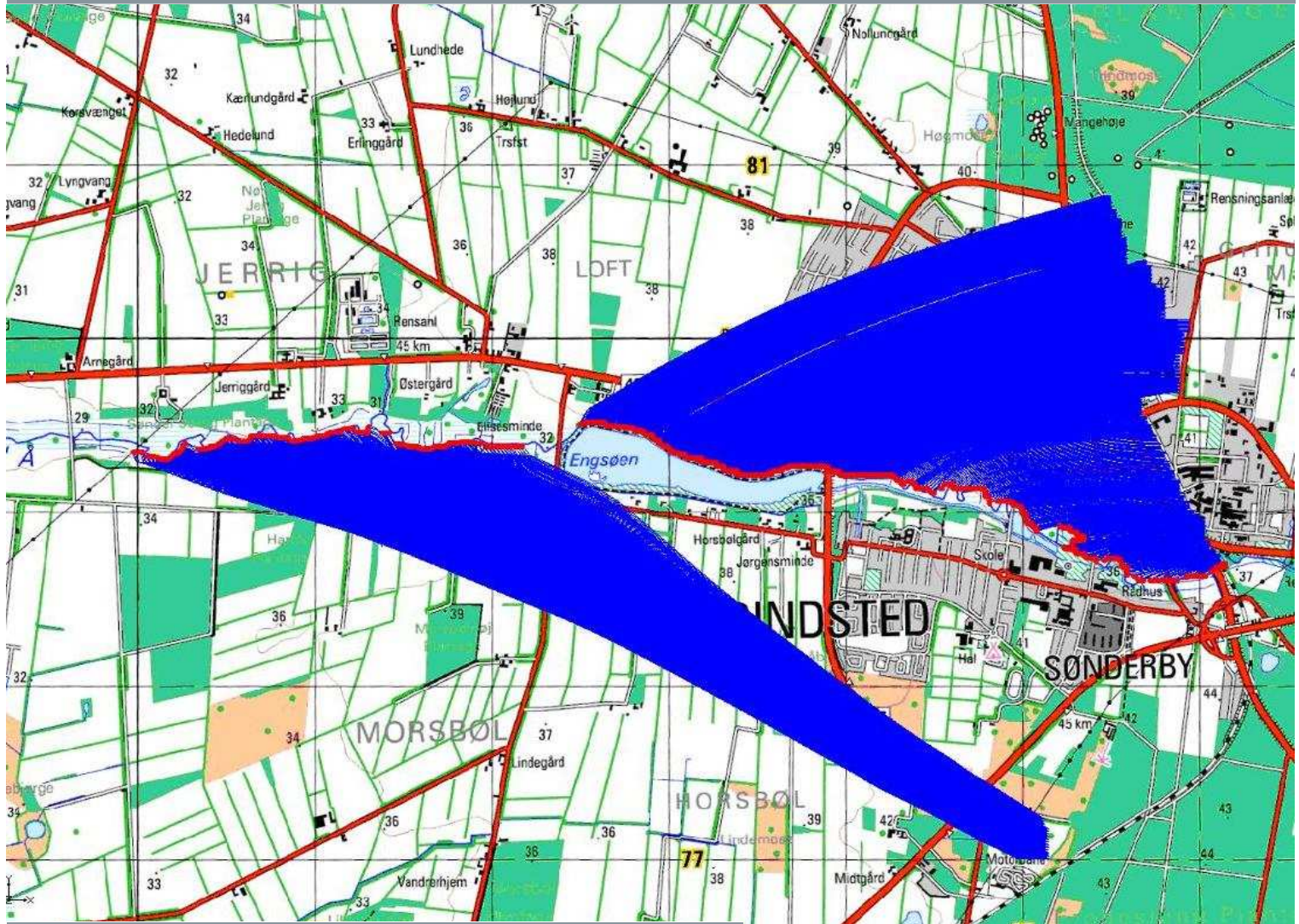


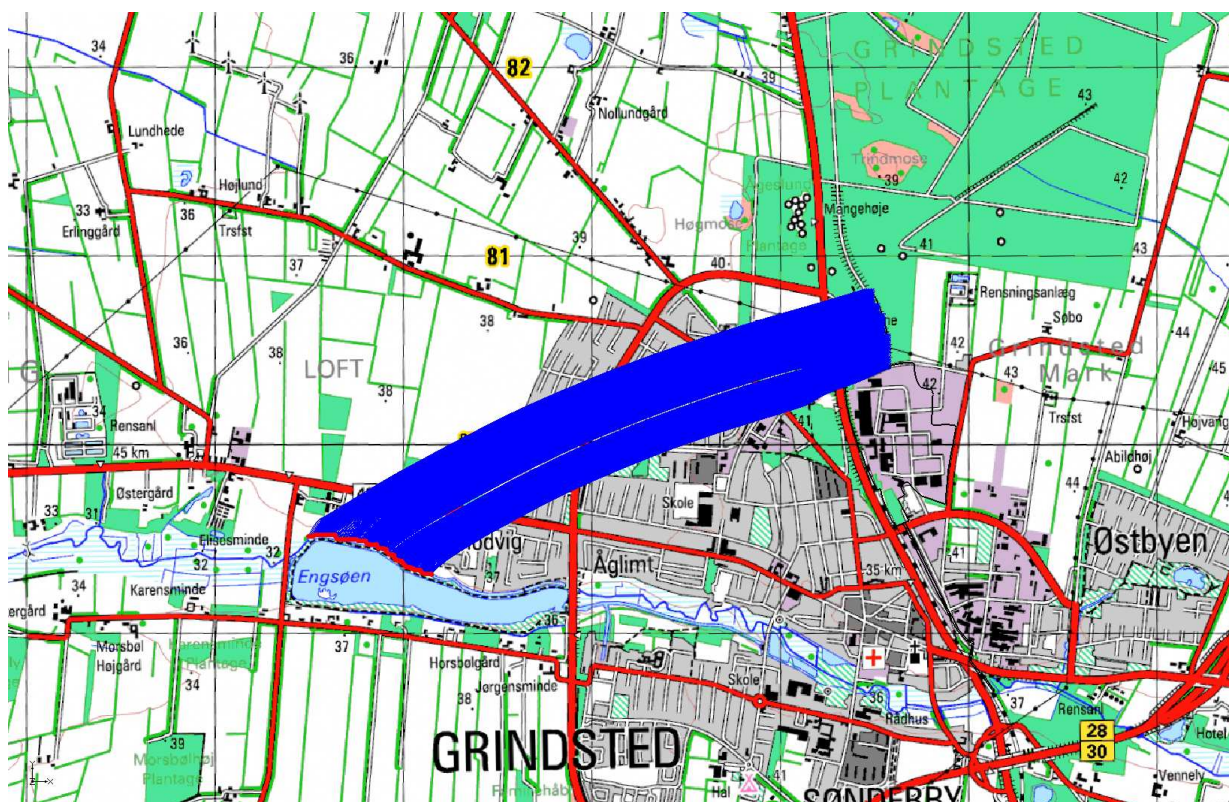
# Grundvandsmodel for Grindsted By



Marts 2010



## Grundvandsmodel for Grindsted By



Udgivelsesdato : 26-03-2010  
Projekt : 30.9919.02

Udarbejdet : Peter Alfred Petersen  
Kontrolleret : Carsten Vejergang, Tore Stamp Kirkeby  
Godkendt : Peter Alfred Petersen

<b>INDHOLDSFORTEGNELSE</b>		<b>SIDE</b>
<b>1</b>	<b>BAGGRUND OG FORMÅL</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>GRUNDLAG FOR MODELOPSTILLINGEN</b>	<b>4</b>
2.1	Geologisk model	4
2.2	Datainput, hydraulisk model	5
<b>3</b>	<b>KALIBRERING</b>	<b>10</b>
3.1	Nøjagtighedskriterier	10
3.2	Startmodel	11
3.3	Model Validering	16
<b>4</b>	<b>SCENARIEBEREGNINGER</b>	<b>18</b>
4.1	Scenarium 1, Banegravsdepotet	18
4.2	Scenarium 2, Fabriksgrunden	20
4.3	Scenarium 3, Top Arnum under Fabriksgrunden	22
4.4	Scenarium 4, Bastrup under Fabriksgrunden.	23
4.5	Scenarium 5, Afløbsgrøften	25
4.6	Scenarium 6, Grindsted gl. Losseplads	26
4.7	Scenarium 7, Top Arnum Grindsted Gl. Losseplads	28
4.8	Scenarium 8, Bastrup under Grindsted Gl. Losseplads	29
<b>5</b>	<b>SAMMENFATNING OG VURDERINGER</b>	<b>31</b>
<b>6</b>	<b>REFERENCER</b>	<b>35</b>

## 1 BAGGRUND OG FORMÅL

I forbindelse med kortlægning og vurdering af forureningsspredningen fra Grindsted Products depoter via grundvandet ind under Grindsted By, har Region Syddanmark anmodet Grøntmij | Carl Bro A/S om rådgivning og bistand i forbindelse med opstilling og kalibrering af en stationær grundvandsmodel for Grindsted. Følgende arbejde er udført:

- Deltagelse i 3-4 møder (workshops, diskussion af geologi, modelopsætning m.v.)
- Overførsel af hydrostratigrafisk model til hydrauliske model fra den opstillede geologiske model for området.
- Indarbejdning af hydrologiske og hydrogeologiske oplysninger (kalibreringsgrundlag, pejlinger, vandløb m.v.), resultater fra den udførte prøvepumpning. Vurdering af datagrundlaget (kvalitet). Valg af randbetingelser. Pejlegrundlag og klimadata fra den regionale model (2004 data) anvendes i den nye modelopsætning.
- Invers kalibrering og usikkerhedsanalyse af den opstillede model.
- 8 scenariekørsler med forureningsspredning beskrevet ved partikeludbredelse (konservativt stof)
- Kort dokumentationsnotat (nærværende skrift)

Arbejdet er sat i gang i september måned 2009, på baggrund af fremsendt oplæg af juni måned 2009, og denne fase afsluttes med nærværende rapport.

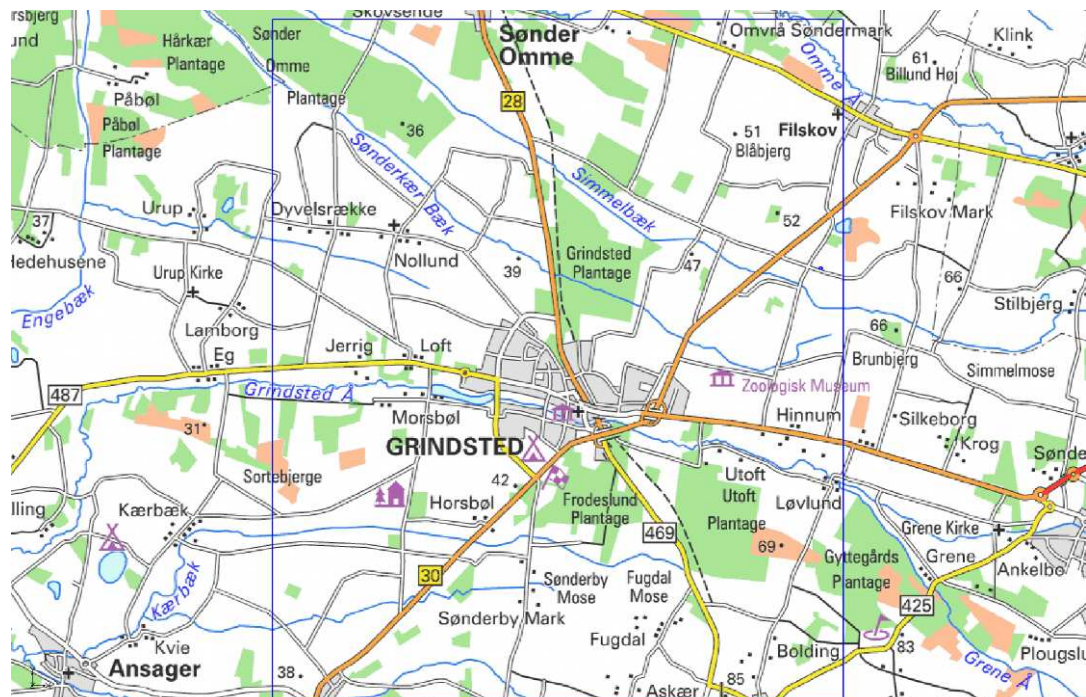
Formålet med modellen er overordnet at beskrive forureningsspredningen via grundvandsstrømning fra kilderne forårsaget af Grindsted Products, i forhold til de bebyggede områder, samt at vurdere, hvorvidt forureningen potentielt kan medføre en risiko for nærliggende indvindinger/OSD områder.

