generelt er overestimerede (når der ikke indregnes effekten af nedbrydning), samt fordi der ikke indregnes den opblanding med uforurenat vand, som kan foregå omkring indvindingsboringerne og på vandværker med flere indvindingsboringer. Usikkerheden på resultaterne er diskuteret mere indgående i afsnit 4.2.3.

4.2.1 Datagrundlag og detaljeret metodebeskrivelse

4.2.1.1 Masseberegning

Masseberegningen er baseret på mængden af MTBE henholdsvis benzen på hver af de 43 lokaliteter, samt på den årligt indvundne vandmængde i indvindingsoplandet i 1999.

Den årligt indvundne vandmængde indrapporteres af de private og offentlige vandværker til amtet. Data for 1999 er leveret af Fyns Amt, og ses af bilag 3. Disse data er opgivet som en samlet mængde pr. vandværk. Vandmængderne for samtlige vandværker indenfor hvert indvindingsopland er efterfølgende summeret. Enkeltindvindinger er ikke medtaget i masseberegningen.

Mængden af MTBE og benzen på hver lokalitet er skønnet ud fra vurderinger af forureningens horisontale og vertikale udbredelse, samt den højeste målte koncentration af MTBE og benzen i det terrænnære grundvand.

I det følgende beskrives nærmere, hvordan forureningens horisontale og vertikale udbredelse er skønnet og hvordan forureningsmassen er beregnet. Til sidst i afsnittet forklares, hvorfor netop den beskrevne metode er anvendt til masseberegningen.

Skønnet over forureningens horisontale udbredelse er baseret på den estimerede horisontale forureningsudbredelse i de gennemgængede undersøgelsesrapporter. For den i rapporterne angivne forureningsudbredelse er største længde og bredde målt og anvendt til beregning af et rektangulært areal som længde ganget med bredde.

Den vertikale udbredelse er estimeret ud fra angivne koncentrationer i jord og PID-målinger (foto-ionisations-detektor-målinger). Der er benyttet følgende kriterier til vurdering af største forureningsdybde:

- Koncentration af benzen over 1,5 mg/kg TS.
- Koncentration af kulbrinter karakteriseret som benzin eller angivet som C_6 - C_{10} over 25 mg/kg TS.
- Koncentration af kulbrinter karakteriseret som "total kulbrinter" over 100 mg/kg TS.
- PID-udslag over 100 kalibreret over for 100 ppb isobutylene-standard.

Den vertikale udbredelse er bestemt som dybeste prøve, hvor mindst ét af ovenstående kriterier gælder. Såfremt grundvandsforureningen i det terrænnære magasin er vurderet at ligge dybere end den dybeste prøve, som opfylder ovenstående kriterier, er dybden til det terrænnære magasin benyttet som den vertikale udbredelse.

På baggrund af den horisontale og den vertikale udbredelse er det forurenede volumen beregnet som en kasse.

Mængden af MTBE og benzen i kassen er skønnet ud fra den højeste målte koncentration i det terrænnære grundvand. På baggrund af den målte grundvandskoncentration er der i JAGG-programmets fugacitetsmodul beregnet de tilsvarende jord- og poreluftkoncentrationer. Da det terrænnære grundvand på de betragtede lokaliteter næsten udelukkende udgøres af sandede indslag eller sandlag, er beregningerne i fugacitetsmodulet baseret på en geologi bestående af sand. Eftersom vandprøverne er målt i mættede jordlag er andelen af vand i jordlaget sat til 44%, andelen af luft til 1% og andelen af jord fastholdt på 55%, som er standardværdien i JAGG. Det er antaget, at de målte porevandskoncentrationer og de beregnede jord- og poreluftkoncentrationer, samt andelen af de 3 faser er gældende i hele det kasseformede volumen både den mættede del og den umættede del. På den baggrund er den samlede mængde af MTBE og benzen i det kasseformede volumen beregnet. Da forureningsmængden generelt er større i vandfasen end i luftfasen, vil metoden medføre, at forureningsmængden i den umættede del af området overestimeres. Data fremgår af bilag 3, hvor der på den første side desuden er givet et eksempel på beregningen.

Det skal bemærkes, at masseberegningen kun er udført for de 40 lokaliteter, hvor der er analyseret for både MTBE og benzen i det terrænnære grundvand.

I indvindingsoplande med flere lokaliteter er forureningsmængderne på lokaliteterne summeret til en samlet forureningsmængde indenfor indvindingsoplandet.

Masseberegningerne kunne alternativt have taget udgangspunkt i enten den udvaskede forureningsmængde pr. år eller i den gennemsnitlige forureningsmasse i grundvandszonen. Den ovenfor beskrevne metode er dog valgt som den mest velegnede for det foreliggende datamateriale af følgende årsager:

- benzen og især MTBE er letudvaskelige stoffer, der ikke bindes i særlig grad i jordmatrixen, hovedparten af forureningen forventes udvasket
- udvaskningen falder med tiden

- det er i langt de fleste tilfælde ikke muligt på baggrund af datamaterialet at beregne en tilstrækkelig præcis gennemsnitlig forureningsmasse i grundvandszonen, ligesom det ikke er muligt at vurdere om fanens udbredelse og styrke repræsenterer det maksimale forureningspotentiale
- der ikke foreligger analyser af MTBE i jord i den umættede zone, hvorfor den beskrevne ligevægtsbetragtning for den mættede og umættede zone (fugacitetsmodulet i JAGG) alt andet lige vil give et bedre billede af det maksimale forureningspotentiale
- metoden, der vurderes bedst at beregne MTBE-massen er valgt for både MTBE og benzen, selv om den beskrevne alternative beregning baseret på udvasket mængde pr. år også kunne være velegnet til at beskrive benzen-massen ud fra datagrundlaget

4.2.1.2 JAGG-beregning

JAGG-beregninger er udført helt som beskrevet i afsnit 3.2.2, dog med den forskel, at koncentrationerne er beregnet i en afstand svarende til nærmeste indvindingsboring til et privat eller offentligt vandværk. Enkeltindvindinger er ikke medtaget. Værdierne for de enkelte parametre er uændrede i forhold til parameter værdierne benyttet under risikovurdering beskrevet i kapitel 3. De anvendte data er angivet i bilag 2.2.

Beregningerne er udført med helt de samme data som ved risikovurderingen overfor grundvandsmagasinet. Variationen i de hydrogeologiske parametre over de betragtede afstande er så lille, at det benyttede datamateriale ikke giver mulighed for at tilrette beregningerne efter dem.

Afstand til nærmeste indvindingsboring er målt til mellem 50 og 3.800 m. Ved udmåling af afstanden er det valgt at afrunde til nærmeste underliggende værdi, som er delelig med 100, dog er afstande under 200 m afrundet til nærmeste underliggende værdi, som er delelig med 50. De benyttede afstande er således 50 m, 100 m, 150 m, 200 m, 300 m, 400 m osv.

Kun 6 af lokaliteterne er placeret mere end 1.000 m fra nærmeste indvindingsboring, mens 9 lokaliteter ligger enten 50 eller 100 m fra nærmeste indvindingsboring. De resterende 28 lokaliteter ligger mellem 100 og 1.000 m (begge afstande fraregnet) fra nærmeste indvindingsboring.

På de 3 lokaliteter på Vestergade i Svendborg er afstanden bestemt mere præcis, da der som beskrevet i afsnit 4.3 også er udført forureningsmodellering i MIKE SHE for Svendborgområdet. Diskussion og sammenligning med modeldata foretages i afsnit 4.4.

Det er valgt at anvende de beregnede koncentrationer, hvor nedbrydning og sorption er inkluderet.

Indvindingsboringerne placering er bestemt ud fra kortmateriale fra Fyns Amt med angivelse af aktive indvindingsboringer fra offentlige og private vandværker, /8/. På baggrund af kortmaterialet er afstanden mellem indvindingsboringerne og de 40 lokaliteter bestemt med en usikkerhed på omkring 50 m, mens usikkerheden på afstandene for lokaliteterne på Vestergade i Svendborg er omkring 20 m.

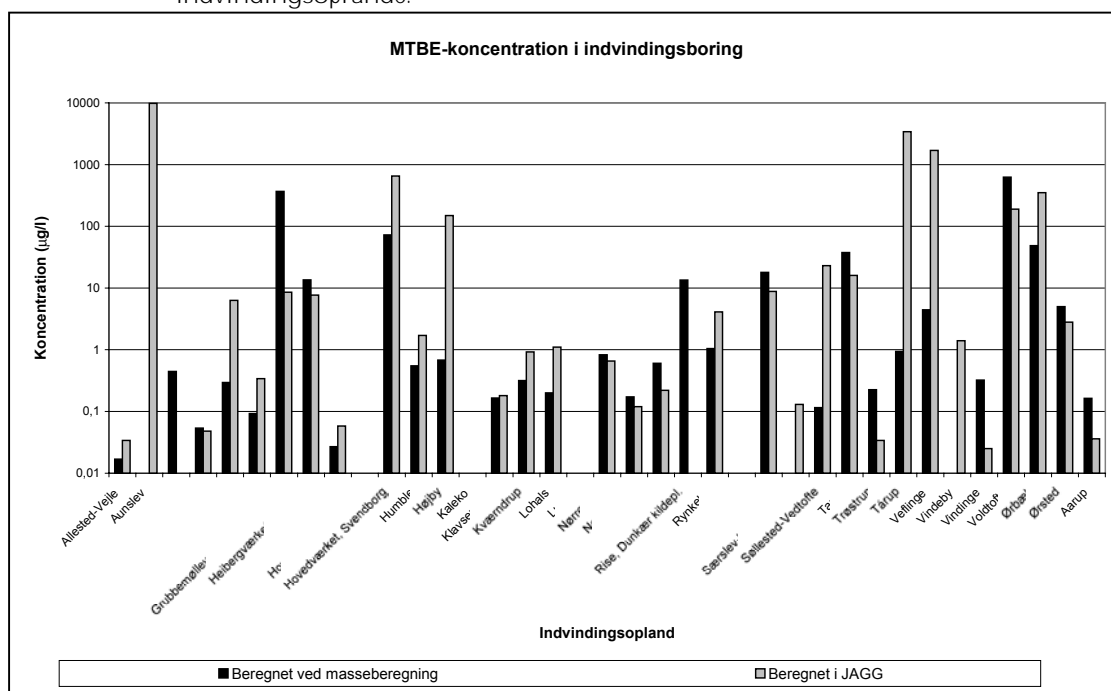
I indvindingsoplande med flere lokaliteter er bidragene fra lokaliteterne summeret til et samlet bidrag til nærmeste indvindingsboring inden for indvindingsoplandet.

4.2.2 Resultater fra risikovurdering af 37 indvindingsoplande på Fyn

4.2.2.1 Koncentrationer af MTBE i indvindingsboringer

De beregnede koncentrationer af MTBE i det indvundne vand i de 37 indvindingsoplande er angivet i figur 4.1 for de 2 benyttede metoder henholdsvis masseberegningen og JAGG-beregningen.

Figur 4.1. Beregnede koncentrationer af MTBE i det indvundne vand i de 37 indvindingsoplande.



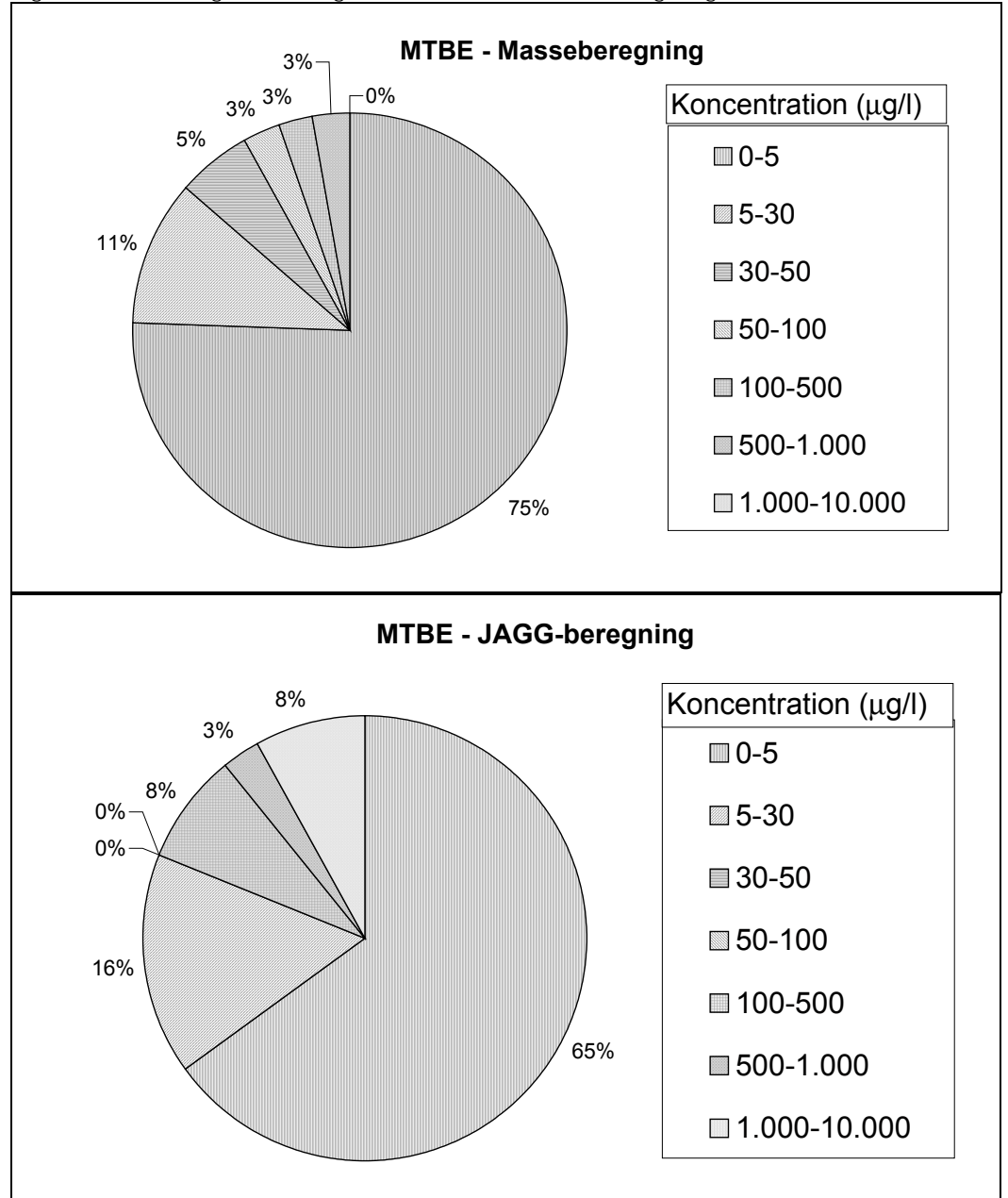
Det ses af figur 4.1, at der for 25 af de 37 indvindingsoplande ved de 2 metoder beregnes en koncentration som varierer inden for en faktor 10. I de fleste tilfælde giver JAGG-beregningen den højeste koncentration.

Det ses også af figuren, at de beregnede koncentrationer af MTBE ligger fra under 0,01 µg/l og op til 10.000 µg/l.

I indvindingsoplandene Aunslev og Vindeby er der ikke målt for MTBE i det terrænnære grundvand. Der er derfor ikke foretaget beregning ved masseberegningemetoden. Ved de øvrige indvindingsoplande, hvor der ikke er vist en koncentration i figuren, er koncentrationen beregnet til en værdi under 0,01 µg/l.

Fordelingen af de beregnede resultater ved de 2 beregningsmetoder er illustreret i figur 4.2.

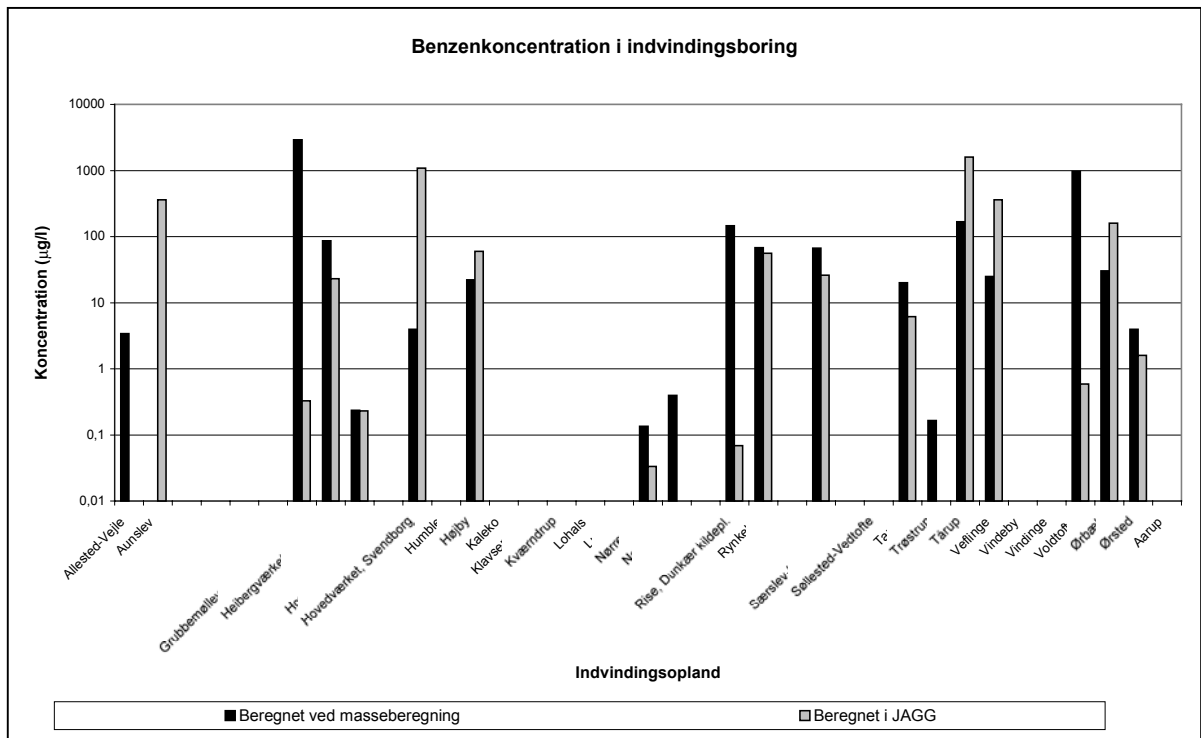
Figur 4.2. Fordeling af de beregnede resultater ved de 2 beregningsmetoder.



4.2.2.2 Koncentrationer af benzen i indvindingsboringer

De beregnede koncentrationer af benzen i det indvundne vand i de 37 indvindingsoplande er angivet i figur 4.3 for de 2 benyttede metoder henholdsvis masseberegningen og JAGG-beregningen.

Figur 4.3. Beregnede koncentrationer af benzen i det indvundne vand i de 37 indvindingsoplande.



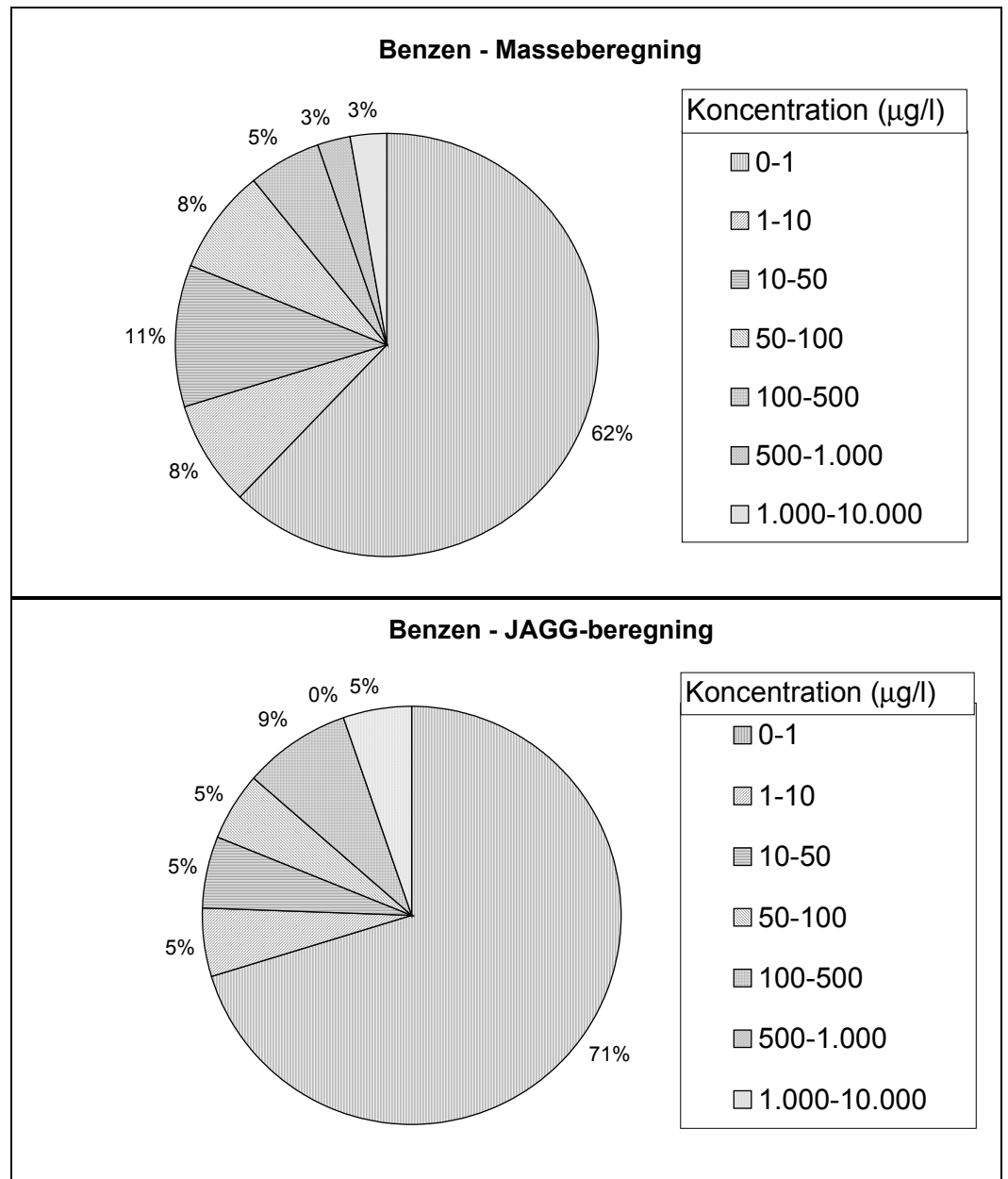
Det ses af figur 4.3, at der for 28 af de 37 indvindingsoplande ved de 2 metoder beregnes en koncentration som varierer inden for en faktor 10.

Det ses også af figuren, at de beregnede koncentrationer af benzen ligger fra under 0,01 µg/l og til omkring 3.000 µg/l.

I indvindingsoplandene Aunslev og Vindeby er der ikke målt for benzen i det terrænnære grundvand. Der er derfor ikke foretaget beregning ved masseberegningmetoden. Ved de øvrige indvindingsoplande, hvor der ikke er vist en koncentration i figuren, er koncentrationen beregnet til en værdi under 0,01 µg/l.

Fordelingen af de beregnede resultater ved de 2 beregningsmetoder er illustreret i figur 4.4.

Figur 4.4. Fordeling af de beregnede resultater ved de 2 beregningsmetoder.



Det ses af figur 4.4, at andelen af indvindingsoplande, hvor benzenkoncentrationen ligger over grænseværdien på 1 µg/l ved masseberegningen udgør 38%, mens andelen ved JAGG-beregningen udgør 29%.

4.2.3 Diskussion af masseberegning og JAGG-beregning

De 2 metoder, som er anvendt til beregningen af koncentrationerne af MTBE og benzen i indvindingsboringerne, er baseret på vidt forskellige antagelser.

Ved masseberegningen er det antaget, at den samlede forureningsmængde kan opgøres ved en kassebetragtning. Den samlede mængde MTBE og benzen på de 43 lokaliteter kunne være opgjort på flere måder.

Ideelt set foretages beregningen desuden for et velbestemt indvindingsopland for en indvindingsboring, hvor massen af samtlige forureningsfaner, der når frem til indvindingsboringen i løbet af et år, opblandes i den samlede indvinding inden for oplandet. Metodens anvendelse er begrænset af, at det er meget datakrævende at bestemme et opland, som er en dynamisk størrelse, der varierer ud fra flere forhold, især indvindingsstørrelse og nettonedbør, ligesom bestemmelsen af forureningsmasse er meget vanskelig at forudbestemme. Endvidere varierer antallet af mulige kilder over tid, ligesom det reelle antal af forureningsfaner typisk ikke kendes.

Metoden har den negative konsekvens, at den forureningsfane, som når først frem til indvindingsboringen, fylder op til grænseværdien, hvorefter evt. efterfølgende forureninger vil føre til overskridelse af grænseværdien samt at metoden kun kan anvendes på eksisterende indvindinger. Endvidere vil skaden være sket, hvis forureningsfanerne har nået boringen, hvilket vil føre til lukning af boringen eller vandrensning. Disse forhold gør, at metoden ikke generelt anvendes eller anbefales anvendt.

Mere avancerede beregninger og modeller er gennemført i andre lande. F.eks. er der i England, jf. /23/, benyttet en mere nuanceret metode, hvor der er taget hensyn til forureningens tidsmæssige udvikling bl.a. transporttid mellem forureningskilde og indvindingsboring samt hvor længe forureningen vil være i indvindingsvandet. De mere avancerede beregninger er dog også baseret på en lang række antagelser og forudsætninger, bl.a. følgende:

- Den forurenede lokalitet udgør kun en risiko for den nærmeste indvindingsboring
- Indvindingsboringen har et cirkulært indvindingsopland defineret vha. indvindingsmængden og den lokale nedsivning.
- Indvindingsboringen indvinder vand fra hele grundvandsmagasinet tykkelse.
- Alle forureningskilder har en ensartet størrelse.
- Alle modellerede lækager har ensartede koncentrationer af MTBE.
- Opløsning af fri fase benzin under grundvandsspejlet er den dominerende kilde til MTBE-forurening af magasinet.
- MTBE nedbrydes ikke.

Den anvendte masseberegning metode er derfor vurderet at være mest velegnet til det anvendte datagrundlag. I denne rapport foretages vurderingen derfor for at få belyst situationen i forhold til indvindingen og i mangel af en bedre og simplere metode. Metoden giver således et groft og konservativt estimat for antal forureningspåvirkede indvindingsboringer. Havde beregningerne omvendt vist, at forureningspåvirkningen var ubetydelig, ville metoden dog med rimelig sikkerhed holde stik.

Vurderingerne baseret på masseberegningen vil generelt føre til en overvurdering af forureningsindholdet i indvindingsboringen, da det antages, at den samlede forureningsmasse, når boringen i løbet af et år. Omvendt, ligger der en undervurdering i, hvad indholdet bliver i indvindingsboringen, idet samtlige kilder til MTBE og benzen ikke indgår i masseberegningen, dvs. idriftværende benzinstationer, andre oplag af benzen (vognmandsfirmaer, værksteder, maskinstationer mv.).

Konkret vurderes det, at den valgte metode, hvor den samlede forureningsmængde bestemmes som en kasse medfører, at den forurenede mængde i kildeområdet underestimeres, mens den i yderområderne overestimeres. Samlet set vurderes de beregnede mængder at være rimelige bud på størrelsesordenen af MTBE- og benzenmængden på de enkelte lokaliteter. Det antages endvidere, at den samlede mængde af MTBE og benzen i kildeområdet udvaskes i løbet af et år. I praksis vil udvaskningen af forureningsmassen foregå over en længere årrække, hvorfor antagelsen om en 1-årig udvaskningsperiode bidrager til, at den beregnede koncentration i indvindingsboringerne overvurderes.

Endelig antages det, at den udvaskede mængde forurening opblandes homogent i den samlede indvundne vandmængde på nærmeste vandværk. I praksis vil forureningsfanen strømme til den nærmeste indvindingsboring eller kildeplads, som ikke nødvendigvis omfatter alle vandværkets boringer. Efterfølgende vil vandet fra de forskellige kildepladser dog ofte blive blandet på vandværket. Den beregnede koncentration gælder således i råvandet ved indløb til vandværket, hvorfor denne antagelse vurderes at være reel. Samlet vurderes det, at den beregnede koncentration i det indvundne vand er overvurderet især på grund af antagelsen om den 1-årige udvaskningsperiode.