## 2 GRUNDLAG FOR MODELOPSTILLINGEN

### 2.1 Geologisk model

Region Syddanmark har selv udarbejdet en geologisk forståelsesmodel og efterfølgende en rumlig geologisk model (i **Mike Geo Model**), der er anvendt som grundlag for opstilling af en hydraulisk model. Den hydrauliske model er opstillet i ModFlow, med GMS 6.5 som input generator.

MGM-modellen dækker et område, som vist på nedenstående Figur 2.1.



**Figur 2.1:** Oversigtskort med afgrænsning af modelområdet (vist med blå firkant). Ikke målefast.

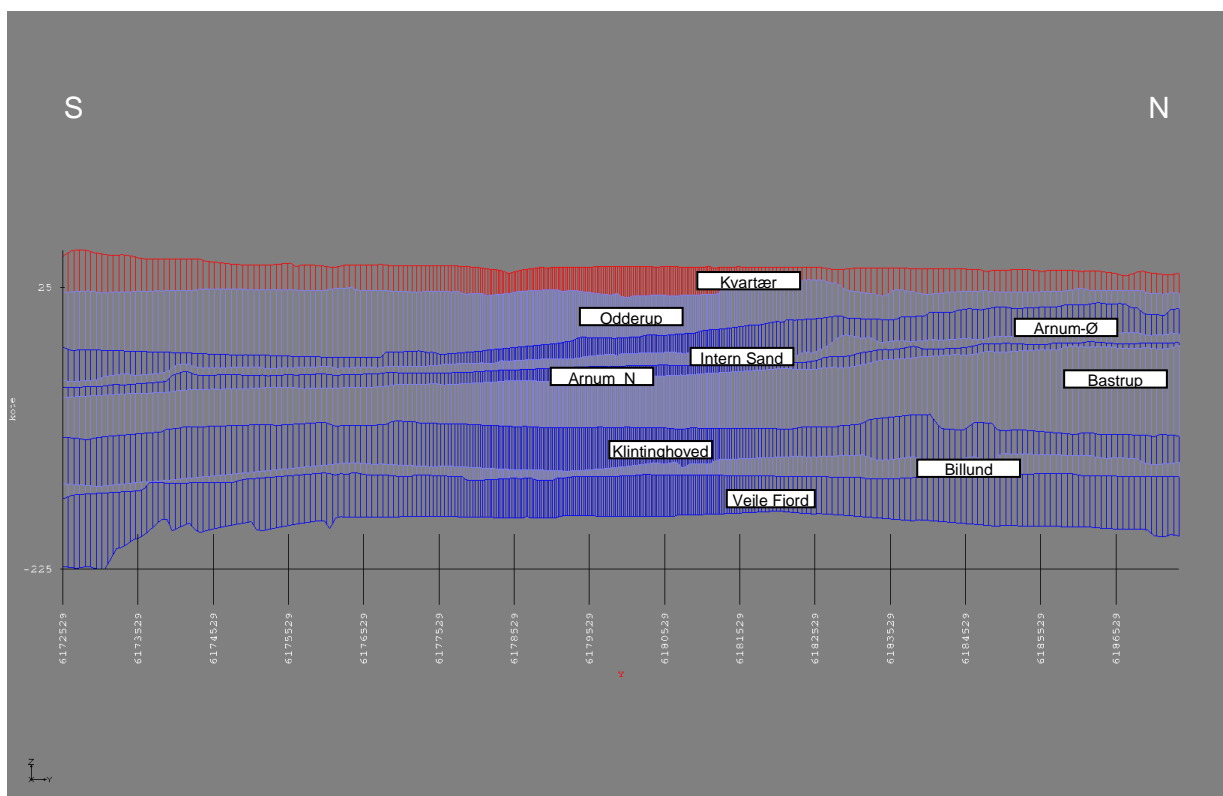
Afgrænsningen af modelområdet er foretaget med baggrund i den regionale strømningssmodel for området /1/. Det har ikke været muligt at finde vandskel i en rimelig afstand fra interesse området, og randen er derfor lagt i en passende afstand fra selve Grindsted. Afstanden er valgt således, at der er mulighed for at regne i mindre celler indenfor området, og stadig have en beregningsmæssig effektivitet.

Ud fra MGM-modellen, er der defineret en hydrostratigrafisk model (lagmodel), med en cellestørrelse på 50x50 m.

Den hydrostratigrafiske model er overført til GMS.

Til kontrol af, om den geologiske model er overført korrekt, er der fra GMS udtegnet et øst-vest samt nord-syd –gående profil, som er sammenlignet med MGM-profilerne. Overførslen er på det grundlag godkendt af Region Syddanmark.

På Figur 2.2 er vist et eksempel på syd-nord gående profil, udskrevet fra GMS.



**Figur 2.2:** Syd-Nord gående profil fra GMS, anvendt til sammenligning med profil i MGM-modellen.

Det fremgår af figuren, at der er defineret 9 lag i den hydrostratigrafiske model. Lagene er sammenfattet i Tabel 2.1.

Lag nr.	Betegnelse	Bemærkning
1	Kvartær	Sandede/grusede aflejringer
2	Odderup	Sand fra Odderup formationen
3	Arnum-Ø	Ler fra Arnum Formationen
4	Internt sand	Sand fra Arnum Formationen
5	Arnum-N	Ler fra Arnum Formationen
6	Bastrup	Bastrup sand (regional udbredelse)
7	Klintinghoved	Lerede lag
8	Billund	Sandede lag
9	Vejle Fjord	Ler

**Tabel 2.1:** Oversigt over lag i den hydrostratigrafiske model

Den hydrostratigrafiske model er kontrolleret for krydsende laggrænser. Der blev ikke påvist nogen.

## 2.2 Datainput, hydraulisk model

Det er valgt at basere den stationære model på oplysninger, som overføres fra den regionale model, beskrevet i /1/. Der er tale om data fra 2004, dvs. oppumpningsdata, pejledata (fra synkron runde), grundvandsdannelse, samt oplysninger om vandløb og vådområder, herunder beliggenhed og udformning.

For at øge dækningen og validiteten af kalibreringen, er der i forbindelse med denne udtrukket pejledata fra samtlige borer i området (gennemsnitspejlinger), der således også indgår i kalibreringsgrundlaget.

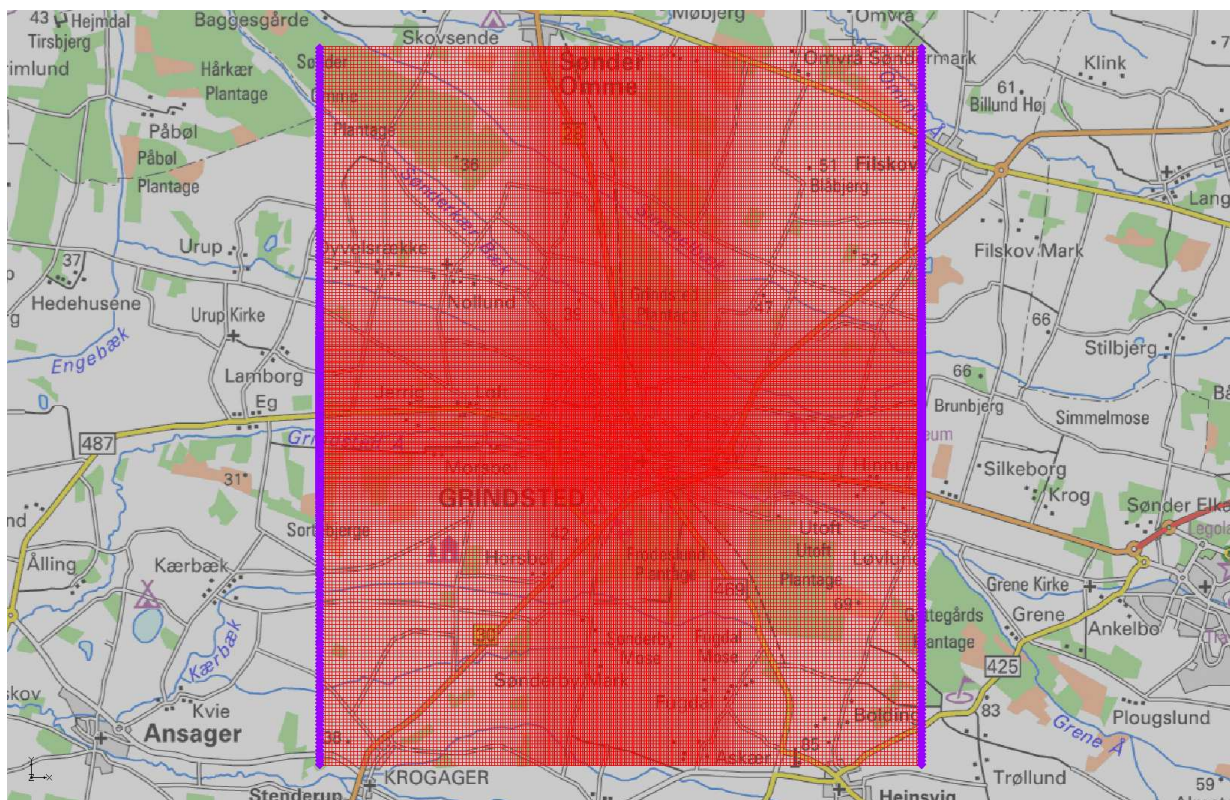
### 2.2.1 Randbetingelser

Randbetingelserne til nærværende model er udtrukket fra den regionale model, i form af modelgenererede potentialebilleder for kvartær/Odderup, samt Bastrup sandet.

Randbetingelserne er defineret som fastholdt tryk i den østlige og vestlige del af modelranden, da det ikke er muligt at finde vandskel i rimelig nærhed til modelområdet.

Randen mod nord og syd er no-flow rand, svarende til, at der ikke sker indstrømning/udstrømningen over randen her.

Randbetingelserne er skitseret på Figur 2.3.



**Figur 2.3:** Skitse, randbetingelser. Vist med lilla farve, fastholdt tryk mod øst og vest i modelområdet. Rand mod nord og syd er No-Flow, dvs. ingen strømning ind/ud af modelområdet.

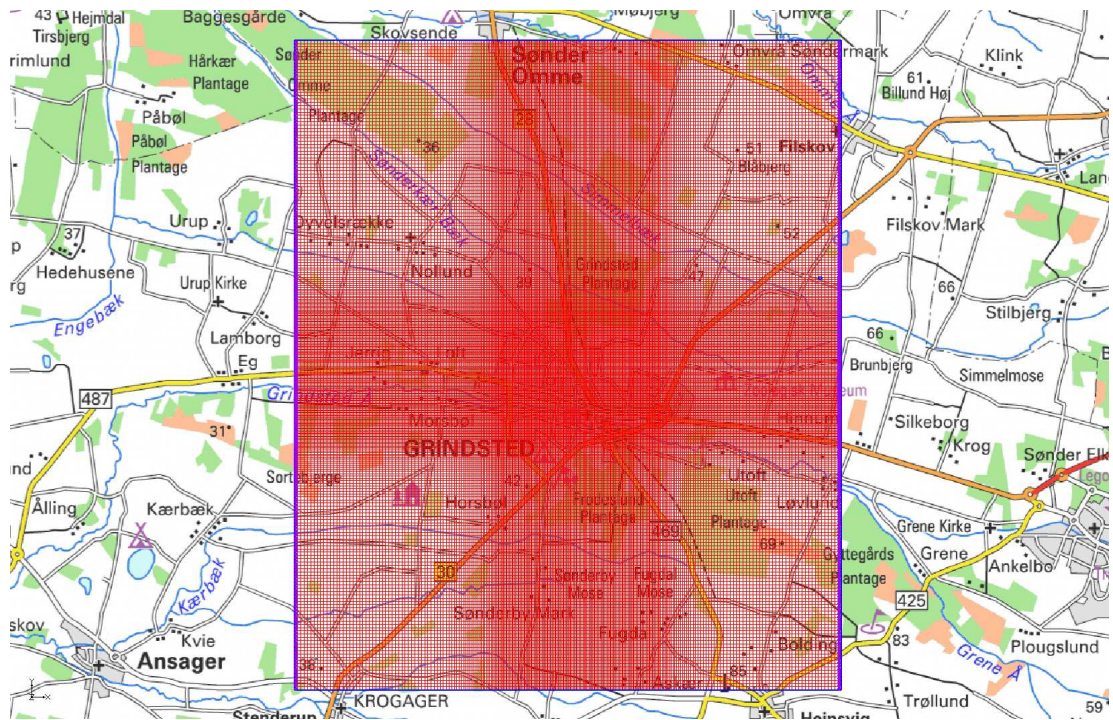
Fastholdt tryk er gennemført i alle 9 lag, selv om der kun er kendskab til trykforholdene i lag 2-3 (kvartær og Odderup) og 6 (Bastrup).