Med de begrænsninger JAGG-beregningerne har, jf. afsnit 4.2, bemærkes følgende generelle forhold for beregningerne. Ved JAGG-beregningen er der for 34 af lokaliteterne regnet med en upåvirket transport til det sekundære magasin, hvilket vurderes at være en konservativ antagelse. Ved den efterfølgende spredning i det primære magasin, regnes der i JAGG med en begrænset vertikal spredning, mens der ikke regnes med tværgående spredning (dispersion) af fanen. Dette må under naturlige spredningsforhold forventes at medføre en undervurdering af spredningen, men i en situation, hvor fanen opfanges i en indvindingsboring, som i aktuelle tilfælde, vurderes JAGG-modellens spredningsbetragtning at være mere reel. Det beregnede resultat angiver koncentrationen af MTBE henholdsvis benzen i grundvandsmagasinet i en afstand svarende til nærmeste indvindingsboring. Beregningen tager ikke hensyn til en eventuel opblanding med rent vand i indvindingsboringen eller fra andre indvindingsboringer. Resultaterne fra beregningerne vurderes derfor generelt at være overvurderede.

I JAGG-beregningerne indregnes ligeledes effekten af nedbrydning og sorption, som dog i realiteten kun har betydning for benzen, da MTBE er antaget unedbrydelig i de indvindingsoplande, hvor der er reducerede forhold. I oplandene til Højby, Vindeby og Vindinge vandværker er der vurderet at være oxiderede forhold i grundvandsmagasinet. I disse 3 oplande er der regnet med nedbrydning af MTBE, og for benzen er der benyttet en højere nedbrydningshastighed end i de øvrige indvindingsoplande. Samlet set har indregningen af nedbrydning vist sig at være uden reel betydning for koncentrationerne af MTBE, mens indregningen af nedbrydning vurderes at have stor betydning for benzen i oplandene med oxiderede forhold, og hvor der er lang transporttid til indvindingsboringerne. Med stigende værdi af den anvendte nedbrydningshastighed stiger risikoen for, at den faktiske nedbrydningshastighed i magasinet er mindre end antaget. Derfor stiger risikoen for at undervurdere koncentrationen i beregningspunktet med stigende nedbrydningshastighed.

Dette betyder, at resultaterne af JAGG-beregningerne overordnet set i nogle indvindingsoplande kan være undervurderede for benzen, såfremt den faktiske gennemsnitlige nedbrydningshastighed er lavere end forudsat, jf. /7/ og /20/.

Uafhængigt af de benyttede metoder skal der gøres opmærksom på, at kildestyrkekoncentrationerne i det terrænnære grundvand, som udgør basis for beregningerne på 34 af de 43 forurenede lokaliteter, antageligt er markant lavere end de faktiske maksimale koncentrationer på flere af lokaliteterne jf. afsnit 3.4.2. Dette forhold medfører, at udgangspunktet for begge typer beregninger antageligt er undervurderet. Samlet set må det konkluderes, at de bestemte koncentrationer er meget usikre og at det ikke umiddelbart er muligt at kvantificere usikkerhederne yderligere. De bestemte koncentrationer kan derfor være såvel undervurderede som overvurderede.

På grund af de vidt forskellige forudsætninger og de forskellige steder, de beregnede koncentrationer i teorien vil forekomme, kan de beregnede resultater fra de 2 metoder i realiteten ikke sammenlignes. De beregnede koncentrationer kan således kun opfattes som resultaterne af 2 forskellige beregningsmetoder til at skønne en mulig påvirkning af indvindingsoplandene.

Alligevel viser resultaterne af beregningerne, som vist i figur 4.2 og 4.4, at det samlede omfang af den beregnede påvirkning af indvindingsoplandene kun i beskedent omfang afhænger af, hvorvidt masseberegningen henholdsvis JAGG-beregningen anvendes. For både MTBE og benzen er resultatet, at mellem 25% og 40% af indvindingsboringerne i oplandene er eller vil blive påvirket med en koncentration over grænseværdierne.

Indenfor de enkelte indvindingsoplande ses der dog for flere lokaliteter stor variation mellem resultaterne beregnet ved de 2 metoder. For både MTBE og benzen ses der forskelle på op til en faktor 1.000 mellem koncentrationerne beregnet ved de 2 metoder. For de fleste (25 hhv. 28 indvindingsoplande) af de 37 indvindingsoplande er forskellen dog lavere end en faktor 10.

Det vurderes på den baggrund, at på trods af, at de 2 beregningsmetoder er baseret på forskellige antagelser, så giver de begge et rimeligt estimat på størrelsesordenen af risikoen for påvirkningen af indvindingsoplandene med hhv. MTBE og benzen.

4.2.4 Konstateret forurening af det primære grundvand

Risikovurderingen giver anledning til at diskutere om beregningsresultaterne stemmer overens med omfanget af MTBE og benzen konstateret i det primære grundvand. I det følgende resumeres derfor de data, der eksisterer om fund af bezinstofferne i grundvand.

I Grundvandsovervågning 2001, GEUS, er analyseresultaterne fra 1993-2000 sammenfattet for hhv. grundvandsovervågningen (GRUMO), landovervågningsoplandene (LOOP) og vandværksboringer (VVB). Benzen indgår i stofgruppen "Aromatiske kulbrinter" sammen med naftalen, toluen og xylener, mens MTBE alene udgør stofgruppen "Ethere". Sammenfattende viser analyseresultaterne følgende fund, som er koncentrationer større end eller lig detektionsgrænsen. Fund vil således i mange tilfælde overholde grundvandskvalitetskriteriet:

FUND i %	GRUMO '93-2000	LOOP '96-2000	VVB '93-2000
Aromatiske kulbrinter (B, T, X, N)	24,8 %	40,0 %	11,5 %
Ethere (MTBE)	0,6 %	i. a.	16,0 %

i.a.= ikke analyseret

I den sammenhæng understreges, at der er foretaget analyser af ca. 5.000 drikkevandsindtag, dvs. et yderst beskedent antal analyser af vand fra vandindvindingsboringerne. Antallet af private boringer, boringer til ikke almene vandforsyninger og almene vandforsyninger udgør i størrelsesordenen 93.000 boringer. Endvidere bemærkes, at vandværksboringer ofte tages ud af drift, når der konstateres forurening i dem.

I forhold til MTBE og til dels benzen gælder for GRUMO-resultatet, at det skal ses i forhold til alderen af grundvandet, som der analyseres på. Af CFC-dateringer udført i forbindelse med GRUMO (Grundvandsovervågningen 1999, GEUS) fremgår det, at kun ca. 3 % af de analyserede grundvandsprøver har mulighed for at påvise MTBE-forurening, idet ca. 97 % af vandet er ældre end 1985, hvor brugen af MTBE i benzin blev påbegyndt.

Derudover foreligger der ikke en opgørelse over, i hvor mange vandforsyningsboringer der for de enkelte år er analyseret for MTBE og benzen.

Set i forhold til ovennævnte stemmer størrelsesordenen af fund for vandværksboringer overordnet med de gennemførte risikovurderinger. Ovennævnte forhold forklarer derudover, hvorfor problemets omfang muligvis ikke er erkendt ved de hidtil foretagne analyser af øvrigt grundvand.

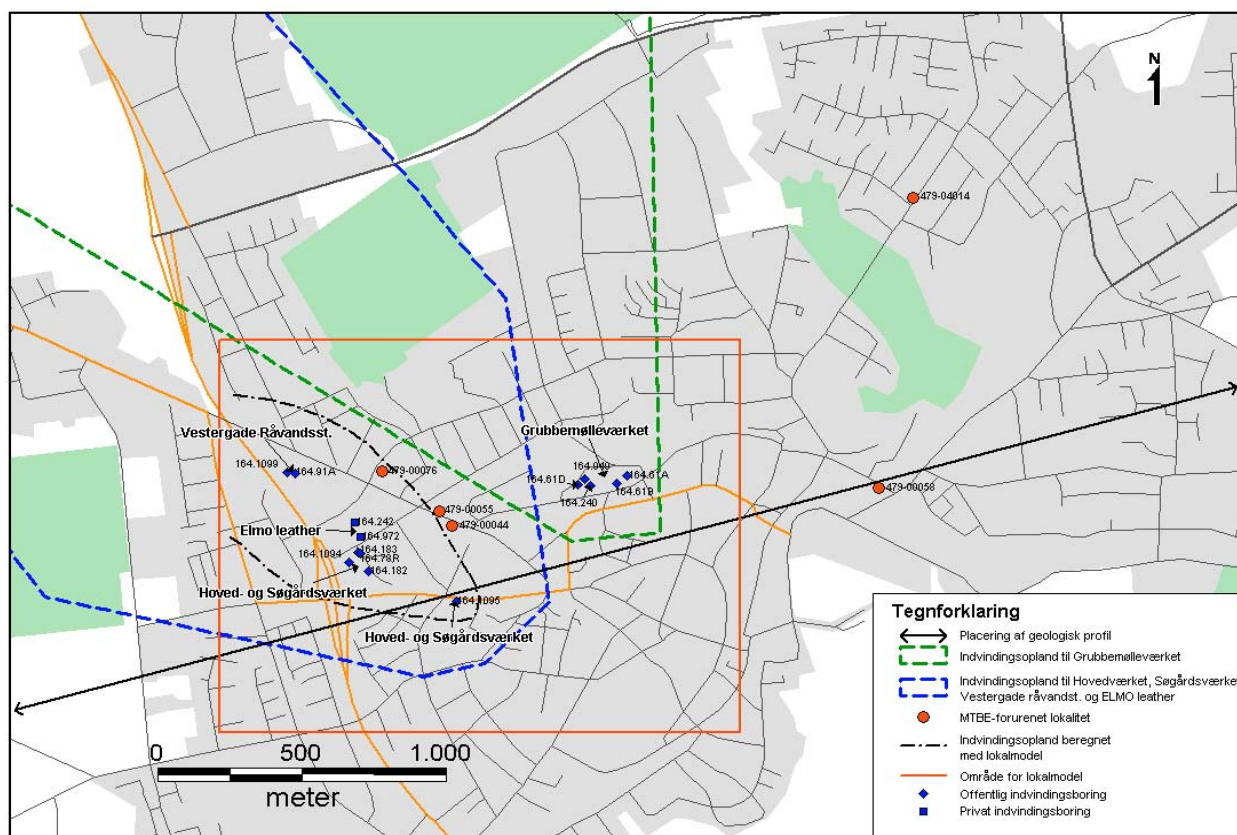
4.3 Risikoberegning for lokaliteter i Svendborgområdet

I dette afsnit gennemgås risikovurderingen foretaget ved hjælp af modellering af stoftransport fra 3 lokaliteter i Svendborg, der alle ligger i indvindingsoplandet til Hovedværket og Søgårdsværket i Svendborg, jf. figur 4.5.

Risikoberegningen tager udgangspunkt i en eksisterende strømningssmodel for Svendborg området, som Fyns Amt har fået udarbejdet i forbindelse med en større undersøgelse af de geologiske og hydrogeologiske forhold i Svendborg området. Modellen anvendes som grundlag for opstilling af en lokal strømningssmodel, hvori stoftransporten fra de 3 forurenede lokaliteter simuleres.

Resultater af risikoberegningen foretaget med modelsimuleringer sammenholdes i afsnit 4.4 med resultaterne for masseberegningen for de 3 lokaliteter med henblik på en nærmere bedømmelse af risikoen for forurening af indvindingsboringerne.

Figur 4.5: Oversigt kort med angivelse af placering af lokaliteter, indvindingsområder og kildepladser.



4.3.1 Strømningsmodellen

Den eksisterende strømningsmodel er opstillet af COWI og GEUS for Fyns Amt i 2001, /9/. Strømningsmodellen bygger på en geologisk model for et område på 180 km² med et modelnet med en gridstørrelse på 200 m. For at få detaljerede stoftransportsimuleringer er der opstillet en lokalmodel med en mindre gridstørrelse. I det følgende beskrives de aktuelle geologiske forhold i området og lokalmodellens opbygning.

4.3.1.1 Geologiske forhold

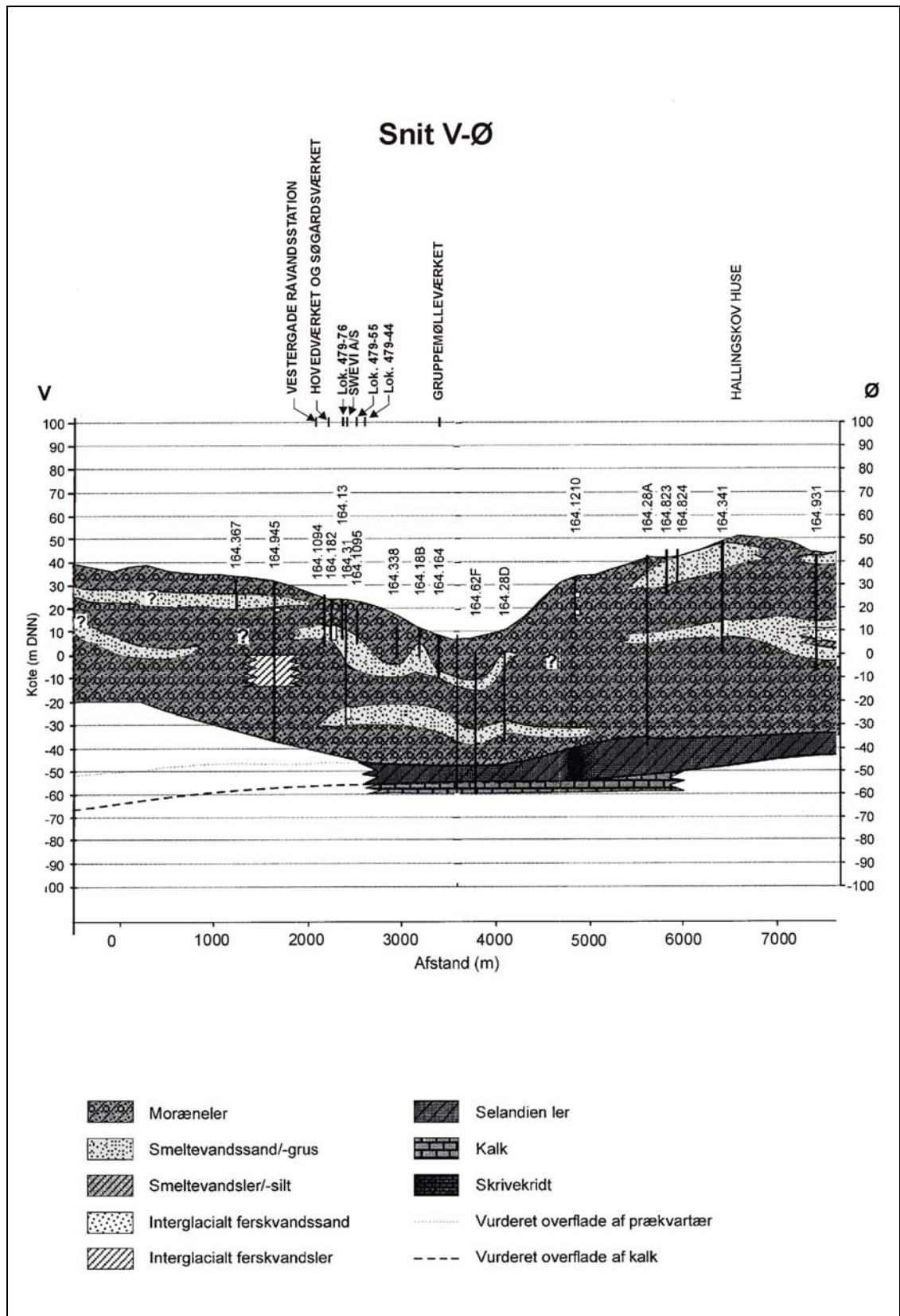
På baggrund af den geologiske model /9/, og resultaterne af undersøgelserne på de 3 lokaliteter, /10/, /11/, /12/ og /13/, er den geologiske lagserie illustreret i figur 4.6.

Lagserien vurderes at bestå af 10-15 m moræneler fra terræn. I moræneleret træffes stedvist mindre lokale indslag af smeltevandssand.

Under moræneleret træffes et større regional udstrakt lag af smeltevandssand og -grus. Tykkelsen af smeltevandslaget varierer i området fra 5-15 m.

Laget underlejres af smeltevandsler eller moræneler. Under disse lag træffes Selandien ler, som underlejres af kalk.

Figur 4.6. Geologisk snit gennem området



Laget af smeltevandssand og -grus, hvor bl.a. borerne 164.1094 og 164.182 indvinder fra jf. figur 4.6, udgør det primære magasin i området. Hovedparten af indvindingsboringerne i området indvinder fra dette magasin.

En boring ved Grubbemølleværket (164.949) indvinder fra et langt filter, som dækker både det primære magasin og et dybereliggende sandlag, som dog kun adskilles af 0,3 m moræneler. Ligeledes sker der fra borerne 164.91A og 164.1099 ved Vestergade Råvandsstation indvinding fra et øvre sandlag der ligger over det primære magasin. Dette sandlag er ikke truffet under lokaliteterne.

4.3.1.2 Opstilling af lokal strømningsmodel

Til at belyse strømningsforholdene mellem de udvalgte lokaliteter og indvindingsboringerne i interesseområdet er opstillet en lokal strømningsmodel for et delområde jf. figur 4.5. Modelområdet for den lokale model har dimensionerne 1800 m x 1400 m.

Den lokale model er opstillet med udgangspunkt i den eksisterende regionale Svendborgmodel /9/. Til modelopstillingen er benyttet modelværktøjet MIKE SHE. Geologiske, hydrauliske og meteorologiske data er overført fra den regionale model. Der er ikke foretaget en kalibrering af den lokale strømningsmodel, men kun en tilretning af enkelte modelparametre. I det følgende er lokalmodellen beskrevet nærmere.

4.3.1.3 Gridstørrelsen

Afstanden mellem de forurenede lokaliteter og den nærmeste indvindingsboring er ca. 200 m. Den eksisterende models gridstørrelse på 200 m er således for stor til at belyse stoftransporten mellem lokaliteterne og indvindingsboringerne. I den lokale model er i stedet valgt at benytte en gridstørrelse på 20 m. Horisontalt er modellen inddelt i 90 x 70 beregningskasser. Gridstørrelsen er valgt svarende til arealet af den mindste forureningsfane i det primære magasin, således at fanen udgør en beregningskasse. En mindre gridstørrelse vurderes ikke at forbedre stoftransportberegningerne væsentligt, idet geologi og øvrige hydrauliske parametre er baseret på den regionale model.

Ændringen af gridstørrelsen medfører en ændring af indvindingsboringernes oplande. I modellen vil en indvindingsboring beregningsmæssigt placeres i centeret af den beregningskasse, den tilhører. Er en boring placeret tæt på grænsen af en beregningskasse, kan boringen flyttes op til halvdelen af beregningskassens sidelængde. Boring 164.1095 ligger i den oprindelige regionale model tæt på den vestlige afgrænsning af beregningskassen. I den lokale model med en mindre gridstørrelse vil indvindingsboringens placering forskydes mod vest og boringens indvindingsopland ændres som følge heraf.

Det medfører, at der med den lokale model opnås en mere præcis beskrivelse af indvindingsoplandets placering. Indvindingsoplandet beregnet med den lokale model fremgår af figur 4.5. Det skal bemærkes, at indvindingsoplandene gengivet på figur 4.5 ikke umiddelbart kan sammenlignes. Det skyldes, at oplandet gengivet fra den lokale model kun er indvindingsoplandet i de øverste 2 m af det primære magasin, mens oplandet gengivet fra den regionale model er summen af oplandene i samtlige magasiner.

4.3.1.4 Vertikal opdeling

Den regionale Svendborgmodel er vertikalt inddelt i 10 beregningslag, som er sammenfaldende med inddelingen af de geologiske lag. I tabel 4.1 er de geologiske lag beskrevet.

Tabel 4.1. Geologiske lag (nummereret fra oven) og hydrauliske ledningsevner.

Geologiske lag	Bjergart	Horisontal hydraulisk ledningsevne (m/s)	Vertikal hydraulisk ledningsevne (m/s)
1	Opsprækket moræneler	1e-4	1e-7
2	Moræneler	2e-6	5e-9 – 1e-8
3	Sand	1e-4 – 1e-3*	1e-5 – 1e-4*
4	Moræneler	2e-6	5e-9
5	Sand	3e-4 – 5e-4	3e-5 – 5e-5
6	Moræneler	2e-6	5e-9
7	Sand	1e-4	1e-5
8	Moræneler	2e-6	5e-9
9	Selandien ler	2e-7	5e-10
10	Kalk	1e-5	2e-7

** Af modeltekniske årsager er de hydrauliske ledningsevner øget i enkelte beregningskasser lokalt omkring indvindingsboringerne. Dette er gjort for at forhindre lagene i at løbe tørre, hvorved der ikke kan oppumpes de specificerede indvindingsmængder.*

I området for den lokale model udgør:

- Lag 3: Det sekundære magasin ved Vestergade Råvandstation, samt de lokale sandede indslag i moræneleret.
- Lag 5: Det primære magasin.
- Lag 7: Magasinet under det primære magasin, hvorfra der indvindes ved Grubbemølleværket.

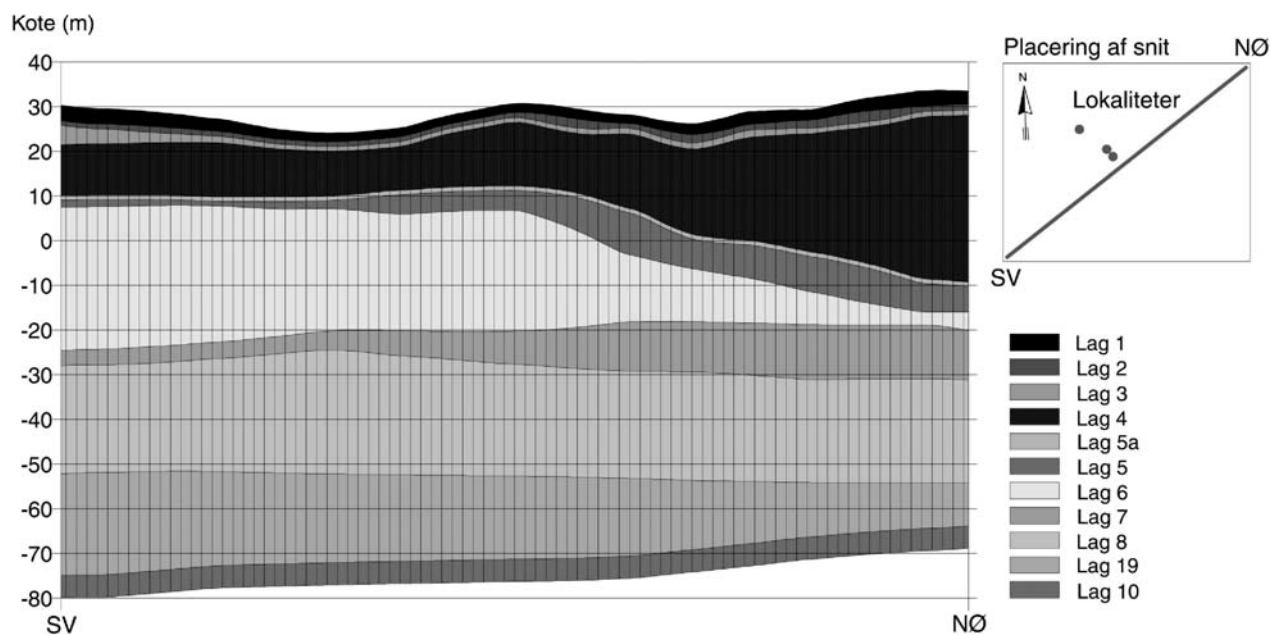
Ved opstillingen af den regionale model er det valgt at definere modellens beregningslag ud fra den geologiske model. Det betyder, at der er områder i den regionale model, hvor et beregningslag ikke modsvarer et geologisk lag. Det fremgår af de geologiske oplysninger fra de 3 lokaliteter, /10/, /11/, /12/ og /13/, at sandlaget defineret som lag 3 ikke eksisterer i lokalområdet. Derfor er beregningslaget allerede i den oprindelige model reduceret til et pseudolag med en tykkelse på 2 m.

I forbindelse med kalibreringen af stoftransportmodellen er det fundet hensigtsmæssigt at opsplitte det primære magasin i to beregningslag (lag 5a og 5). Dette er gjort, idet det forventes, at forureningen lokalt vil være begrænset til kun en del af den samlede mægtighed af magasinet. Tykkelsen af de to beregningslag er derfor defineret således, at det øverste modellag har en tykkelse svarende til den forventede vertikale udbredelse af forureningsfanerne.

Det er således valgt at indlægge et ekstra beregningslag øverst i magasinet med en tykkelse på 2 m (lag 5a), hvori lokaliteternes maksimale koncentration i det primære magasin defineres umiddelbart under lokaliteterne. Lag 5a er defineret i modellen med samme horisontale og vertikale hydrauliske ledningsevne som lag 3, dvs. som et sandlag. Laget skal altså betragtes som den øvre del af det primære magasin. Der er således i alt 11 beregningslag i den lokale model.

I figur 4.7 er den lokale models ændrede vertikale diskretisering (de 11 beregningslag) vist ved et snit gennem modelområdet.

Figur 4.7. Modellens vertikale diskretisering.



4.3.1.5 Randbetingelser

Som randbetingelser til den lokale model er overført tidsvarierende potentiale fra den regionale model i de vandførende sandlag (lag 3,5,7) samt i de nederste ler- og kalklag (lag 8,9,10). I de resterende morænelerlag (lag 1,2,4,6) er som randbetingelse anvendt impermeabel rand. På toppen af modellen anvendes en beregnet nettoinfiltration som randbetingelse. Bunden af modellen regnes tæt.

4.3.2 Stoftransportmodellen

I dette afsnit gennemgås inddata for stoftransportmodellen, og hvordan stoftransportmodellen er opbygget og kalibreret.

4.3.2.1 Forurenede lokaliteter

Der er udvalgt tre forurenede lokaliteter, for hvilke der ligeledes er udført risikoberegninger efter masseberegningemetoden. Lokaliteterne er udvalgt, da de ligger over samme grundvandsmagasin og indenfor indvindingsoplandet til de samme indvindingsboringer jf. figur 4.5. Lokaliteterne er følgende: Vestergade 115 (479-00044), Vestergade 78 (479-00055) og Vestergade 100 (479-00076), alle i Svendborg.

Inddata til stoftransportmodellen for lokaliteterne er de samme som inddata brugt i kapitel 3. De anvendte inddata fra kapitel 3 er jordforureningens udbredelse på lokaliteterne og koncentrationen af MTBE og benzen i det primære magasin umiddelbart under lokaliteterne. Alle inddata er så vidt muligt baseret på oplysninger fra før igangsætning af afværgeforanstaltninger. I det følgende gives en supplerende beskrivelse for hver lokalitet med angivelse af igangsatte afværgetiltag og baggrund for valg af forureningsperioder diskuteres.

De valgte inddata for simuleringerne er summeret i tabel 4.2.

Vestergade 115 (lok.nr. 479-00044)

På Vestergade 115 er grundvandsforureningen kun undersøgt indenfor ejendommen. Udbredelsen af forureningsfanen udenfor ejendommen er derfor skønnet ud fra målte koncentrationer i det primære magasin og strømningsretningen i det primære magasin.

På Vestergade 115 er der foretaget en oprensning af jord- og grundvandsforurening ved vakuum ventilation og air sparging i perioden 1996-1999 /13/. Den skønnede koncentration i det primære magasin og udbredelse af forureningen med benzen er ikke påvirket af oprensningen, da skønnet er baseret på en forureningsundersøgelse foretaget i 1996 forud for opstart af oprensningen /12/.

Den skønnede udbredelse og koncentrationen af MTBE i det primære magasin kan dog være påvirket af oprensningen, idet der kun foreligger analysedata fra 1997 /14/ og 1999 /13/.

Der foreligger ikke oplysninger om koncentrationen af MTBE og benzen i det terrænnære grundvand. Indholdet af hhv. MTBE og benzen i det primære magasin er 170 og 780 µg/l.

Den i tabel 4.2 angivne periode svarer til, at MTBE har været anvendt siden 1985. Denne periode er valgt, da der ikke foreligger oplysninger om, hvor længe forureningen er pågået. Der er konstateret jordforurening på lokaliteten i 1993, og grundvandsforureningen er konstateret i 1994 /12/. Servicestationen har været i drift siden før 1955, hvorfor der kan være sket forurening med benzen over en længere periode end 15 år.

Vestergade 78 (lok.nr. 479-00055)

På Vestergade 78 er grundvandsforureningen kun undersøgt indenfor ejendommen. Udbredelsen af forureningsfanen udenfor ejendommen er derfor skønnet ud fra strømningsretningen og en målt koncentration i det primære magasin.

Der er på lokaliteten konstateret indhold i det terrænnære grundvand af hhv. MTBE og benzen på 4.000 µg/l og 3,1 µg/l. For MTBE er der konstateret indhold i det primære magasin på 1.000 µg/l, mens benzen er konstateret i en væsentligt højere koncentration i det primære magasin i forhold til det terrænnære grundvand, nemlig 170 µg/l.