### 2.2.2 Diskretisering af den hydrauliske model

Den hydrauliske model er i vertikal retning diskretiseret som den hydrostratigrafiske model, hvilket vil sige, at de vertikale grænser følger og varierer som lagmodellens lag gør det.

I det horisontale plan, er det valgt at køre med varierende kasseinddeling, således at interesseområdet omkring Grindsted by og fabriksområdet er inddelt i ca. 25 x 25 m celler, voksende til ca. 75x75 meter celler mod randen, se Figur 2.4.



**Figur 2.4:** Diskretisering i horisontalt plan.

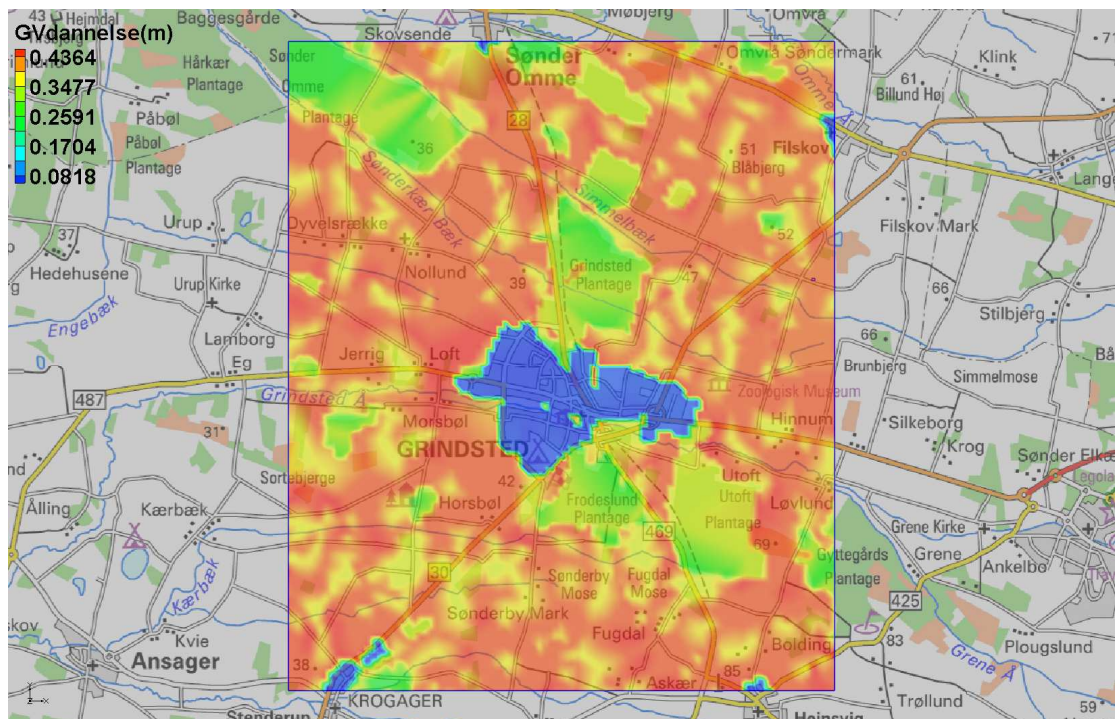
Modellen indeholder således ca. 730.000 beregningsceller fordelt på 9 lag.

### 2.2.3 Grundvandsdannelse

Grundvandsdannelsen er overført fra den regionale model. Den er beregnet ud fra nedbør og Makkink fordampning, ned på markblok niveau (nærmere beskrevet i /1/). Der er foretaget lækorrektion (dvs. observeret nedbør er opkorrigeret med 18%).

Den resulterende grundvandsdannelse fremgår af Figur 2.5.

Den korrigerede nedbørsmængde er i områder med bymæssig bebyggelse multipliceret med 0,4 for at tage højde for områder med befæstede arealer. Tallet er en erfaringsværdi, der afspejler befæstningsgraden i byer.



**Figur 2.5:** Nettonedbør (grundvandsdannelse, maksimal). Enhed i m/år Blå områder lav (0,05 m), lilla – gul angiver 0,1 – 0,3 m, orange- rød op til 0,450 m/år.

#### 2.2.4 Indvindingsdata

Indvindingsdata er overført fra den regionale model. Der er tale om et oprindeligt udtræk fra det daværende Ribe Amts GeoEnviron database, som er overført til modellen. Kote til top henholdsvis bundfilter afgør, hvilket modellag oppumpningen tilskrives. Der kan være mindre uoverensstemmelser mellem den geologiske model (laggrænserne) og filterplaceringen, som den er angivet i databasen. Disse kan betyde, at en mindre del af en given oppumpning, placeres i et lerlag. Der er foretaget stikprøvekontrol af udvalgte borer, og ingen af disse har vist, at betydelige mængder af grundvand oppumpes fra lerlag.

#### 2.2.5 Vandløb

Der er lagt en række vandløb ind i grundvandsmodellen. Alle vandløb er knyttet til de øverste lag i modellen. Vandløbstemaet er overført fra den regionale model og tilpasset til nærværende model. Omtrentlige vandspejlskoter er herefter aflæst på KMS 4 cm-kort, og alle vandløb antages at have varierende dybde på 1-2 meter. Celle koter er verificeret mod vandløbskoter.

Kontakten mellem vandløb/dræn og grundvandsmagasinet er beskrevet ved hjælp af en hydraulisk konduktans igennem bunden af vandløbet, samt vandløbets geometri. En lav hydraulisk konduktans svarer til en dårlig kontakt, mens en høj værdi svarer til en god kontakt. Indenfor selve modelområdet findes ikke veldefinerede oplande, hvortil der er tilknyttet medianminimumsværdier.

## 2.2.6 Pejledata

Der er anvendt en synkronpejlerunde fra 2004 samt et udtræk af gennemsnitspejlinger fra samtlige boringer indenfor modeområdet (se Figur 2.6).



**Figur 2.6:** Anvendt pejlegrundlag. Øverst synkronpejlerunde 2004, nederste samtlige (gennemsnitspejlinger) fra området.

### 3 KALIBRERING

I forbindelse med kalibreringen, er anvisningerne i modelståbien, /2/ fulgt og procedurerne beskrives kort i det følgende.

I kalibreringen af en grundvandsmodel vil antallet og fordelingen af feltdata være styrende for inddelingen af modellen i kalibreringszoner for at undgå overfortolkning i de områder, hvor datagrundlaget er sparsomt. Samtidig skal det undgås, at der lægges for meget vægt på et enkelt delområde med en stor mængde observationsdata. Ideelt set bør observationsdata være homogent fordelt over hele modelområdet, da det her ved undgås, at visse delområder tillægges meget større vægt end andre.

Ønsket om disse optimale forhold kan ofte ikke opfyldes, dels grundet modellernes størrelse, men i høj grad også grundet et mere eller mindre sparsomt pejlegrundlag. For at få en bedre vurdering af sammenspillet mellem datagrundlag og modelresultater, samt de hydrauliske parametre, der udledes af kalibreringen, er det valgt at foretage en invers kalibrering af modellen, fordi denne metode genererer yderligere information om kalibreringsresultatet og dermed usikkerheden i modelkalibreringen. Den er samtidig mere objektiv, fordi selve kalibreringsprocessen i mindre grad er styret af modelløren.

Den inverse kalibrering er foretaget med gennemsnitspejlingerne som mål. Efterfølgende forward kalibrering (validering) ved synkron pejledata fra 2004.

Nærværende model er kalibreret ud fra et ønske om at anvende færrest mulige parametre under hensyntagen til det foreliggende datagrundlag og den geologiske model. Der er ikke konkret anvendelig viden, som kan retfærdiggøre en yderligere zonerings (f.eks. kornstørrelsesvariation), hvorfor de enkelte lag har fået samme værdi for hydraulisk ledningsevne i hele lagets udstrækning.

#### 3.1 Nøjagtighedskriterier

Et nøjagtighedskriterium er et mål for overensstemmelsen mellem en modelsimulering og observerede feltdata. I forbindelse med udarbejdelsen af den såkaldte modelståbi (/2/), er der opstillet en række kvantitativ og kvalitative kriterier for nøjagtigheden, der med fordel kan anvendes, fordi de repræsenterer en standardiseret tilgang til vurdering af modeltilpasningen.

De kvantitative kriterier er målt mod residualerne fra modelkørslen, og nøjagtighedskriterierne er:

$B_1 \leq 0,05$  (=Mean Error/dH, hvor dH er forskellen mellem største og mindste pejling)  
 $B_3 \leq 0,05$  (Root Mean Sq. Error/dH), Mean-/Root Mean Sq. Fås fra modeloutput.

Udover de to ovenstående kvantitative kriterier er der også defineret tre kvalitative kriterier:

1. De estimerede parametre skal have realistiske værdier.
2. Residualerne (afvigelsen mellem observeret værdi og modelresultat) skal være ligeligt geografisk fordelt i modellen.
3. Områdets hydrogeologiske karakteristika skal reproduceres af modellen eksempelvis strømningmønstre og grundvandsskel.

Hvis samtlige kriterier overholdes i både kalibrerings- og valideringsfasen, vil den opstillede model med stor sandsynlighed kunne producere realistiske resultater.

Med hensyn til vandløbskalibrering, er der ikke foretaget en egentlig kalibrering, fordi der ikke er veldefinerede afstrømningsdata indenfor området. Der er overført de vandløbskonduktanser, som er kalibreret i den regionale model /1/ (kalibreret indenfor 10% af medianminimum), og foretaget sammenligning med tilstrømningen i den regionale model, langs de vandløbsstrækninger som er defineret i nærværende model. Disse tal er anvendt som kalibreringsmål for vandløb i nærværende model og der er foretaget justeringer i forhold hertil.

### 3.2 Startmodel

Ved den inverse kalibrering, er der foretaget kalibrering af alle lags horisontale hydrauliske ledningsevne (den vertikale hydrauliske ledningsevne er sat til 1/10 af den horisontale).

Startmodellen har taget udgangspunkt i de kalibrerede værdier fra den regionale model, som vist i Tabel 3.1.

Lag nr.	Betegnelse	Hydraulisk ledningsevne m/år
1	Kvartær	28.000
2	Odderup (tertiært)	20.500
3	Arnum-Ø	2
4	Internt sand	315
5	Arnum-N	2
6	Bastrup	7.000 (gennemsnitsværdi)
7	Klittingehoved	2
8	Billund	900
9	Vejlefjord	2

Tabel 3.1: Startmodelværdier.

Da der ikke er fuld overensstemmelse mellem den regionale og nærværende hydrostratigrafiske model, er der i ovenstående tabel foretaget tilnærmelser til de kalibrerede værdier fra /1/.

Der er herefter kørt en række kørsler med de udvalgte parametre. Disse kørsler er foretaget som egentlige forward kørsler, for at tilpasse startmodellen lidt bedre til den "endelige" startmodel. Startmodellen har meget stor betydning for opnåelse af den optimale tilpasning i kalibreringsforløbet. Jo bedre startmodellen er, jo bedre forløber kalibreringsprocessen. (dvs. konvergens m.v. opnås nemmere).

Der er herefter foretaget en invers kalibrering med alle hydrauliske parametre i Tabel 3.1 mod gennemsnitspejlingerne for at opnå den bedst mulige dækning i modelområdet.