Den i tabel 4.2 angivne periode, hvor der har pågået forurening af det primære magasin er baseret på, at der er konstateret en grundvandsforurening i 1994. Det kan ikke udelukkes, at forureningen kan stamme fra Vestergade 115 /10/, hvorfor der er valgt samme forureningsperiode som for Vestergade 115. Der foreligger ikke oplysninger om servicestationens driftsperiode.

Vestergade 100 (lok.nr. 479-00076)

På Vestergade 100 er jord- og grundvandsforureningen delvist oprenset. Skønnet over koncentrationer og forureningsudbredelse er i videst muligt omfang baseret på koncentrationerne i grundvandet før oprensningen.

Der er på lokaliteten konstateret indhold i det terrænnære grundvand af hhv. MTBE og benzen på 5.000 µg/l og 490 µg/l. For MTBE er der konstateret indhold i det primære magasin på 2 µg/l. Indholdet vurderes at være påvirket af de igangsatte afværgeforanstaltninger.

Benzen er konstateret med koncentrationer omkring 980 µg/l i det primære magasin, hvilket er højere end indholdet i det terrænnære grundvand.

På Vestergade 100 er der således fra 1991 foretaget en afværgepumpning fra det primære magasin (boring K2). Oppumpning har ikke skabt hydraulisk kontrol med hele forureningen i det primære magasin /11/. Oppumpningen er stoppet i 1999, idet den ikke vurderedes at have effekt på den resterende grundvandsforurening /11/. I 1999 er der endvidere foretaget en afgravning af ¾ af jordforureningen.

Da hovedparten af undersøgelserne af forureningsudbredelsen i det primære magasin først er foretaget i perioden 1998-2000, altså efter afværgetiltagene er iværksat, er den skønnede forureningsudbredelse og koncentrationen i det primære magasin formentlig påvirket af afværgetiltagene.

Den i tabel 4.2 angivne periode, hvor der har pågået forurening af det primære magasin er baseret på, at MTBE har været anvendt siden 1985. Servicestationen har været i drift siden 1969. I 1990 konstateres lækage af benzin ca. 5.000 l. I 1991 konstateres benzinformurening i det primære magasin /11/. Med baggrund i servicestationens driftsperiode kan der være sket forurening med benzen over en længere periode end 15 år.

I tabel 4.2 er inddata for de udvalgte forurenede lokaliteter angivet.

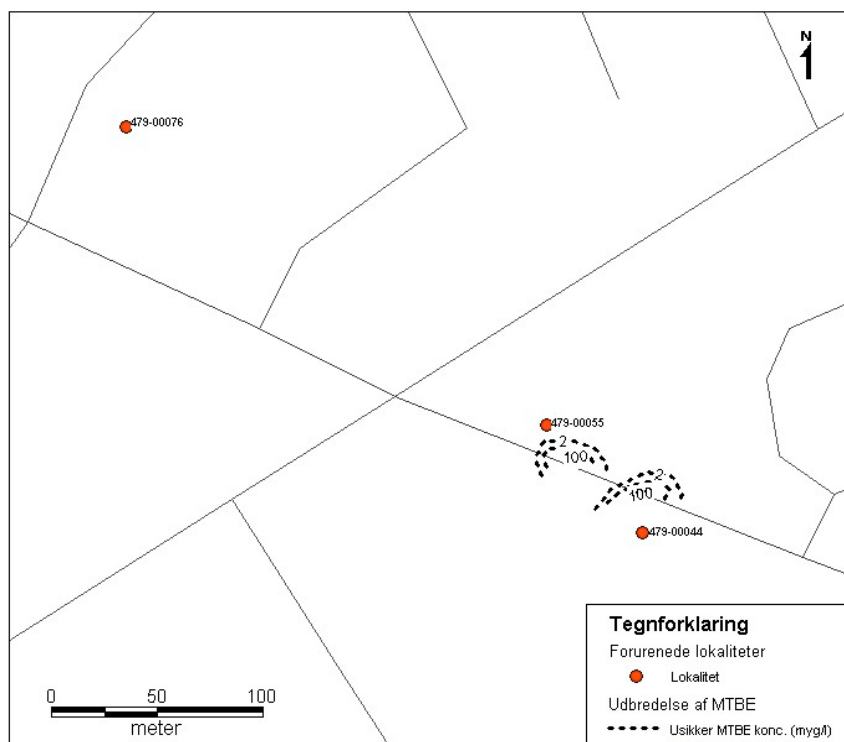
Tabel 4.2. Data vedrørende forurenede lokaliteter.

Lokalitet nr.	479-00044	479-00055	479-00076
Adresse	Vestergade 115	Vestergade 78	Vestergade 100
UTM X (m)	602.000	601.955	601.756
UTM Y (m)	6.103.140	6.103.191	6.103.333
Koncentration af MTBE i den øverste del af primært magasin umiddelbart under lokaliteten (lag 5a) (µg/l)	170	1000	2
Koncentration af benzen i den øverste del af primært magasin umiddelbart under lokaliteten (lag 5a) (µg/l)	780	170	980
Periode for forurening af primært magasin	15 år	15 år	15 år

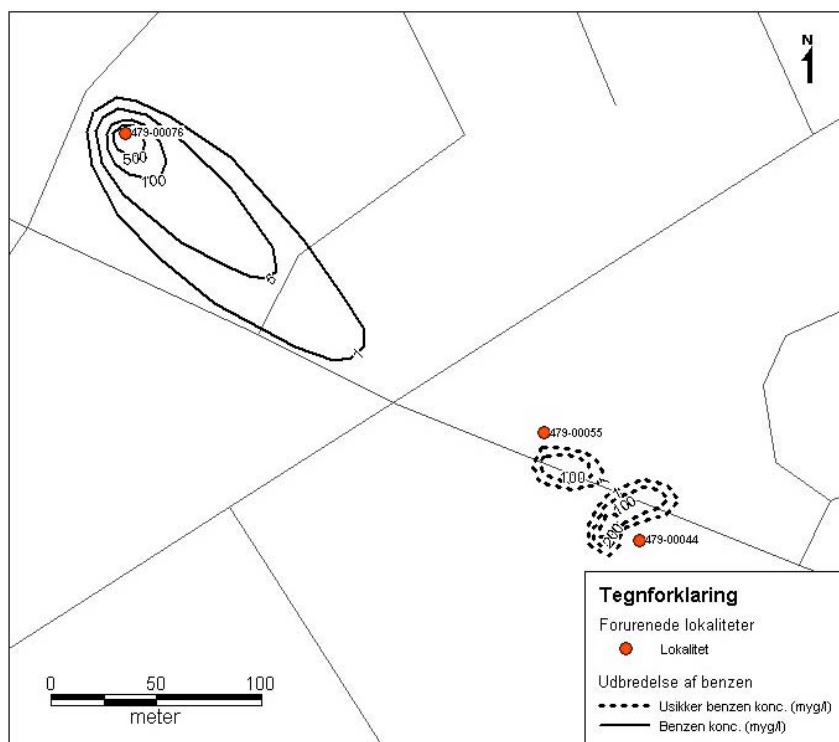
For inddata er det antaget, at der på alle lokaliteter er sket forurening med MTBE siden stoffet blev taget i brug i 1985. Samtidig er det antaget, at forurening med benzen er pågået i samme periode, hvilket er en grov antagelse, idet der foreligger oplysninger om, at 2 af servicestationerne er etableret for mere end 30 år siden. Denne antagelse vil betyde, at risikoen for benzen underestimeres.

På baggrund af de foreliggende forureningsundersøgelser for hver lokalitet er den forventede udbredelse for hhv. MTBE- og benzenforurening i dag i det primære magasin vurderet. De forventede forureningsudbredelser er angivet i figur 4.8 og figur 4.9. Det er antaget, at fanernes udbredelse ikke er væsentligt påvirket af oprensningerne, og at forureningsituationen i dag ikke er ændret væsentligt siden de seneste undersøgelser. Den forventede forureningsudbredelse anvendes til den senere kalibrering af stoftransportmodellen.

Figur 4.8. Forventet udbredelse MTBE-forurening i det primære magasin i 2000



Figur 4.9. Forventet udbredelse benzen-forurening i det primære magasin i 2000



4.3.2.2 Opstilling og kalibrering af stoftransportmodellen

Med udgangspunkt i den lokale strømningssmodel er der efterfølgende udført stoftransportberegninger. Ved simulering af stoftransportscenarierne er det valgt at benytte recirkulering af et dynamisk strømningssbillede. Det er valgt at benytte år 1995, da dette hydrologisk set antages at være et middelår.

Ved stoftransportsimuleringerne er koncentrationen af MTBE og benzen defineret i en beregningskasse med de i tabel 4.2 angivne koncentrationer direkte i det primære magasin i lag 5a under hver lokalitet.

Alternativt kunne der være defineret en kildestyrke i øverste modellag, som tilpasses til der opnås overensstemmelse mellem den simulerede, og den målte koncentration i de øverste 2 m af det primære magasin (lag 5a).

For at kunne vurdere hvilken metode, der er bedst egnet, er der foretaget nogle indledende kalibreringsscenarier med stoftransportmodellen.

Resultaterne af disse indledende kalibreringsscenarier indikerer, at der skal defineres en relativ høj stofkoncentration i øverste lag for at opnå et niveau svarende til de målte stofkoncentrationer i det primære magasin. Dette skyldes, at der ved opstilling af den regionale model ikke er fokuseret på den horisontale strømning i de terrænnære ler- og sandlag, da dette ikke var en del af formålet med modellen. Der sker derfor en stor horisontal strømning i sandlaget, defineret som lag 3. Dette sandlag eksisterer ikke i området omkring lokaliteterne. Modellen er desuden ikke opbygget med vertikal sprækkestrømning i moræneleren. Den horisontale udbredelse af stofspredningen bliver herved urealistisk stor.

På denne baggrund er det vurderet, at der ikke kan opnås en tilfredsstillende kalibrering af stoftransportmodellen og efterfølgende realistiske resultater af forureningsspredningen, hvis stofkoncentrationen defineres i det øverste lag.

Det vurderes ikke umiddelbart at være muligt at forbedre modellens beskrivelse af den horisontale strømning i de terrænnære ler- og sandlag (lag 1-4). Årsagen er, at strømmingen reelt sker i mindre sandlag/-slirer af lokal udbredelse, hvor udbredelse og hydrauliske forhold ikke er bestemt i tilstrækkelig grad til, at det muliggør en detaljeret modellering.

Kalibrering af modellen foretages derfor ved at simulere stoftransporten fra hver af de tre beregningskasser, hvori koncentrationerne af hhv. MTBE og benzen er defineret. Kalibreringen foretages over 15 år, og fanernes udbredelse efter de 15 år kalibreres mod den forventede udbredelse som angivet i figur 4.8 og 4.9.

Under kalibreringsprocessen er der justeret på koncentrationen i det primære magasin under lokaliteterne, samt den tidsmæssige udvikling i denne, således at forureningsudbredelserne stemmer overens med figur 4.8 og 4.9. Koncentrationerne og den tidsmæssige udvikling efter kalibreringen fremgår af bilag 4.10.

I tabel 4.3 er gengivet den totale stofmængde i det primære magasin til år 2002, det vil sige 1 år efter kalibreringsperiodens ophør. For at sikre, at de simulerede stofmængder ikke overstiger den samlede stofmængde i kilderne er de totale stofmængder fra simuleringerne sammenlignet med de stofmængder, der er beregnet for forureningerne i forbindelse med masseberegningerne i afsnit 4.2.1.1.

Tabel 4.3. Beregnede stofmængder i det primære magasin.

	Stofmængde i primært magasin (modelberegnet) (g)	Stofmængde estimeret ud fra koncentrationer i det terrænnære grundvand ved masseberegningen (g)	Stofmængde estimeret ud fra koncentrationer i det primære grundvand ved masseberegningen (g)
MTBE (sorption)	3.536	46.630	5.680
Benzen (sorption)	7.810	2.550	7.720

Som det ses af stofmængderne svarer de udvaskede stofmængder for MTBE udregnet på baggrund af simuleringerne til ca. 8 % af de beregnede stofmængder i kildeområdet fra masseberegningen. For den tilsvarende stofmængde af benzen ses, at simuleringerne medfører en udvasket stofmængde på 3 gange den stofmængde, der er estimeret for kildeområderne ved masseberegningen. For de aktuelle lokaliteter er der som tidligere beskrevet (afsnit 4.3.2.1) ikke overensstemmelse mellem koncentrationerne i det terrænnære magasin og det primære magasin. Gentages masseberegningen på baggrund af koncentrationerne i det primære magasin ses, at koncentrationerne er af samme størrelsesorden. Dette vurderes at være et udtryk for, hvor stor betydning kildestyrken har for beregning af risikoen for påvirkning af grundvandet.

4.3.3 Stoftransportscenarier

Der er foretaget simulering af følgende fem stoftransportscenarier:

- MTBE, konservativ transport.
- MTBE, sorption.
- Benzen, konservativ transport.
- Benzen, 1. ordens nedbrydningsforhold med sorption.
- Benzen, sorption.

Den konservative stofspredning består af en advektiv del styret af grundvandsstrømningen og en dispersiv del med en longitudinal dispersivitet sat til 0,5 m og en transversal dispersivitet sat til 0,1 m /15/.

I tabel 4.4 er angivet de inddataparametre, der er benyttet som grundlag for stoftransportsimuleringerne med nedbrydning og sorption som beskrevet i bilag 2.2.

Tabel 4.4. Halveringstid ($T_{1/2}$) og sorptionskoefficienter (K_d) for benzen og MTBE

	$T_{1/2}$ (d)	K_d (l/kg)
Benzen	693	0,022
MTBE	-	0,0018

Simuleringerne er foretaget med udgangspunkt i de kalibrerede forureningsudbredelser og 20 år frem. Koncentrationen i det primære magasin under lokaliteterne fastholdes til samme værdi i hele simuleringsperioden.

4.3.4 Resultater og diskussion af scenarier

Resultaterne af modelberegningerne fremgår af figurerne 4.10 og 4.11, samt bilagene 4.2-4.6.

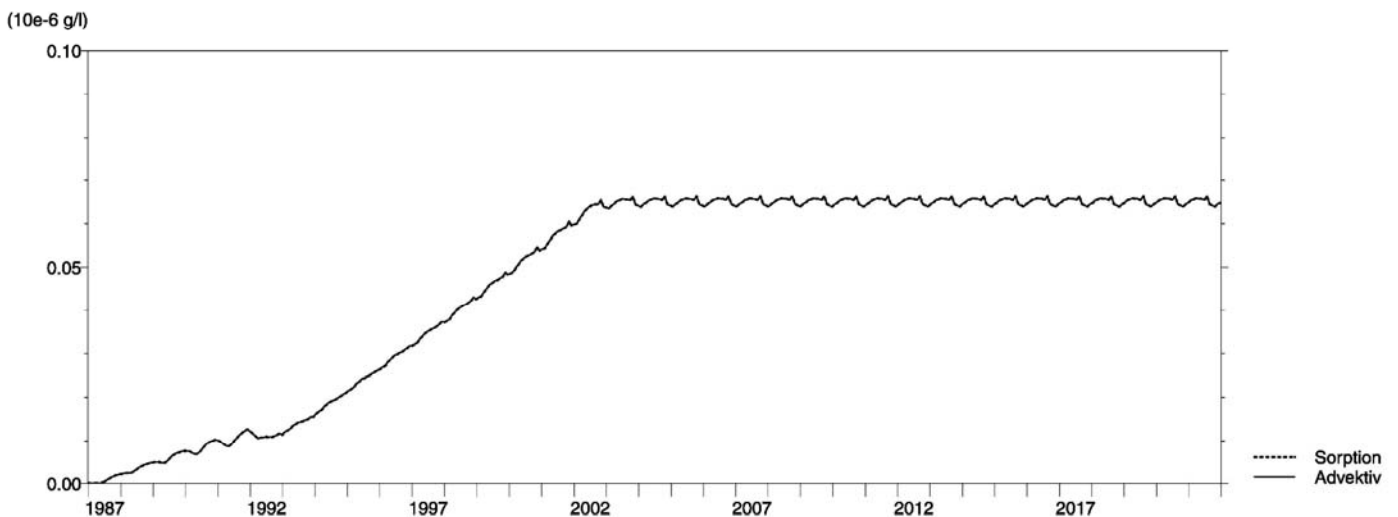
I bilagene 4.2-4.6 er forureningsudbredelsen i de øverste 2 m af det primære magasin (lag 5) for hvert af de 5 scenarier vist. Udbredelserne er vist til tidspunktet, hvor maksimalkoncentrationen i boring 164.1095 nås, det vil sige efter et års simulering.

4.3.4.1 Resultater for MTBE

Den beregnede forureningsudbredelse for MTBE med advektion og sorption fremgår af bilag 4.2 og 4.3. Sorption ses ikke at have nogen nævneværdig indflydelse på udbredelse og koncentrationsniveau.

Forureningsudbredelsen af MTBE bevirker, at områdets indvindingsboringer ikke påvirkes væsentligt, og kun boring 164.1095 påvirkes i mindre grad. I boring 164.1095 observeres således kun en simuleret koncentration på 0,07 µg/l efter ca. 1 års simulering i 2002, hvilket er langt under den fremtidige grænseværdi på 5 µg/l. Der er ifølge Fyns Amt ikke konstateret indhold af MTBE over detektionsgrænsen (1 µg/l) i de analyser, der er foretaget frem til 2001 for boringen 164.1095. I figur 4.10 er vist gennembrudskurven for MTBE i indvindingsboring 164.1095. Figuren viser resultaterne af både kalibreringsperioden (1987-2001) og simuleringsperioden (2002-2021).

Figur 4.10. Gennembrudskurve for MTBE i indvindingsboring 164.1095.



Resultatet for simulering af MTBEs spredning er præget af, at lokaliteterne Vestergade 78 (479-00055) og Vestergade 115 (479-00044) begge ligger udenfor indvindingsoplandet til Vestergade Råvandstation, samt Hovedværket og Søgårdsværket, hvorfor forureningsfanerne spredes øst for oplandet direkte mod Svendborg Sund. Lokaliteten Vestergade 100 (479-00076) er placeret indenfor indvindingsoplandet og ligger direkte opstrøms indvindingsboringen 164.1095, og forureningsfanen fra lokaliteten ender i boringen, hvilket fremgår tydeligt af simuleringerne for benzen i afsnit 4.3.4.2. Koncentrationen af MTBE i forureningsfanen fra Vestergade 100 er så svag, at den ikke fremtræder på bilag 4.2 og 4.3.

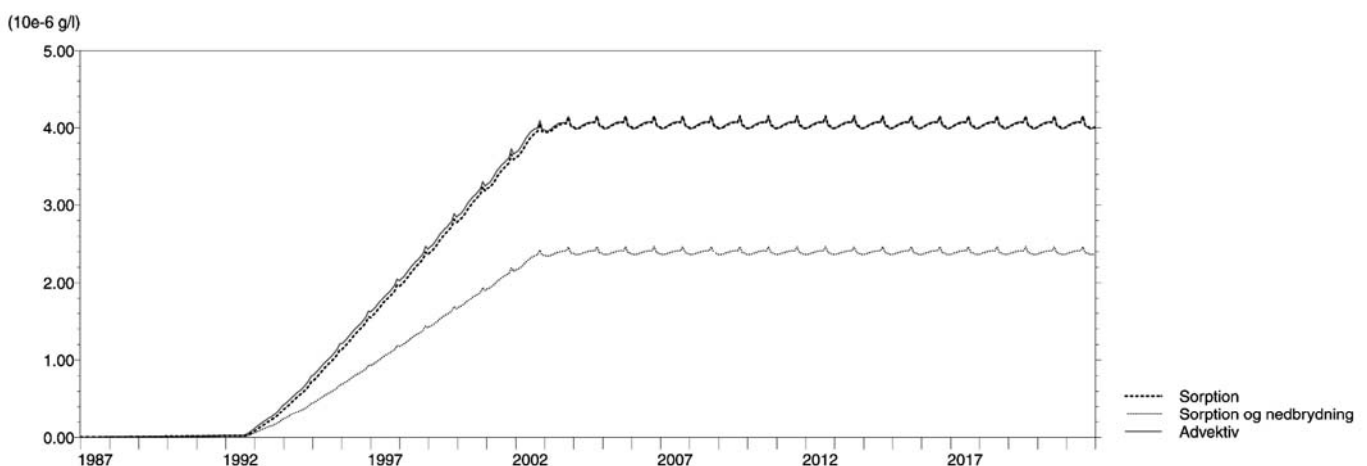
MTBE-bidraget i det primære magasin fra Vestergade 100 er 2 µg/l, hvilket vurderes at være underestimeret set i forhold til det faktum, at koncentrationen i det terrænnære grundvand er 5.100 µg/l. De igangsatte afværgeforanstaltninger på Vestergade 100 vurderes at have en væsentlig indflydelse på resultaterne, således at koncentrationen i indvindingsboringen må forventes at være større end simuleret.

4.3.4.2 Resultater for benzen

Den beregnede forureningsudbredelse ved advektion, samt med og uden nedbrydning (bilag 4.4, 4.5 og 4.6) indikerer, at det kun er indvindingsboringen 164.1095, der bliver påvirket af forurening fra lokaliteterne.

I boringen 164.1095 vil der jf. figur 4.11 observeres koncentrationer over grænseværdien på 1 µg/l i 1995 hhv. 1997 afhængig af om der regnes med nedbrydning, mens der omkring 2002 vil observeres maksimale koncentrationer på 2,2 hhv. 4 µg/l afhængig af om der regnes med nedbrydning.

Figur 4.11. Gennembrudskurve for benzen i indvindingsboring 164.1095.



Generelt betyder nedbrydningen en halvering af koncentrationsniveauerne, mens sorption ikke medfører nogen nævneværdig ændring i koncentrationsniveauerne i forhold til konservativ transport.

Ved analyser af grundvandet fra indvindingsboring 164.1095 er der ikke konstateret indhold af benzen, /16/.

Usikkerheden på grundvandspotentialet, der er anvendt til kalibrering af den oprindelige model, kan medføre, at den reelle strømningsretning i det primære magasin kan være mere østlig. Derved vil grundvandsforureningen strømme forbi indvindingsboringen. Hvis nedbrydningshastigheden samtidig er større end forudsat, vil dette samtidig medføre en større nedbrydning og dermed en lavere koncentration i indvindingsboringen end estimeret.

4.4 Sammenfattende risikovurdering

Masseberegningemetoden giver som vist i afsnit 4.2 mulighed for på en enkel måde at foretage en overordnet risikovurdering for indvindingsoplandene. Beregningerne angiver, at 25 % og 38 % af indvindingsoplandene er forurenet med hhv. MTBE og benzen over grænseværdierne. Metoden forudsætter, at kildestyrken er defineret, at forureningen er afgrænset, at indvindingsoplandet er defineret og at forureningen ender i vandværksboringerne i det pågældende indvindingsopland efter 1 års grundvandstransport uden sorption og nedbrydning. Masseberegningemetoden giver således et billede af det værste tilfælde. Hertil bemærkes dog, at modellens resultater overordnet stemmer overens med størrelsesordenen af fund af MTBE i vandværksboringer.

Modellering af strømning og stoftransport for forurening under de 3 lokaliteter i Svendborg til nærmeste indvindingsboring angiver, at indvindingsboringen kun i mindre grad er påvirket af MTBE (under grænseværdien), men påvirket af benzen over grænseværdien. Modellen giver et mere præcist billede af grundvandet strømningsretning og af indvindingsoplandets afgrænsning samt af forureningens udbredelse i grundvandsmagasinet.

Modellen viser således, at 2 af lokaliteterne ved de gennemførte simuleringer ligger udenfor indvindingsoplandet, hvilket naturligt resulterer i, at forureningsfanerne spredes mod Svendborg Sund i stedet for mod indvindingsboring 164.1095 som antaget i masseberegningen. Årsagen er som angivet i afsnit 4.3.1.3, at indvindingsoplandet er blevet betydeligt mindre som følge af ændringen i cellestørrelsen i lokalmodellen i forhold til den oprindelige model.

Med henblik på at kunne foretage en vurdering af om størrelsesordenen af den risikovurdering der er foretaget efter masseberegningemetoden stemmer overens med den simulerede risiko, er der gennemført supplerende simuleringer for de 3 lokaliteter i Svendborg. Simuleringen omfatter beregning af den maksimalt mulige koncentration i boring 164.1095. Den maksimalt mulige koncentration fås, hvis forureningen fra alle 3 lokaliteter ender i boring 164.1095.

4.4.1 Supplerende risikovurdering

Af de tidligere udførte scenarier for benzen ses, at forureningsfanen fra Vestergade 100 (479-00076) spredes i retning mod indvindingsboring 164.1095, mens forureningsfanerne fra lokaliteterne Vestergade 78 (479-00055) og Vestergade 115 (479-00044) spredes øst om boringen mod Svendborg Sund.

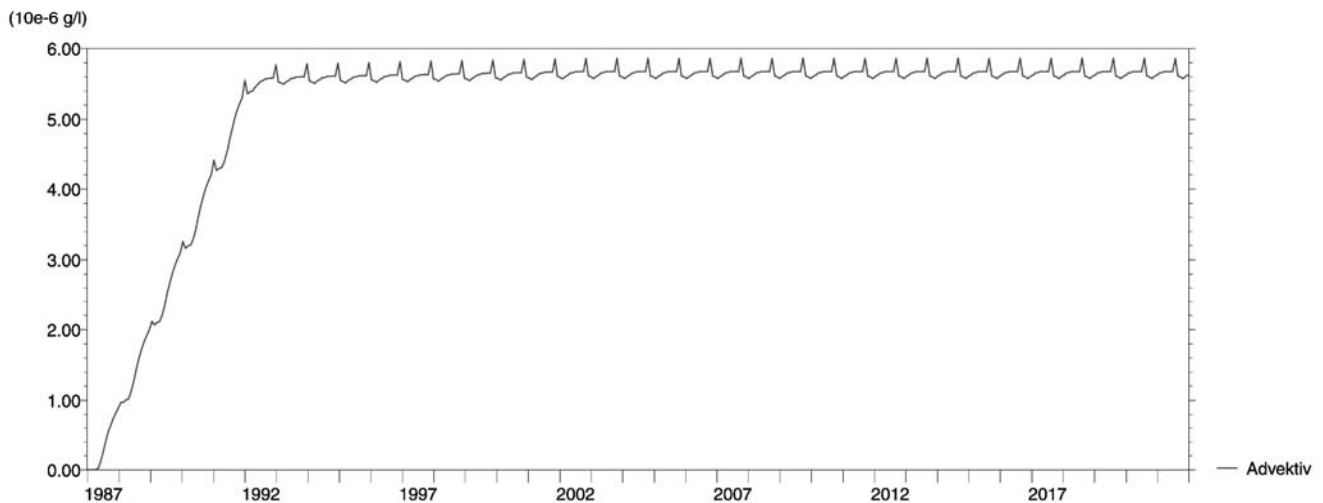
Simuleringen er derfor foretaget ved, at lokaliteterne Vestergade 78 og Vestergade 115 i modellen er flyttet ind på en linie, der flugter med Vestergade 100 og indvindingsboring 164.1095. Hermed vil forureningsfanerne fra lokaliteterne Vestergade 78 og Vestergade 115 spredes i retning mod indvindingsboring 164.1095.

Med de ændrede placeringer af lokaliteterne er der foretaget tre simuleringer:

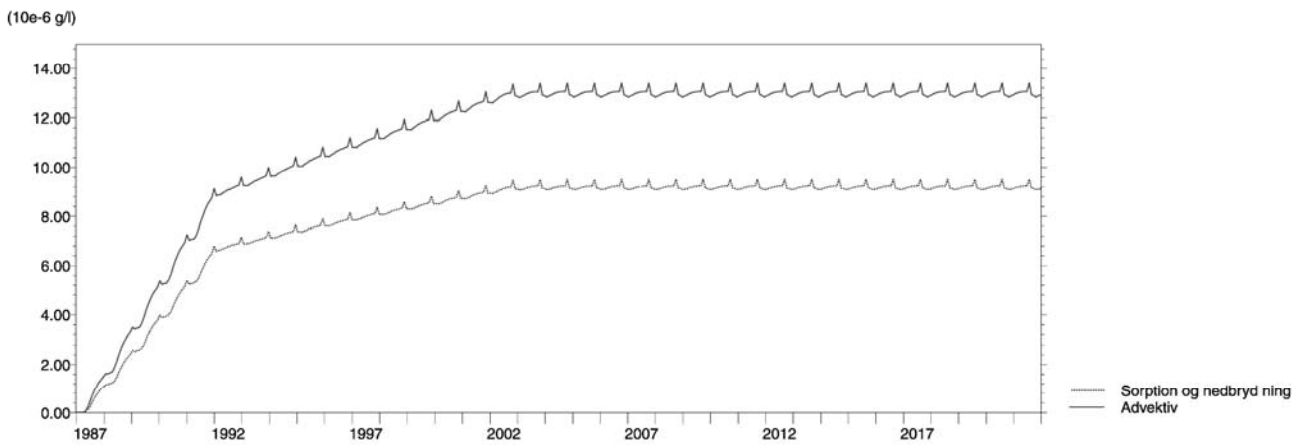
- MTBE, konservativ transport.
- Benzen, konservativ transport.
- Benzen, 1. ordens nedbrydningsforhold med sorption.