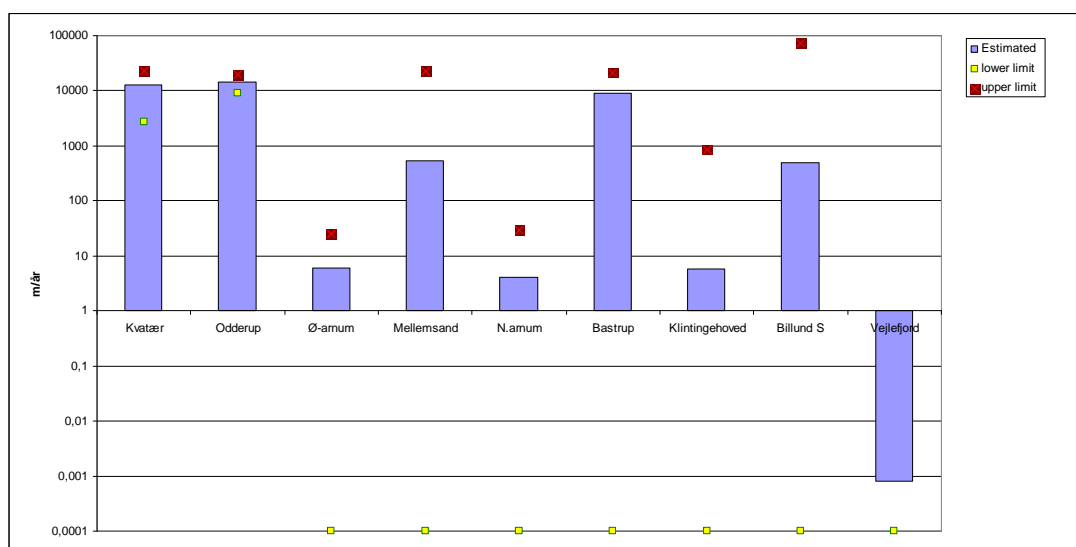
Resultaterne fra denne kalibrering er vist i Tabel 3.2.

Lag nr.	Betegnelse	$H_k$ start (m/år)	$H_k$ optimal (m/år)
1	Kvartær	28.000	13.003
2	Odderup (tertiært)	20.500	14.496
3	Arnum-Ø	2	6
4	Internt sand	315	536
5	Arnum-N	2	4
6	Bastrup	7000	9200
7	Klintingehoved	2	5.7
8	Billund	900	504
9	Vejlefjord	2	0.0048

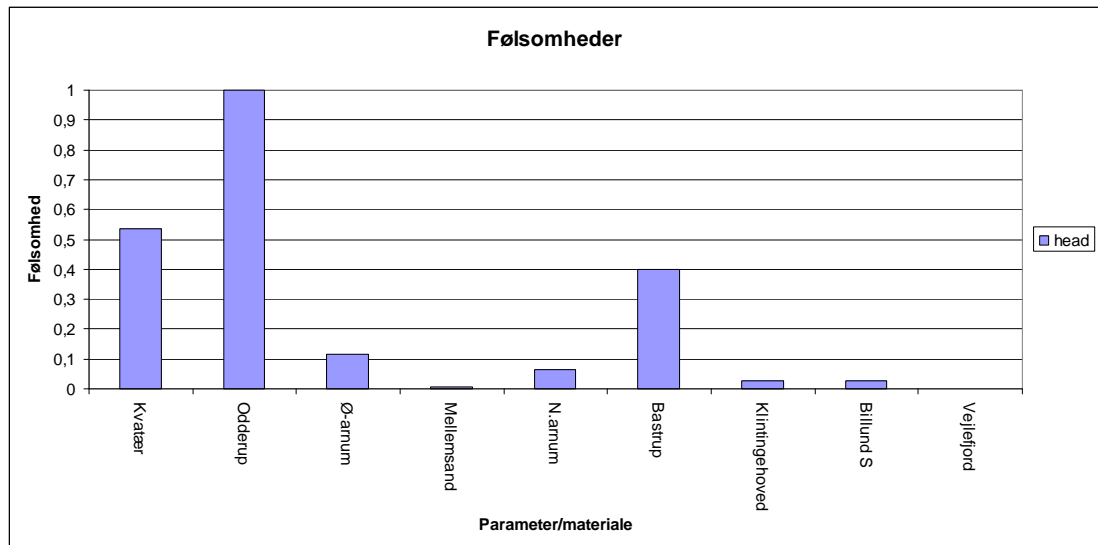
**Tabel 3.2:** Resultaterne fra den inverse kalibrering.  $H_k$  start = startmodel.  $H_k$  optimal = kalibreret.

Det ses, at de kalibrerede hydrauliske ledningsevner i nærværende model ligger meget tæt på værdierne fra den regionale model. Forskellene skyldes forskelle i den hydrostratigrafiske model (lagtykkelser).

I nedenstående Figur 3.1 og Figur 3.2 er modelresultaterne illustreret.



**Figur 3.1:** Kalibrerede værdier med sammenhørende konfidensintervaller.



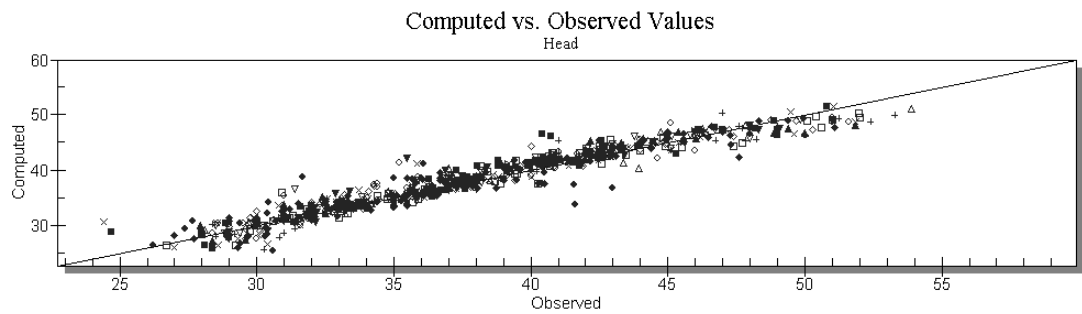
Figur 3.2: Model/data følsomhed.

Konfidensintervallet siger noget om, hvor godt den enkelte parameter er bestemt. Stort interval: Dårligt bestemt, lille interval: Godt bestemt. Følsomheden siger noget om, hvorvidt model og observationsdata er i stand til at give information om den enkelte parameter. En lav følsomhed betyder, at den pågældende parameter kan varieres (næsten uhæmmet), uden at det får betydning for modellens tilpasningsevne. Sådanne (ufølsomme) parametre bør tages ud af inversionsprocessen og fastholdes på a priori (forhånds kendte) værdier.

Det fremgår af ovenstående, at de hydrauliske ledningsevner (k-værdierne) for Kvarteret og Odderup er godt bestemt, og at modellens observationsdata giver information herom. Det skyldes at hovedparten af pejlingerne er foretaget i disse to hydrauliske enheder. Pejledata giver også informationer om Bastrup, om end denne parameter er relativt dårligt bestemt.

I sagsforløbet er der udført en prøvepumpning af Bastrup /3/, som har givet en transmissivitet, T-værdi, på 0,0119 m<sup>2</sup>/s, der omregnet ved en magasin tykkelse på 39 meter (DGU114.2038) giver en værdi på 9622 m/år for den hydrauliske ledningsevne. Der er god overensstemmelse mellem prøvepumpningen og nærværende kalibrering. Efter den inverse kalibrering, blev den ved prøvepumpningen fastlagte værdi for Bastrup lagt ind i modellen, og anvendt ved de efterfølgende simuleringer.

Modellens egenskaber er illustreret ved Figur 3.3 - Figur 3.4.



**Figur 3.3:** Plot af modelsimulerede data mod observerede, gennemsnitspejlinger alle borer

Den ideelle (teoretiske) sammenhæng er, at alle data falder på linjen 1:1, som angiver det perfekte match mellem model og pejlinger. Der ses at være en meget fin sammenhæng mellem model og observerede data.

Modeltilpasningen er endvidere illustreret ved

Error Summary	
Head	
Mean Error:	0,234
Mean Abs. Error:	1,118
Root Mean Sq. Error:	1,567

**Figur 3.4:** Summering af modelfejl

Figur 3.4 viser, at den samlede model afvigelse er af størrelsesorden 0,2 meter, hvilket er ganske fint. Forskellen mellem den mindste og største gennemsnitspejling er 29,5 meter =dH. Vi kan nu beregne nøjagtighedsparametrene, som tidligere anført:

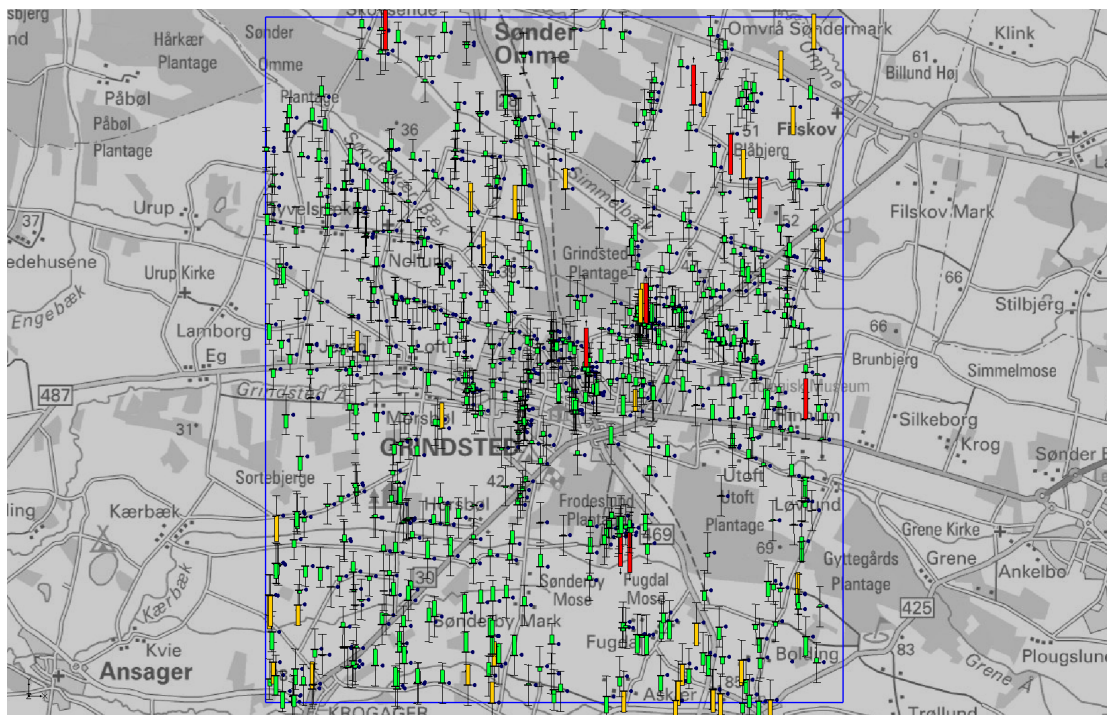
$$B_1 = \text{Mean Error}/dH = 0,008 \quad \text{krav: } 0,05$$

$$B_3 = \text{Root Mean Sq. Error}/dH = 0.053 \quad \text{krav: } 0,05$$

De opstillede nøjagtighedskrav er dermed opfyldt.