I figurerne 4.12 og 4.13 er vist gennembrudskurver i indvindingsboring 164.1095 for henholdsvis MTBE og benzen.

Figur 4.12. Gennembrudskurver for MTBE i indvindingsboring 164.1095. supplerende stoftransportscenarie



Figur 4.13. Gennembrudskurver for benzen i indvindingsboring 164.1095. Supplerende stoftransportscenarie



Resultaterne viser, at der for benzen vil nås en koncentration i boring 164.1095 over grænseværdien allerede i løbet af det første år (1987). I år 2002 opnås maksimumkoncentrationen af benzen på hhv. 13 og 9 µg/l. For MTBE opnås koncentrationer over 5 µg/l efter ca. 4 år (1991), og maksimal koncentrationen på ca. 5,5 µg/l opnås i 1992.

I bilagene 4.7 - 4.9 er forureningsudbredelsen i de øverste 2 m af det primære magasin (lag 5) for hvert af de 3 scenarier vist. Udbredelserne er vist for år 2002.

Med henblik på senere sammenligning mellem de simulerede koncentrationer i indvindingsboringen og oplandet resumeres resultaterne for de i afsnittene 4.2.2 gennemførte masseberegninger. Resultaterne fra masseberegningen er gældende for det samlede indvindingsopland for Hovedværket og Søgårdsværket og kan ikke umiddelbart sammenlignes med de simulerede koncentrationer i indvindingsboringen 164.1095.

Stofmængden for de tre lokaliteter udregnet ved masseberegningen fortyndes derfor i indvindingsmængden fra boring 164.1095 i stedet for vandværkets indvinding. Svendborg Vandforsyning har oplyst, at indvindingsmængden for boring 164.1095 i 1999 udgjorde ca. 215.000 m³.

Resultaterne er summeret i tabel 4.5.

Tabel 4.5: Sammenligning af koncentrationer

Alle tal er angivet i µg/l	Model	Opblanding (ud fra koncentration i terrænnært grundvand)
MTBE	5,5	217
Benzen	13	12

Af de beregnede koncentrationer ses der for begge metoder at være en risiko for forurening af indvindingsboringen 164.1095. Masseberegningen angiver, at risikoen for forurening af indvindingsboringen med MTBE er ca. 40 gange større end det vurderes på baggrund af simuleringerne, men risikoen for forurening af boringen med benzen er af samme størrelsesorden.

Baggrunden for at foretage en sammenligning af de gennemførte risici er dog usikker, hvilket dels skyldes forskellen i beregningsmetoderne, og dels forskellen i datamaterialet.

Spredning af stof i modellen medtager ikke nedsvivning af stof fra kildeområdet, idet det under kalibreringen har vist sig, at stoftransporten i modellen fortrinsvis sker i et sandlag der reelt ikke er tilstede under lokaliteterne. Stofsimuleringerne er derfor foretaget på baggrund af koncentrationerne i det primære magasin defineret direkte under lokaliteterne i den øverste del af det primære magasin. Simuleringen af stof foretages over i alt 16 år.

Masseberegningerne er derimod baseret på koncentrationer i det terrænnære grundvand for hver lokalitet. Den beregnede forureningsmængde opblandes i et oppumpet volumen svarende til 1 års indvinding.

Forskellen i beregningsmetoderne må forventes at medføre, at masseberegningerne medfører en overestimering af risikoen for forurening af indvindingsboringen, idet den beregnede forureningsmængde opblandes i 1 års indvinding, mens forureningsmængden ved simuleringen tilføres løbende, og dermed fortyndes over en længere årrække.

Forskellen i datamaterialet består i, at simuleringerne foretages med udgangspunkt i koncentrationen i det primære magasin, mens masseberegningen foretages med udgangspunkt i koncentrationen i det terrænnære grundvand. Da der som tidligere beskrevet ikke er overensstemmelse mellem koncentrationerne i det terrænnære grundvand og det primære magasin for begge parametre på flere lokaliteter, må der tilsvarende forventes en forskel i den beregnede risiko for de to metoder. For de tre lokaliteter i Svendborg vurderes, at de observerede koncentrationer af MTBE i det terrænnære grundvand tyder på, at der burde observeres mere MTBE i det primære magasin end analyserne viser. Tilsvarende vurderes for indholdet af benzen i det terrænnære grundvand, at den maksimale kildestyrkekoncentration ikke er konstateret, set i forhold til de koncentrationer der er konstateret i det primære magasin under lokaliteterne.

Det kan ikke umiddelbart vurderes, hvilken størrelsesorden de anførte forskelle har på resultaterne. For de aktuelle lokaliteter er det angiveligt forventeligt, at den beregnede risiko for forurening af indvindingsboringen for MTBE vil være størst for masseberegningsmodellen, mens det modsatte er tilfældet for benzen i det aktuelle tilfælde. Der ses en vis overensstemmelse med resultaterne i tabel 4.5 på dette punkt.

4.4.2 Sammenfattende risikovurdering

Samlet vurderes masseberegningsmodellen at overestimere risikoen i forhold til modellen. Modellens resultater er derfor sammenlignet med antal konstaterede fund af MTBE og benzen i grundvand. Der er overordnet observeret en overensstemmelse med antal af fund i vandværksboringer. Da hovedparten af øvrige analyserede prøver består af grundvand, der er ældre end 1985, er der ikke overensstemmelse mellem modelresultater og konstaterede fund i øvrigt grundvand. Det har derfor ikke været muligt at vurdere i hvilken størrelsesorden overestimering i masseberegningsmodellen sker.

Til gengæld har simuleringer i modellen medført en forståelse for strømningsbilledet i området omkring Vestergade i Svendborg, hvilket medfører, at det vurderes, at der ikke er risiko for forurening af indvindingsboringen med MTBE, men til gengæld en risiko for forurening af indvindingsboringen med benzen. Denne risiko er dog fortsat kun vurderet på baggrund af oplysninger om koncentrationer i det primære magasin, og medtager ikke en eventuelt større risiko for spredning af stof fra kilderne.

De foretagne modelsimuleringer viser samtidig, hvordan risikoen for forurening af en indvindingsboring stiger med antallet af forureningskilder i indvindingsoplandet.

5 Risikovurdering Fyn og Danmark

Risikovurderingen af de 43 MTBE-forurenede lokaliteter og berørte indvindingsoplande samt erfaringsopsamlingen fra Fyns Amt danner baggrund for den efterfølgende opskalering til Fyns niveau. Endvidere foretages en endnu grovere opskalering af resultatet så det svarer til hele Danmark. Formålet er at give et skøn over, hvor stor en del af Fyns og Danmarks drikkevand, der i værste fald kan forventes truet af forurening med MTBE og benzen.

Risikovurderingen for Fyn berører indvindingsoplandene og det samlede OSD (områder med særlige drikkevandsinteresser) svarende til både den eksisterende og den potentielle vandindvindingsinteresse. Der tages udgangspunkt i den fremtidige grænseværdi for MTBE i drikkevand på 5 µg/l og grænseværdien for benzen på 1 µg/l.

Opskaleringen til landsplan omfatter kun et skøn i forhold til den samlede indvundne vandmængde dvs. den eksisterende vandindvinding.

Det tilføjes, at der i afsnit 4.2.4 er foretaget en sammenligning af risikoberegningerne og de konstaterede fund af MTBE og benzen i grundvand. Sammenligningen og årsagerne til uoverensstemmelser er også gældende for betragtningerne i det følgende.

5.1 Forudsætninger for opskalering

Opskaleringen foretages ud fra 3 forskellige beregninger:

1. På baggrund af de 43 lokaliteter beregnes antallet af muligt MTBE- og benzenforurenede lokaliteter på landsplan
2. Procentsatsen for hvor stor en del af de forurenede servicestationer der truer et indvindingsopland, anvendes overfor det samlede antal indvindingsoplande, hvor der ligger en mulig forurenede servicestation. Resultatet angiver hvor stor en del af den samlede mængde indvindingsoplande, der kan forventes at være forurenede med MTBE og benzen over grænseværdierne for drikkevand. Derudover opgøres den samlede mængde forureningstruet drikkevand i forhold til den årlige grundvandsdannelse og den samlede grundvandsressource (indenfor OSD).
3. På baggrund af de 43 lokaliteter beregnes en gennemsnitlig forureningsmasse pr. grundvandstruende lokalitet. Denne forureningsmasse opskales og opblandes i den samlede grundvandsressource. Resultatet angiver en koncentration af det forurenede stof i grundvandsressourcen.

Beregning 1 omfatter således en grov beregning i forhold til risikoen overfor grundvandet baseret på JAGG-beregningerne i afsnit 3. Beregning 2 og 3 omfatter risikoen overfor den eksisterende og potentielle indvinding baseret på masseberegningerne i afsnit 4.2. Det skal her understreges, at masseberegningerne jf. afsnit 4.2.3 generelt ikke anbefales anvendt, da den modsiger princippet om at rydde forureninger op ved kilden og ikke ved vandværket. Beregningsresultaterne er dog anvendt her på grund af mangel på en bedre metode.

Der er ved opskaleringen anvendt en række forudsætninger, der stammer fra Fyns Amts erfaringsopsamling af MTBE-forureninger og referencer /17/, /18/ og /19/.

Opskaleringen tager desuden udgangspunkt i masseberegningen foretaget i afsnit 4.2, og forudsætter således;

- at hverken MTBE eller benzen nedbrydes eller tilbageholdes i grundvandsmagasinet
- at hele forureningskilden i løbet af et år udvaskes og transporteres hen til nærmeste nedstrøms indvindingsboring

Opskaleringen bliver derfor et udtryk for det værste tilfælde.

I tabel 5.1 og 5.2 er angivet de erfaringstal, der er anvendt til opskaleringen, og som er fremkommet af Fyns Amts erfaringsopsamling samt af databehandlingen og risikovurderingerne i afsnit 4.2.

Tabel 5.1 Erfaringstal fra Fyns Amt og masseberegningerne

	MTBE	Benzen
Procentdel forurenede lokaliteter af samtlige mulige	86 % (62 af 72)	-
Procentdel lokaliteter, der kan true indvindingsoplande, af samtlige 43 forurenede	25 % (11 af 43)	38 % (15 af 43)
Procentdel truede indvindingsoplande af samtlige mulige med potentiel forurening	24 % (9 af 37)	38 % (14 af 37)
Samlet truet indvindingsmængde	2,3 mill. m ³ (9 oplande)	2,8 mill. m ³ (14 oplande)
Samlet forureningsmængde for de 43 lokaliteter	308 kg	1.762 kg

Tabel 5.2 Data Fyns Amt, grundvandsressource og MTBE-forureninger

Fyns Amt	
Grundvandsressource, /17/	8262 mill. m ³
Grundvandsressource indenfor OSD, /17/	7850 mill. m ³
Årlig grundvandsdannelse, /17/	128 mill. m ³
Indvinding 1998, m ³ /17/	38 mill. m ³
antal indvindingsoplande /18/	276
antal indvindingsoplande med mulig MTBE-forurening /18/	110
antal indvindingsoplande indenfor OSD med mulig MTBE-forurening /18/	94
antal muligt MTBE- forurenede lokaliteter /18/	338
antal muligt MTBE- forurenede lokaliteter indenfor indvindingsoplande /18/	253
antal muligt MTBE- forurenede lokaliteter indenfor OSD /18/	225
antal muligt MTBE-forurenede lokaliteter indenfor indvindingsoplande i OSD, /18/	168

Det bemærkes, at der ikke er foretaget en erfaringsopsamling af benzenforurening fra fynske servicestationer og at tal herfor derfor mangler i tabel 5.2. Opskaleringen af risikovurderingen overfor benzen tager derfor alene udgangspunkt i masseberegningerne i afsnit 4.2.

Det tilføjes, at der ved opskaleringen ikke er foretaget en sammenstilling af data vedrørende forureningsundersøgelser fra andre egne af Danmark, ej heller vedrørende lokaliteternes aldersmæssige fordeling og indretningsmæssige forhold, idet datamateriale mangler.

5.2 Risikovurdering for grundvand

Det er opgjort, at der indenfor Fyns Amt findes 338 muligt MTBE-forurenede lokaliteter, jf. tabel 5.2. Heraf ligger de 225 lokaliteter indenfor OSD-områder.

Af de muligt MTBE-forurenede lokaliteter er det beregnet, at 86% reelt vil være forurenede, jf. tabel 5.1, svarende til i alt 291 lokaliteter, hvoraf 194 ligger indenfor OSD-områder. Af disse kan de 39 % og 44 % af lokaliteterne medføre en grundvandsforurening med hhv. MTBE og benzen over grænseværdierne svarende til 113 MTBE-forurenede lokaliteter og 128 benzenforurenede lokaliteter, hvoraf hhv. 75 og 85 ligger indenfor OSD-områder.

Tallene kan råt opskaleres til landsplan bestående af 14 amter eksklusiv Frederiksberg og Københavns Kommuner, hvor antallet af MTBE-forurenede servicestationer anses for negligeabel. Herved fås, at der kan være tale om ca. 4730 muligt MTBE-forurenede lokaliteter, hvoraf de 3150 ligger indenfor OSD-områder. Heraf kan de ca. 1600 og 1800 have forurennet det primære grundvand med hhv. MTBE og benzen over grænseværdierne. Af disse ligger hhv. 1060 og 1190 indenfor OSD-områder.

5.3 Risikovurdering for indvinding på Fyn, MTBE

5.3.1 Eksisterende indvinding

Af tabel 5.1 fremgår, at 25 % af de 43 lokaliteter, hvor der er konstateret en forurening med MTBE, kan medføre et indhold af MTBE i nærmeste nedstrøms indvindingsboring på mere end 5 µg/l svarende til den fremtidige grænseværdi.

Fyns Amt har vurderet, at der i amtet findes ca. 253 lokaliteter, der kan være forurenede med MTBE, og som samtidig ligger indenfor et indvindingsopland. Heraf ligger ca. 168 lokaliteter også indenfor OSD.

Af de 253 lokaliteter kan 86 %, svarende til 218 lokaliteter, på baggrund af erfaringerne forventes at være forurenede med MTBE.

Opskaleres de 25 % nævnt ovenfor til at dække hele amtet og samtlige mulige forurenede lokaliteter, svarer det til, at ca. 21 % ($0,86 * 25$) af samtlige mulige MTBE-forurenede lokaliteter medfører en overskridelse af den fremtidige grænseværdi for drikkevand i nærmeste nedstrøms indvindingsboring.

De 253 lokaliteter ligger i ca. 110 indvindingsoplande jf. tabel 5.2. Forudsættes lokaliteterne og forureningerne jævnt fordelt på oplandene, svarer det til, at 21% af disse indvindingsoplande (dvs. i alt 23 oplande) kan forventes forurenede med MTBE over 5 µg/l. På Fyn findes i alt 276 indvindingsoplande, hvoraf de 23 som nævnt kan forventes forurenede med MTBE over den fremtidige grænseværdi svarende til ca. 8% af samtlige indvindingsoplande.

Ses på den samlede indvindingsmængde fra almene vandværker, indvindes der årligt på Fyn ca. 38 mill. m³ vand (1998), /17/. Forudsættes indvindingen jævnt fordelt på oplandene kan det i lighed med ovenstående forventes, at 8% af denne mængde er forurenede med MTBE over 5 µg/l, svarende til en indvindingsmængde på ca. 3 mill. m³.

Ses imidlertid på de 43 undersøgte lokaliteter, fremgår det, at de 25%, der ved masseberegningerne giver overskridelser af den fremtidige grænseværdi, modsvarer en indvinding i de berørte indvindingsoplande på ca. 2,3 mill. m³ ud af 8,9 mill. m³ (den samlede indvinding i oplandene, hvor de 43 lokaliteter ligger). Dette svarer til 26 % (2,3/8,9) af indvindingsmængden i de undersøgte indvindingsoplande. Forudsættes, at dette tal kan overføres til den samlede indvinding, kan 26% heraf dvs. ca. 10 mill. m³ forventes forurenede med MTBE over 5 µg/l.

Opskaleringen af risikovurderingen medfører dermed, at 3-10 mill. m³ af den årlige indvindingsmængde på 38 mill. m³ i værste fald kan forventes forurenede. At de 2 beregningsmuligheder giver så forskellige resultater skyldes, at indvindingen reelt ikke er jævnt fordelt på oplandene. Af de 9 oplande (tabel 5.1), der kan forventes at have MTBE-indhold over 5 µg/l, omfatter de 5 oplande således en indvinding hver på 285.000-642.000 m³ og en samlet indvinding på ca. 2,2 mill. m³, svarende til 96 % af den samlede beregnede forurenede indvindingsmængde i de 9 oplande.

Til opskaleringen bemærkes desuden, at erfaringsopsamlingen på de 43 lokaliteter omfatter;

- 37 ud af 110 indvindingsoplande med mulig MTBE-forurening dvs. 34 % af samtlige muligt MTBE-forurenede indvindingsoplande
- en indvindingsmængde på 8,9 mill. m³ vand ud af i alt 38 mill. m³ indenfor hele amtet, svarende til 23 % af den samlede indvinding.

Da det må forventes, at der i større byområder med høje indvindingsmængder findes mere end en muligt MTBE-forurenede lokalitet, vil en mulig MTBE-forurening her medføre, at ovennævnte opskalering undervurderer problemets samlede omfang.

Fordelingen af indvindingsboringer eller vandværker i oplandet har naturligvis også stor betydning for problemets omfang. Nogle boringer vil blive væsentligt mere påvirket end andre, og boringerne længst fra forureningskilden vil pga. fortyndingseffekten ikke blive væsentligt påvirket.

5.3.2 Potentiel drikkevandsressource

En risikovurdering overfor den potentielle fynske drikkevandsressource kan tage udgangspunkt i den samlede drikkevandsressource på Fyn.

Fyns Amt har i /17/ beregnet, at magasiner og tilhørende indvindingsoplande dækker ca. 95% af det samlede OSD-areal. Den totale ressource er ligeledes af Fyns Amt bestemt til ca. 8.262 mill. m³, hvoraf de 7.850 mill. m³ altså ligger indenfor OSD.

Forudsættes i lighed med indvindingsoplandene, at 8 % af OSD er forurenede med MTBE over 5 µg/l, fås i stedet, at der er tale om en forurening af en ressource på ca. 630 mill. m³. Denne ressourcemængde er ca. 5 gange højere end den årlige grundvandsdannelse på Fyn, jf. /17/.

En anden måde at anskueliggøre risikoen for MTBE-forurening af drikkevandsressourcen er at sammenligne den samlede mængde forventet forurening med den samlede mængde forurenede ressource.

På baggrund af masseberegningerne er det beregnet, at der på de 43 lokaliteter findes ca. 308 kg MTBE svarende til 7,2 kg pr. lokalitet i gennemsnit. Forudsættes 86 % af de 225 muligt MTBE-forurenede lokaliteter, der ligger indenfor OSD, at være forurenede med 7,2 kg MTBE pr. lokalitet, fås en samlet forureningsmængde i OSD på 1.400 kg. Opløses denne mængde i den samlede ressource indenfor OSD fås et gennemsnitsindhold af MTBE på 0,18 µg/l, dvs. en faktor 28 under den fremtidige grænseværdi.

Opløses samme mængde MTBE i den samlede mængde forurenede grundvand, fås et gennemsnitsindhold på 2,2 µg/l, dvs. ca. 50% af grænseværdien.

5.3.3 Sammenfatning

Baseret på baggrund af erfaringsopsamlingen og den foretagne risikovurdering for de 43 MTBE-forurenede lokaliteter, konkluderes at MTBE kan udgøre en fare for forurening af en væsentlig del af den eksisterende indvinding og den potentielle drikkevandsressource på Fyn. En væsentlig forudsætning for denne vurdering er, at MTBE ikke nedbrydes eller tilbageholdes i grundvandsmagasinet.

5.4 Risikovurdering for indvinding på Fyn, benzen

Af tabel 5.1 fremgår, at 38 % af de 43 lokaliteter, hvor der er konstateret en forurening med benzen, på baggrund af masseberegningerne kan medføre et indhold af benzen i nærmeste nedstrøms indvindingsboring på mere end 1 µg/l svarende til den eksisterende grænseværdi.

Imidlertid må det forventes, at der er flere lokaliteter med benzenforurening end lokaliteter med MTBE-forurening, idet MTBE kun er anvendt i benzin siden 1985. Opskaleringen af risikovurderingen for benzen vil derfor umiddelbart give en væsentlig større forurening af drikkevands- og grundvandsressourcen end MTBE.

Imidlertid bliver benzen i væsentlig større grad end MTBE nedbrudt i grundvandsmagasinet, og en opskalering på baggrund af masseberegningerne vil derfor medføre, at problemets omfang overvurderes i væsentlig grad. Dette støttes af, at der i Danmark kun er observeret få grundvandsforureninger med benzen længere nedstrøms servicestationer.

Benzen vurderes på baggrund af erfaringer derfor kun at udgøre en fare for forurening af en mindre del af den eksisterende indvinding og den potentielle drikkevandsressource på Fyn.

5.5 Risikovurdering for indvinding på Landsplan

I /3/ er det angivet, at der på landsplan indvindes ca. 450 mill. m³ vand årligt.

Forudsættes som for opskaleringen for Fyn, at ca. 8-26 % af den samlede indvindingsmængde er forurenede med MTBE over den fremtidige grænseværdi, svarer det til en forurenede vandmængde på landsplan på 36-117 mill m³.

En væsentlig forudsætning for denne opskalering er, at de geologiske og hydrogeologiske forhold i Danmark er sammenlignelige. I Københavnsområdet, hvor der indvindes meget store mængder vand indenfor et forholdsvist lille areal og hvor transporttiden i grundvandet derfor er kort, vil opskaleringen undervurdere problemets omfang. Derimod vil der ske en overvurdering af problemets omfang i f.eks. en del af Vestjylland, hvor der findes sandmagasiner med iltede forhold og hvor der derfor kan ske en vis nedbrydning af MTBE.

Baseret på baggrund af erfaringsopsamlingen og den foretagne risikovurdering for de 43 MTBE-forurenede lokaliteter, konkluderes dog at MTBE på landsplan i værste fald kan udgøre en fare for forurening af en væsentlig del af den eksisterende indvinding. En væsentlig forudsætning for denne vurdering er, at MTBE ikke nedbrydes eller tilbageholdes i grundvandsmagasinet.

6 Konklusion

Risikovurderingen af MTBE- og benzenforurenede lokaliteter overfor grundvandet har taget udgangspunkt i de 43 MTBE-forurenede lokaliteter i Fyns Amt. For hovedparten af disse lokaliteter var der ikke erkendt forurening med MTBE inden de første forureningsundersøgelser blev udført.

Ud fra en række forudsætninger anvendt til risikoberegningerne er det beregnet, at 39 % af de 43 MTBE-forurenede lokaliteter kan medføre en forurening af det primære grundvand med MTBE over 5 µg/l. Det tilsvarende tal for benzen er 44 % ved en grænseværdi på 1 µg/l.

Derudover er det konservativt beregnet, at 25 % af indvindingsoplandene, hvori de 43 lokaliteter ligger, kan være forurenede med MTBE over grænseværdien. For benzen er tallet 38 %. Ved at opskalere tallene til at dække samtlige mulige MTBE-forurenede lokaliteter i Fyns Amt, er det beregnet, at 8-26 % af den samlede indvindingsmængde kan være forurenede med MTBE over grænseværdien. I forhold til den samlede potentielle drikkevandsressource er det groft anslået, at en samlet ressource på 630 mill. m³, svarende til 5 gange den årlige grundvandsdannelse, kan være forurenede.

Opskaleringen til landsplan har antydnet, at ca. 1600 og 1800 servicestationer over hele landet kan have forurenede det primære grundvand med hhv. MTBE og benzen over grænseværdierne. Heraf er det anslået, at de hhv. 1060 og 1190 lokaliteter ligger indenfor OSD-områder.

Det er klart, at disse tal er fremkommet under en række forudsætninger beskrevet i de foregående afsnit, og i øvrigt er baseret på konservative beregningsmetoder. Det er dog også sandsynliggjort, at beregningerne har taget udgangspunkt i målte koncentrationer af MTBE og benzin, der teoretisk er vurderet at være for lave til at repræsentere den reelle kildestyrke.

Endelig er der ved igangsættelse af denne risikovurdering ikke konstateret forureninger af det indvundne grundvand i det omfang risikovurderingen lægger op til. Nogle af årsagerne hertil er, at der kun er foretaget forholdsvis få analyser for MTBE og at de foretagne analyser er foretaget på grundvand, der er ældre end 1985, hvor brugen af MTBE i benzin blev indført i Danmark.

Imidlertid viser risikovurderingen, at MTBE kan udgøre et muligt fremtidigt forureningsproblem for indvindingen af drikkevand og for grundvandsressourcen. Der bør indhentes et større datagrundlag, der kan nuancere den foretagne risikovurdering.

De anvendte forudsætninger og beregninger i rapporten viser, at der er behov for større viden om bl.a. følgende forhold:

- MTBE's nedbrydning under forskellige redoxforhold
- den reelle kildestyrke af MTBE (og øvrige benzinstoffer) på forurenede lokaliteter
- indhold af MTBE i primært grundvand
- betydningen af servicestationernes indretning (miljøbeskyttende foranstaltninger) for udbredelse af forurening med MTBE og benzen

Disse forhold sammenholdt med forureningsundersøgelser, der fokuserer på omfang og udbredelse af MTBE-forureninger, vil kunne forbedre datagrundlaget og dermed yderligere nuancere risikovurderingen.

7 Referencer

- /1/ Fyns Amt. Notat om MTBE fund i grundvand i Fyns Amt, 5. okt. 2000.
- /2/ Miljøstyrelsens bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg nr. 871 af 21.9.2001.
- /3/ Miljøstyrelsen. Vejledning om oprydning på forurenede lokaliteter, nr. 6 og 7, 1998.
- /4/ Oliebranchens Fælles Repræsentation. Anvendelsen af MTBE i dansk benzin. Brev til Miljøstyrelsen dateret 3. november 2000.
- /5/ Personlig kommentar fra Michael M. Jensen, Oliebranchens Miljøpulje. 21. november 2001.
- /6/ Miljøstyrelsen. Miljøprojekt nr. 483, 1999. Afværgeteknikker for MTBE-forurenede grundvand.
- /7/ Miljøstyrelsen. Naturlig nedbrydning af miljøfremmede stoffer i jord og grundvand. Miljøprojekt nr. 408, 1998.
- /8/ Fyns Amt. Figur 2 kort: Placering af vandindvinding sammenholdt med lertykkelser og recipienter (A), samt områder med særlige drikkevandinteresser (B). Kort udleveret af Fyns Amt. Kortene er udarbejdet af Fyns Amt på baggrund af Fyns Amts "Madpapirmodel" i MapInfo.
- /9/ Geologiske- og hydrogeologiske forhold i Svendborgområdet. COWI. Jan. 2001.
- /10/ Supplerende forureningsundersøgelse. Affaldsdepot nr. 479-55. DGE. Aug. 1997.
- /11/ O.M. Vestergade 100, Svendborg. Statusnotat for supplerende undersøgelser og afværgepumpning. COWI November 1999.
- /12/ Hydro Texaco A/S. Vestergade 115, Svendborg. Statusrapport. Hedeselskabet august 1996.
- /13/ Hydro Texaco A/S. Vestergade 115, Svendborg. Dokumentation for oprensning. Hedeselskabet oktober 2000.
- /14/ Fyns Amt. MTBE-analyser, sommeren 1997.
- /15/ Large-Scale Dispersion in a Sandy Aquifer in Denmark: Observed Tracer Movements and Numerical Analyses. K. Høgh Jensen, K. Bitsch, and P. L. Bjerg. Water Resources Research, Vol. 29, No. 3, March 1993.
- /16/ Fyns Amt. Analyser af grundvand fra indvindingsboringer. Udleveret af Fyns Amt 2001.

- /17/ Fyns Amt. Kortlægning af grundvandsressourcerne. Regionplan 2001. Forslag til udpegning af nitratfølsomme indvindingsområder. November 2000.
- /18/ Fyns Amt. Mapinfo filer. 2001
- /19/ Vejle Amt. Grundvandet – som drikkevandsressource. Juli 2001.
- /20/ Field studies of BTEX and MTBE. Intrinsic bioremediation. API. October 1997
- /21/ MTBE i dansk benzin, brev fra OFR til Miljøstyrelsen, 28. august 2002.
- /22/ WWW.epa.gov/MTBE/faq.htm., 2002.09.30.
- /23/ Environment Agency UK. A Review of Current MTBE Usage and Occurrence in Groundwater in England and Wales. R & D Publication. 1997
- /24/ Saybolt. Analyser. 2001