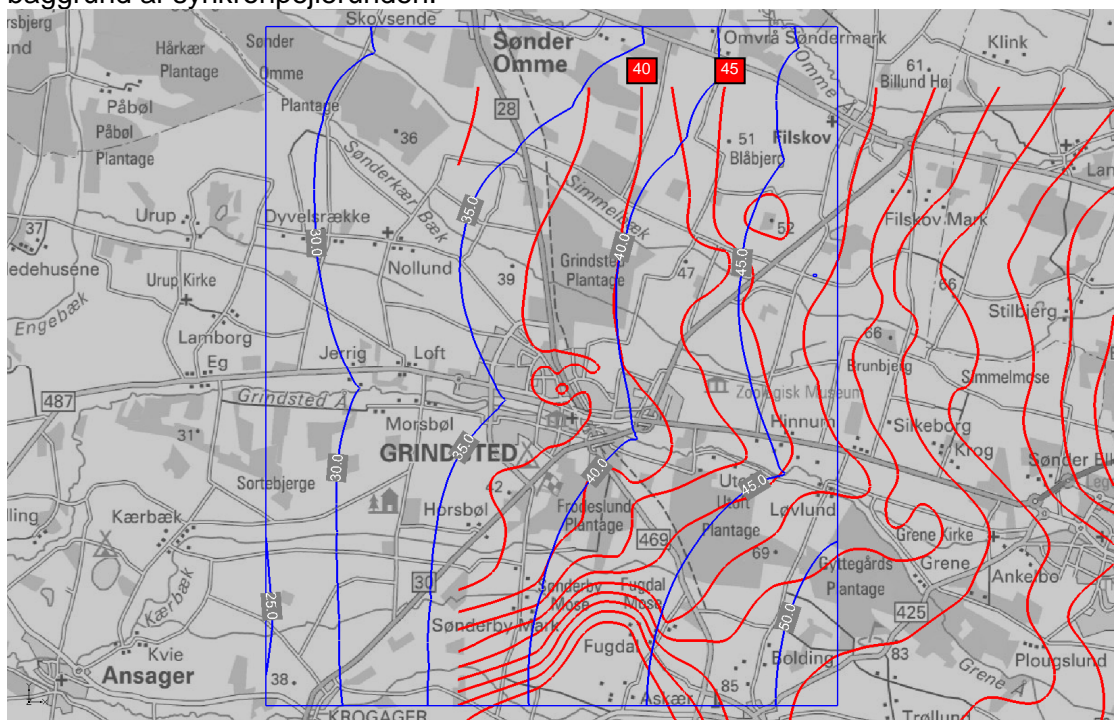
Fordelingen af afvigelserne kan ses på Figur 3.5. Den grønne søjle angiver tilpasningen. Så længe den er grøn, er tilpasningen (forskellen) mellem modelrespons og pejling bedre end 3 meter. Der er ingen større sammenhængende områder, hvor der er entydige afvigelser, som kunne afspejle dårlig tilpasning/afvigelser i den hydrostratigrafiske model og pejledata.





**Figur 3.5:** Tilpasning, pejlinger og modelrespons. Grøn søjle: Modeltilpasning bedre end eller lig med 3 m. Gul søjle betyder, at tilpasningen er mellem 3-6 m, og rød søjle betyder dårligere end 6 m.

På Figur 3.6 er vist en sammenligning mellem det modelgenererede potentiale for Kvartær/Odderup, samt et potentialekort optegnet (af det daværende Ribe Amt), på baggrund af synkronpejlerunden.



**Figur 3.6:** Sammenligning mellem optegnet potentialekort (Fra MC Ribe - rød) og modelsimuleret (blå), gældende for kvartær/Odderup. I røde bokse er vist potentialet (40 og 45) for det optegnede kort.

For overskuelighedens skyld, er det modelsimulerede potentiale vist med 5 m's ækvivalensdistance. Det bemærkes, at Ribe Amts potentialekort (2,5 m's ækvivalensdistance) tydeligt bærer præg af, at der er medtaget borer, der står i magasiner, som ikke har, eller har ringe, hydraulisk kontakt til de øvrige pejlinger. Det gælder f.eks. for pejlingerne omkring Fugdal Mose, hvor potentialet pludseligt stiger, ligesom der kan observeres en top central i Grindsted, samt i nærheden af Blåbjerg (nord for Grindsted).

I forbindelse med nærværende projekt, blev der afholdt en workshop, hvor den geologiske model blev sammenholdt med pejlingerne. Det kunne her konstateres, at der var flere områder, hvor den geologiske model tydeligt viste lokale lerlag, som betinger hængende vandspejl, uden egentlig, eller ringe, hydraulisk kontakt til de omgivende grundvandsmagasiner. Herunder blandt andet området ved Fugdal og Sønderby Mose. Disse enkeltstående lerlinser i de øvre magasiner er ikke medtaget i den hydrostratigrafiske model, fordi der netop er tale om linser, og fordi det er vurderet, at den egentlige udbredelse af disse lag ikke er godt nok kendt.

Ovenstående forhold taget i betragtning, kan der konstateres en god overensstemmelse mellem Ribe Amts potentialekort og det modelsimulerede, hvor gradientforhold og afstrømning simuleres godt.

Med hensyn til afstrømningen, er det ikke muligt direkte at foretage sammenligninger med f.eks. medianminimumsafstrømning, da der ikke findes veldefinerede vandløbsoplande indenfor området. Tilstrømningen til vandløbene indenfor modelområdet, herunder Grindsted Å, er sammenlignet og holdt op imod den kalibrerede tilstrømning i den regionale model, og der er ganske god overensstemmelse mellem tilstrømningen i nærværende model og tilstrømningen i regionalmodellen, hvor vandløbsstrækningerne er kalibreret mod medianminimumsafstrømningen.

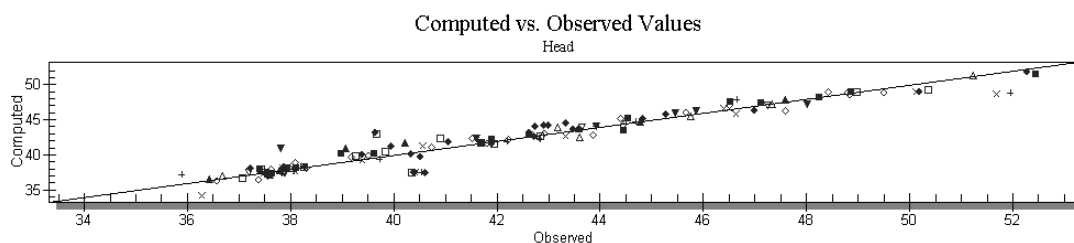
For Grindsted Å's vedkommende findes en målestation ved Eg (umiddelbart vest for modelområdet), hvor den medianminimumsafstrømning er 1750 l/s.

### 3.3 Model Validering

Det er valgt at validere den kalibrerede model, ved at sammenligne modelrespons med synkronpejlerunden for 2004.

Da det tidligere er vurderet, at pejlingerne ved Fugdal er udtryk for et hængende vandspejl, er disse ikke medtaget ved valideringen, fordi pejlingerne får stor vægt i synkronpejlerunden, der består af langt færre observationer end gennemsnitspejlingerne.

Resultaterne fremgår af Figur 3.7 og Figur 3.8.



**Figur 3.7:** Plot af modelsimulerede mod observerede data, synkronpejlerunde 2004. Skrå linje viser forholdet 1:1, dvs. perfekt match mellem observation og model (data i meter).

Error Summary	
Head	
Mean Error:	-0,028
Mean Abs. Error:	0,654
Root Mean Sq. Error:	1,024

**Figur 3.8:** Summering af modefejl.

Det ses, at den gennemsnitlige tilpasning (Mean Error), er ca. 0,03 m, hvilket er fint. Forskellen mellem største og mindste potentiale (dH) er 16,64 m.

Kvalitetskravene bliver derfor:

$$B_1 = \text{Mean Error}/dH = 0,002 \quad \text{krav: } 0,05$$

$$B_3 = \text{Root Mean Sq. Error}/dH = 0,06 \quad \text{krav: } 0,05$$

Det fremgår, at kvalitetskravet  $B_3$  ikke helt kan opfyldes, hvilket formentligt skyldes, at der er tale om relativt få pejlinger, som ikke dækker hele modelområdet. Det vurderes, at modellen simulerer det målte potentiale ganske fint, og derfor er valideret.

De resulterende hydrauliske ledningsevner er sammenfattet i Tabel 3.3.

Lag nr.	Betegnelse	$H_k$ optimal (m/år)	$H_k$ optimal (m/s)
1	Kvartær	13.003	$4,1 \times 10^{-4}$
2	Odderup (tertiært)	14.496	$4,6 \times 10^{-4}$
3	Arnum-Ø	6	$1,9 \times 10^{-7}$
4	Internt sand	536	$1,7 \times 10^{-5}$
5	Arnum-N	4	$1,3 \times 10^{-7}$
6	Bastrup	9622	$3,1 \times 10^{-4}$
7	Klintinghoved	5.7	$1,8 \times 10^{-7}$
8	Billund	504	$1,6 \times 10^{-5}$
9	Vejlefjord	0.0048	$1,5 \times 10^{-10}$

**Tabel 3.3:** Kalibrerede hydrauliske ledningsevner. Værdien for Bastrup er dog bestemt ved prøve-pumpling.

Da såvel kalibrering og validering er forløbet tilfredsstillende vurderes det, at modellen er velkalibreret og kan anvendes til scenarieberegninger.

## 4 SCENARIEBEREGNINGER

Formålet med grundvandsmodellen, er at kunne anvende denne til en overordnet vurdering af spredningsforholdene fra de erkendte kilder i området, og om spredningen kan medføre en risiko for indeklimaproblemer i beboede områder, fordi en eventuel forurening kan komme så tæt på terræn, at afdampning kan blive et problem.

Til formålet anvendes simpel partikelbane simuleringer, dvs. en nærmere illustration af grundvandets strømningsveje, med baggrund i modellens simulerede grundvandspejl. Vandbåren forurening vil således teoretisk følge vandets strømningsveje og der er derfor tale om en konservativ vurdering, uden hensyntagen til forureningskomponenten, dispersion, nedbrydning med videre.

Der er på nuværende tidspunkt 4 erkendte kilder:

1. Banegravsdepotet
2. Fabriksgrunden ved Grindstedværket
3. Afløbsgrøften
4. Grindsted Gl. Losseplads

I forbindelse med nærværende projekt, har Region Syddanmark udleveret et GIS kort med ovennævnte kilder.

Med udgangspunkt i ovennævnte kilder, er der foretaget partikel simuleringer for hver af ovennævnte 4 kilder. Herudover er der simuleret et scenarium, hvor forureningsspredning fra Bastrup sandet (under fabriksgrunden) simuleres (5), et scenarium, med en kilde på toppen af Arnum under fabriksgrunden (6), et scenarium med en kilde på toppen af Arnum under Grindsted gl. Losseplads samt et scenarium med en kilde i Bastrup under Grindsted gl. Losseplads.

Scenarierne er sammenfattet i

Scenarium	Lokalitet	Partikelplacering
1	Banegravsdepotet	Vandspejl
2	Fabriksgrunden	Vandspejl
3	Top Arnum under Fabriksgrunden	Toppen af Arnum
4	Bastrup under fabriksgrunden	I Bastrup
5	Afløbsgrøften	Vandspejl
6	Grindsted Gl. Losseplads	Vandspejl
7	Top Arnum under Grindsted Gl. Losseplads.	Toppen af Arnum
8	Bastrup, Grindsted Gl. Losseplads	I Bastrup

**Tabel 4.1:** Oversigt over simulerede scenarier.

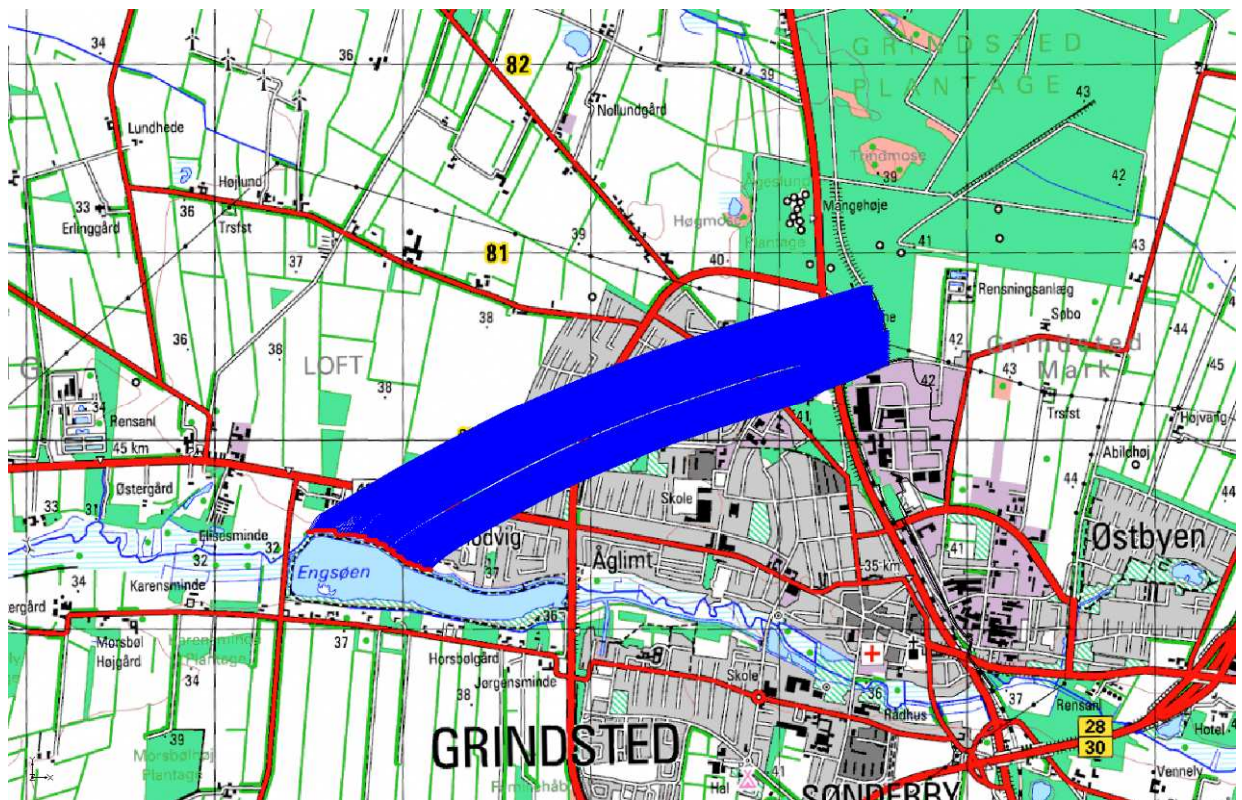
### 4.1 Scenarium 1, Banegravsdepotet

Simulering af forureningsspredningen fra banegravsdepotet er vist på Figur 4.1. På figuren er med røde prikker vist partiklernes endepunkter, i realiteten der, hvor grundvandet f.eks. strømmer til en sø eller et vandløb. I dette tilfælde, ses partiklerne at stoppe i den vestligste del af Engsøen.

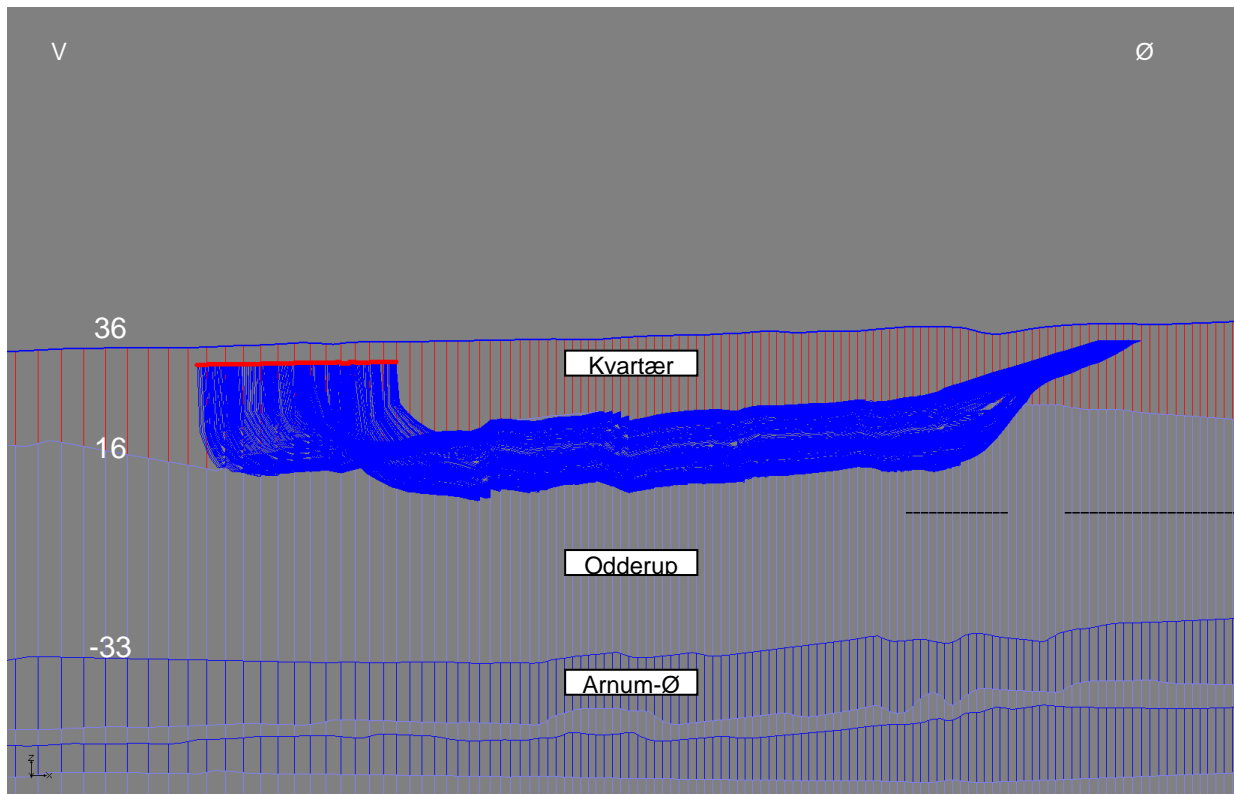
Da figuren viser en projektion af partikelbanerne fra 3D til 2D, er på Figur 4.2 vist et snit vest-øst gennem partikel-fanen (set fra syd).

Det fremgår af simuleringen, at der kun sker spredning i de to øverste magasiner, svarende til kvartæret og Odderup (faktisk kun den øverste del af Odderup).

Den gennemsnitlige kinetiske alder kan ud fra simuleringen vurderes til 40-45 år, svarende til den tid det tager for vandet at nå fra Banegravsdepotet til Engsøen.



**Figur 4.1:** Partikelbanesimulering, Banegravsdepotet, start i kvartæret. Røde prikker indikerer, hvor partiklerne stopper.



**Figur 4.2:** Partikelbaner i snit vest-øst, Z-plan. Til venstre er på figuren angivet ca. kote til terræen, top Odderup samt top Arnum.

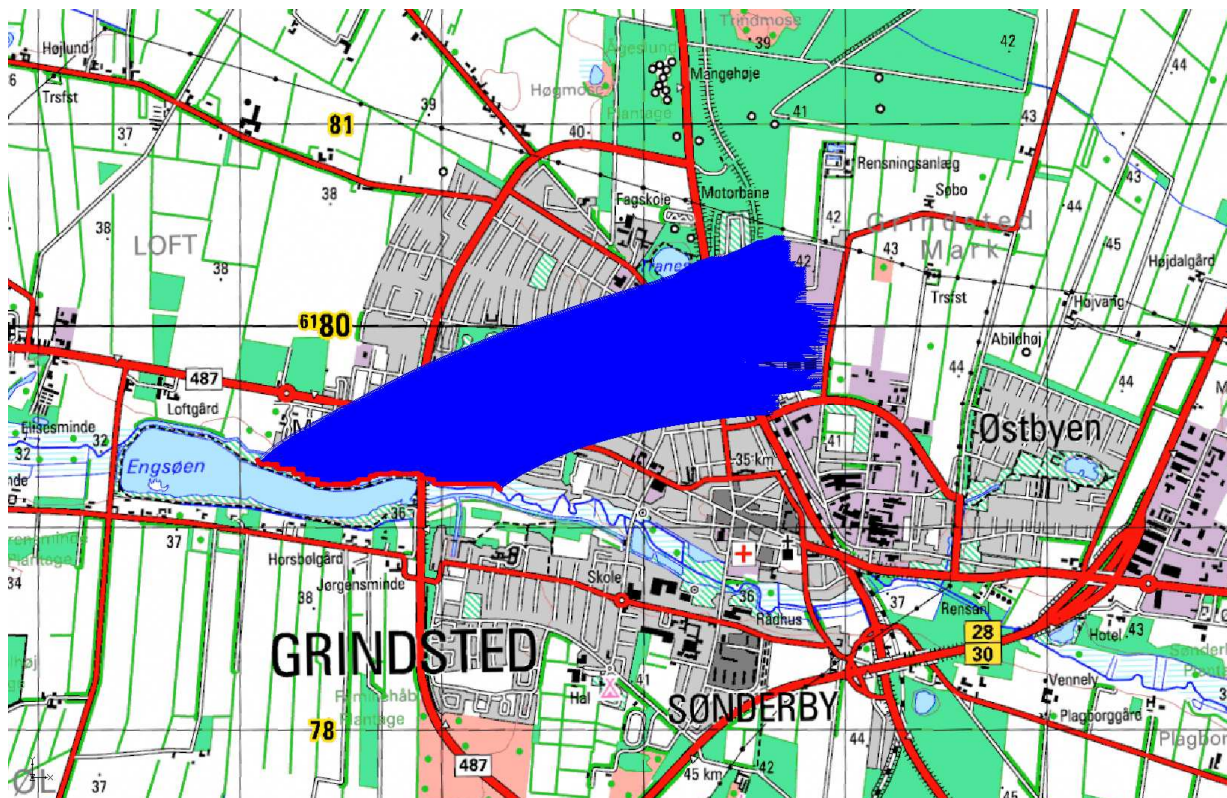
#### 4.2 Scenarium 2, Fabriksgrunden

Simulering af forureningsspredningen fra fabriksgrunden er vist på Figur 4.3. På figuren er med røde prikker vist partiklernes endepunkter, i realiteten der, hvor grundvandet f.eks. strømmer til en sø eller et vandløb. I dette tilfælde, ses partiklerne at stoppe i den østlige del af Engsøen, samt dele af Grindsted Å og vådområderne i forbindelse hermed.

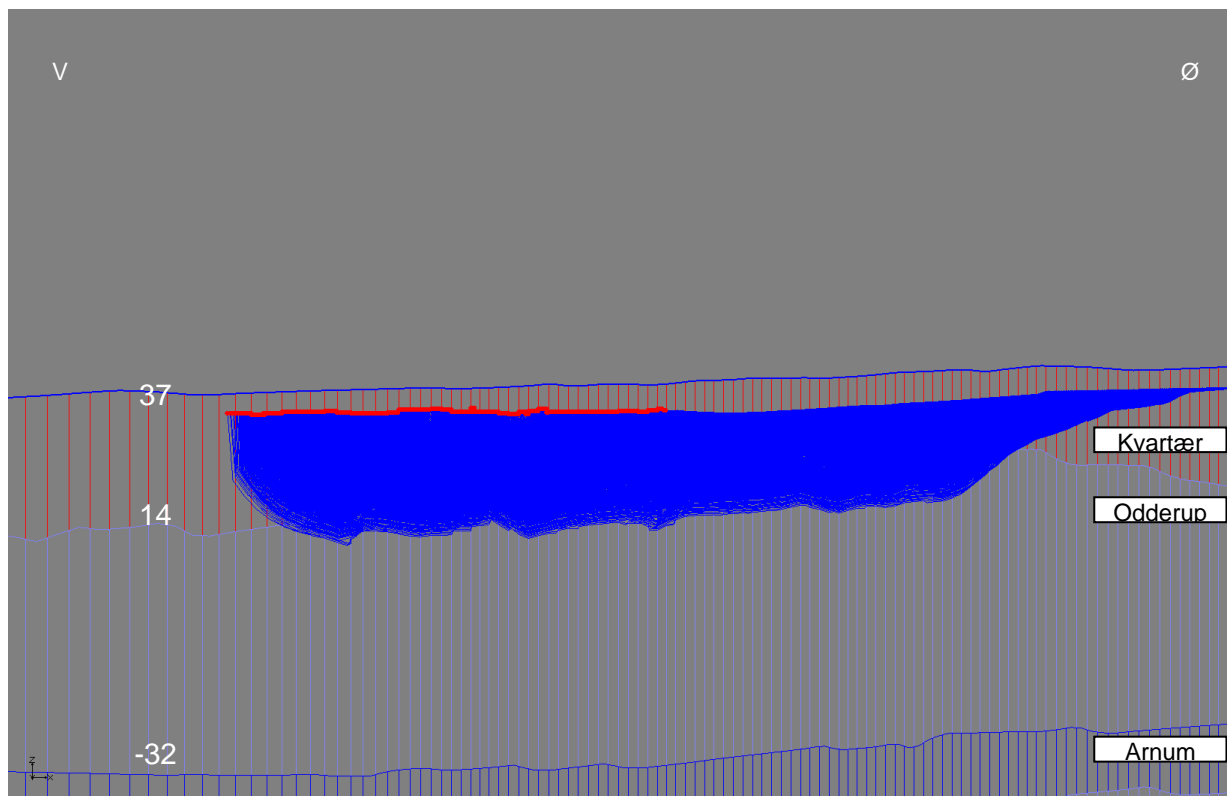
Da figuren viser en projektion af partikelbanerne fra 3D til 2D, er på Figur 4.4 vist et snit vest-øst gennem partikel-fanen.

Det fremgår af simuleringen, at der kun sker spredning i de to øverste magasiner, svarende til kvartæret og Odderup (øverste del).

Den gennemsnitlige kinetiske alder kan ud fra simuleringen vurderes til 30-40 år, svarende til den tid det tager for vandet at nå fra Fabriksgrunden til Engsøen/Grindsted Å.



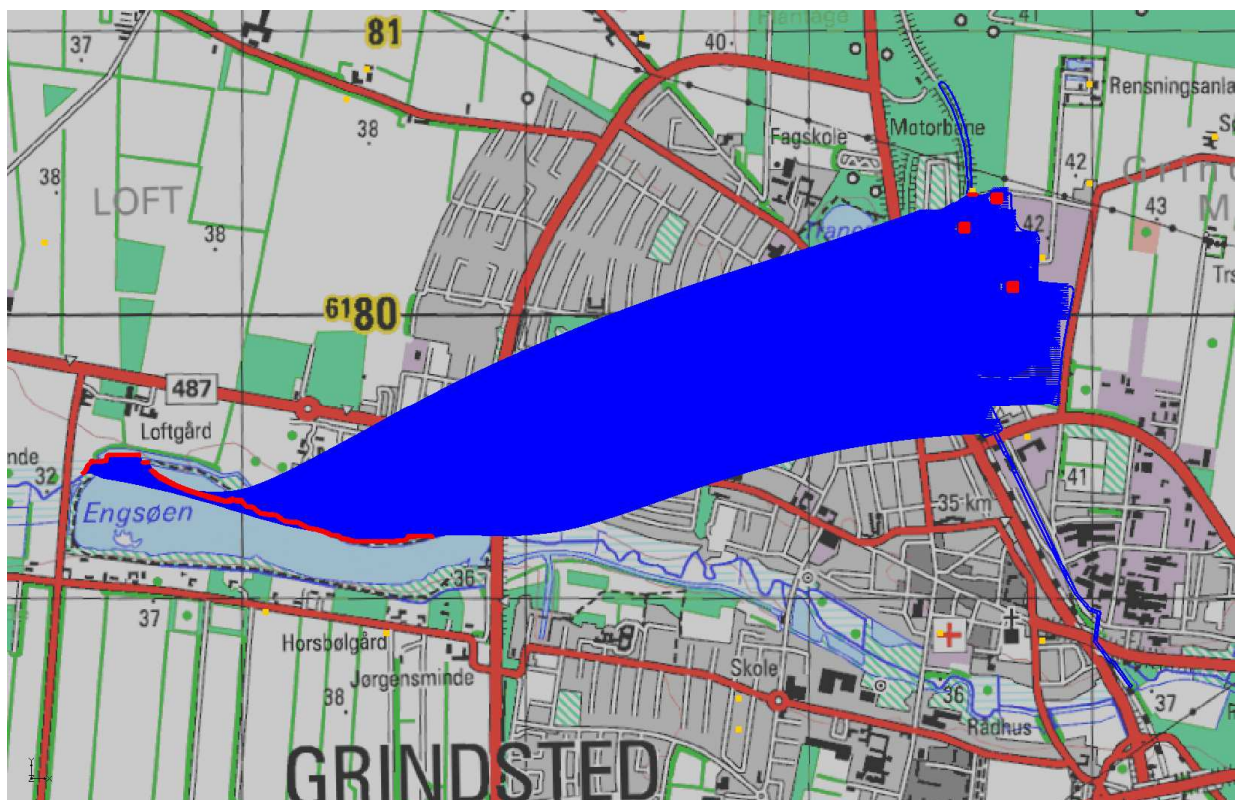
Figur 4.3: Partikelbanesimulering fra fabriksgrunden, start i kvartæret.



Figur 4.4: Partikelbaner, vest-øst. Til venstre er angivet ca. kote til terræen, top Odderup samt top Arnum.

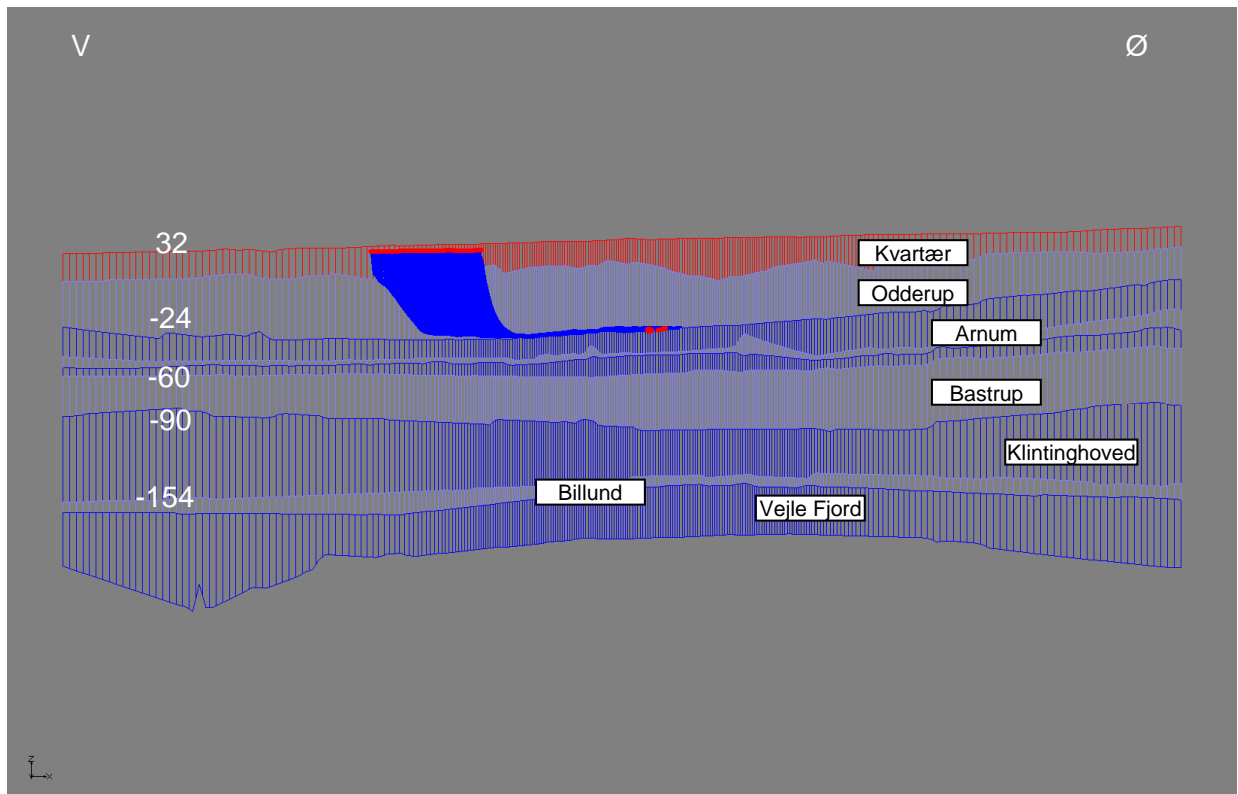
### 4.3 Scenarium 3, Top Arnum under Fabriksgrunden

Der er endvidere foretaget en simulering af eventuel forureningsspredning fra toppen af Arnum, under den hypotetiske antagelse, at der er sket fri-fase spredning til toppen af Arnum, hvorefter opløst stof er spredt med grundvandsstrømningen. Partikelbanerne fra denne simulering ses på Figur 4.5. Partiklerne stopper langs hele Engsøen, samt Grindsted Å, før randen af modelområdet. Det ses, at udvalgte partikler stopper på fabriksgrunden. Det skyldes, at de ender i filtrene i fabrikkens pumpeboringer. Den kinetiske alder for partiklerne, når de stopper ved Engsøen, er ca. 35-40 år.



Figur 4.5: Partikelbaner, simuleret fra toppen af Arnum under fabriksgrunden.





**Figur 4.6:** Partikelbaner, vest-øst snit gennem fanen, top Arnum. Til venstre på figuren er angivet ca. kote til terrænen, top Arnum, top Bastrup, top Klintinghoved samt top Billund.

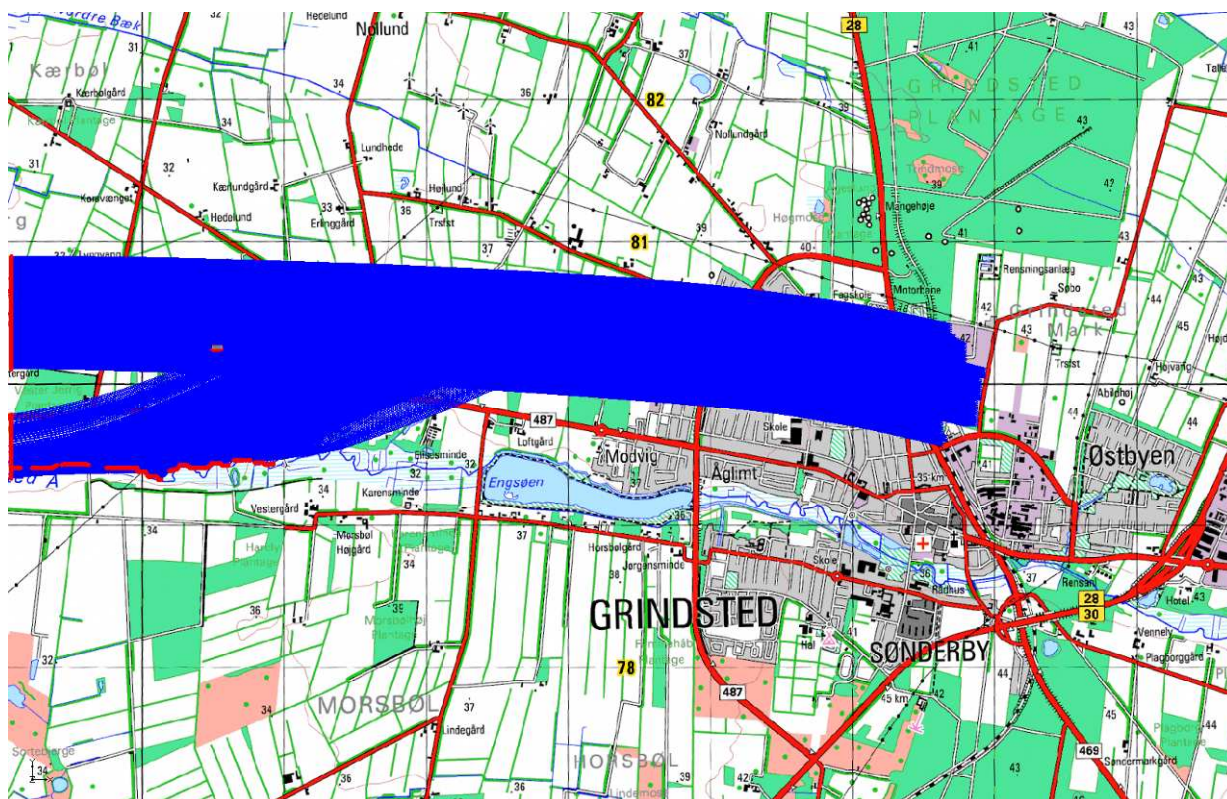
#### 4.4 Scenarium 4, Bastrup under Fabriksgrunden.

Der er foretaget en simulering af forureningsspredning fra Bastrup sandet under Fabriksgrunden, ved at placere partikler svarende til omridset af fabriksgrunden med start i Bastrup sandet, der ligger under Arnum (partiklerne startes indenfor afgrænsning af hver celle). Det skal understreges, at der er tale om en hypotetisk situation, da der ikke er konstateret forurening af Bastrup i forbindelse med de undersøgelser, der er udført til dags dato, senest i forbindelse med den udførte prøvepumpning /3/.

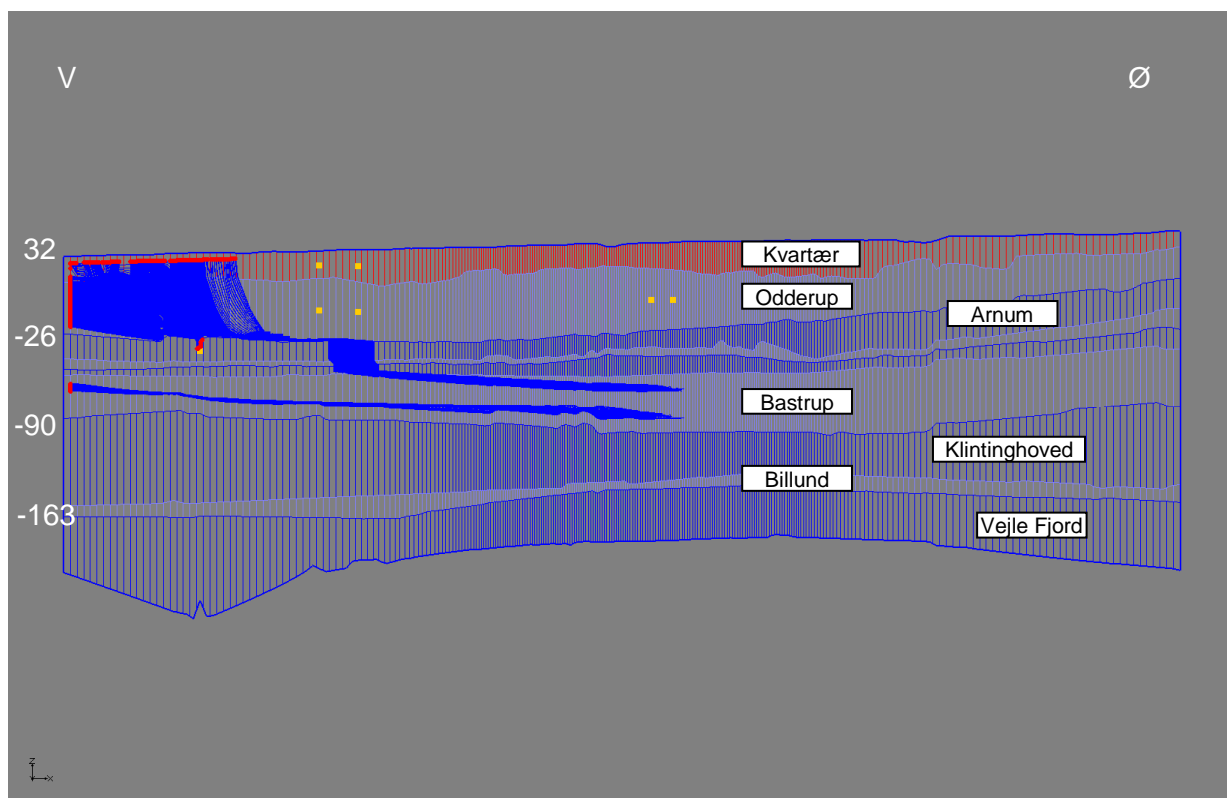
Partikelbanerne er vist på Figur 4.7. Der ses til dels det forventede billede, i det partikelbanerne fortsætter flere kilometer mod vest, fra fabriksgrunden i retning mod den vestlige rand i modellen, som ses ved de yderste partikler mod vest. Der sker ikke udstrømning tæt ved byen. Den kinetiske alder ved randen er ca. 300 år.

Omtrent 3 km vest for fabriksgrunden, ser det imidlertid ud til, at partikelfanen deler sig, og at flere partikler stopper langs Grindsted Å. Et enkelt område med rødt her, signalere en oppumpning, som fanger nogle af partiklerne. Forklaringen skyldes formentlig oppumpning, som illustreret på Figur 4.8, et øst-vest gående profil (set fra syd).

Det fremgår af figuren, at der findes flere oppumpninger (vist med gule firkanter) i området, som kan trække i vandet fra Bastrup, som derved strømmer op til kvartæret og ud i Grindsted Å. Den gennemsnitlige kinetiske alder kan her anslås til at være over 100 år.



Figur 4.7: Partikelbanesimulering, Fabriksgunden, Bastrup.



Figur 4.8: Partikelbaner, Fabriksgunden, Bastrup, vest-øst snit. Ca. kote terræn, top Arnum, top Klintinghoved og top Vejle fjord er anført.

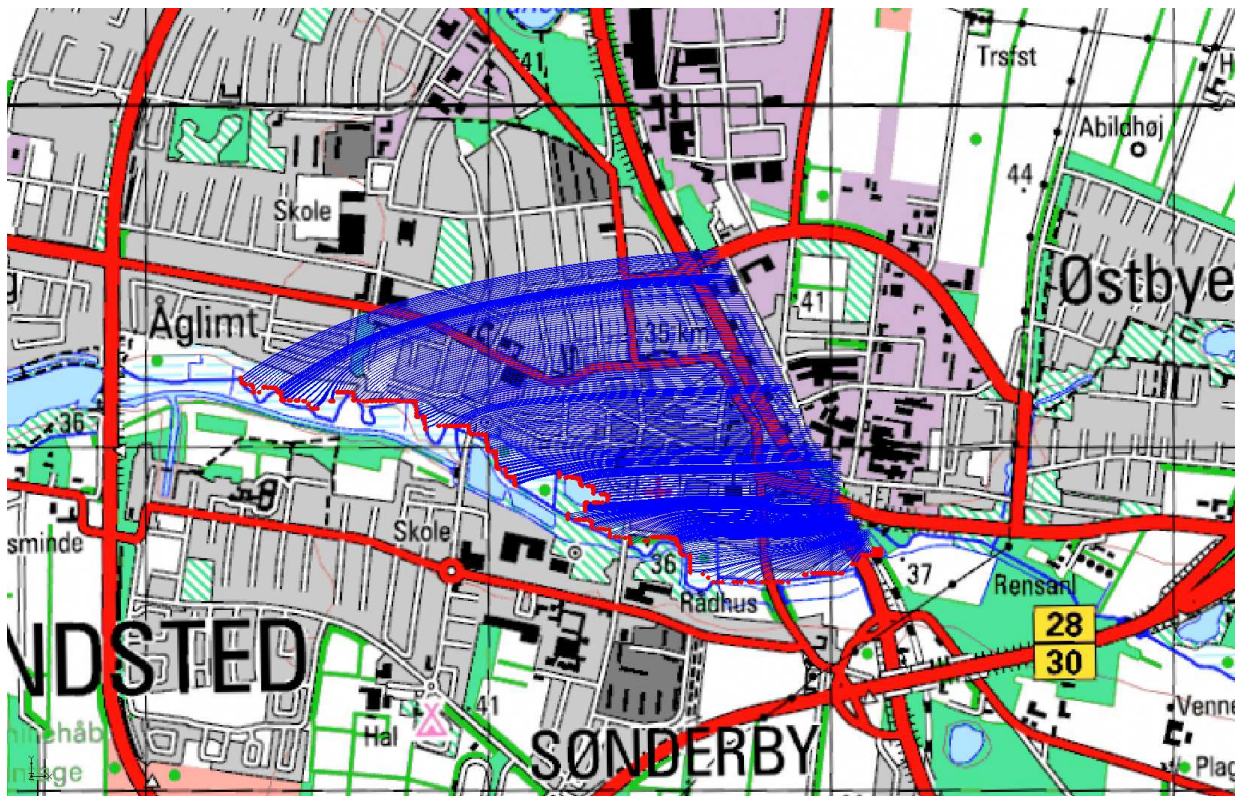
#### 4.5 Scenarium 5, Afløbsgrøften

Simulering af forureningsspredningen fra afløbsgrøften er vist på Figur 4.9. På figuren er med røde prikker vist partiklernes endepunkter, i realiteten der, hvor grundvandet f.eks. strømmer til en sø eller et vandløb. Det fremgår, at partikelbaner dækker et ganske stort område, og partiklerne ender langs vådområder og vandløbsstrækninger, over et større område, fra ca. 300 meter øst for Engsøen indtil broen over Grindsted Å (Figur 4.9).

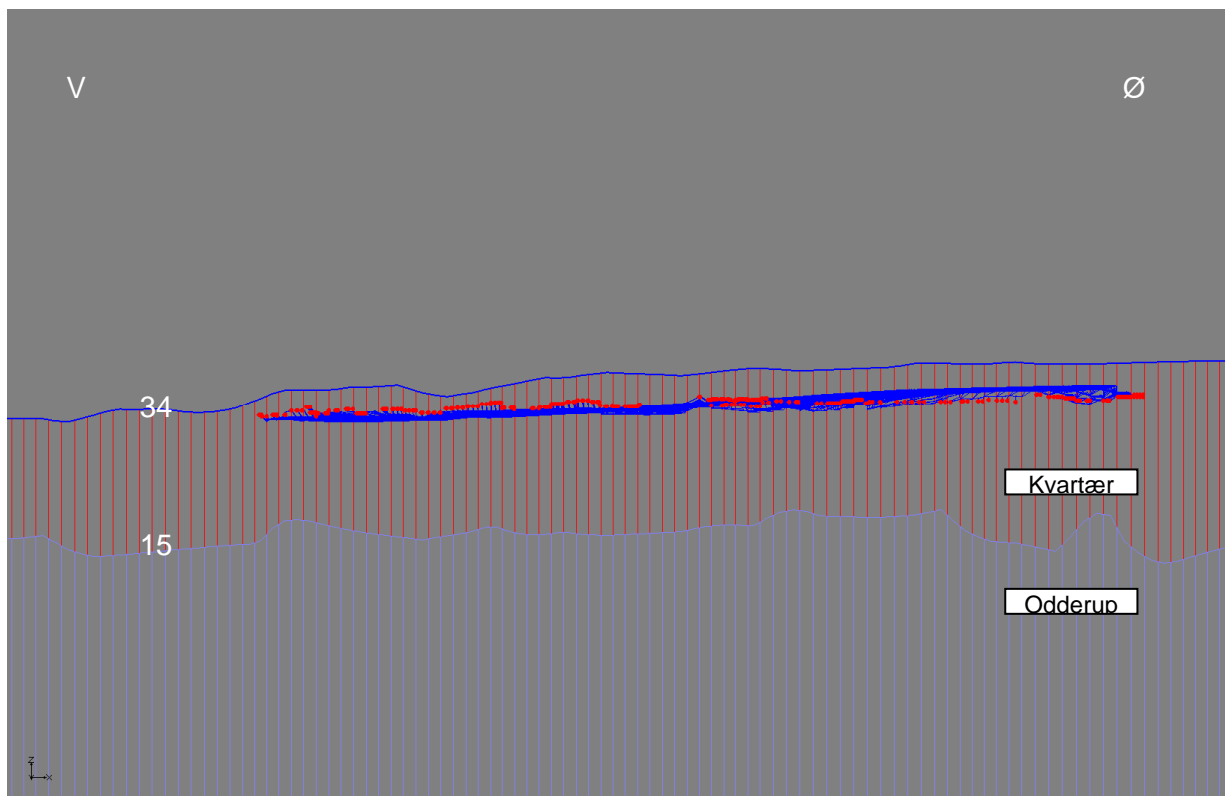
Da figuren viser en projektion af partikelbanerne fra 3D til 2D, er på Figur 4.10 vist et snit vest-øst gennem partikel-fanen.

Det fremgår af simuleringen, at der kun sker spredning i kvartæret, ganske tæt på terræn.

Den gennemsnitlige kinetiske alder kan ud fra simuleringen vurderes til 20-25 år, svarende til den tid det tager for vandet at nå fra afløbsgrøften til Engsøen/Grindsted Å.



Figur 4.9: Partikelbanesimulering fra afløbsgrøften.



**Figur 4.10:** Partikelbaner, profilsnit vest-øst. Til venstre er angivet ca. kote til terræn og top Odderup.

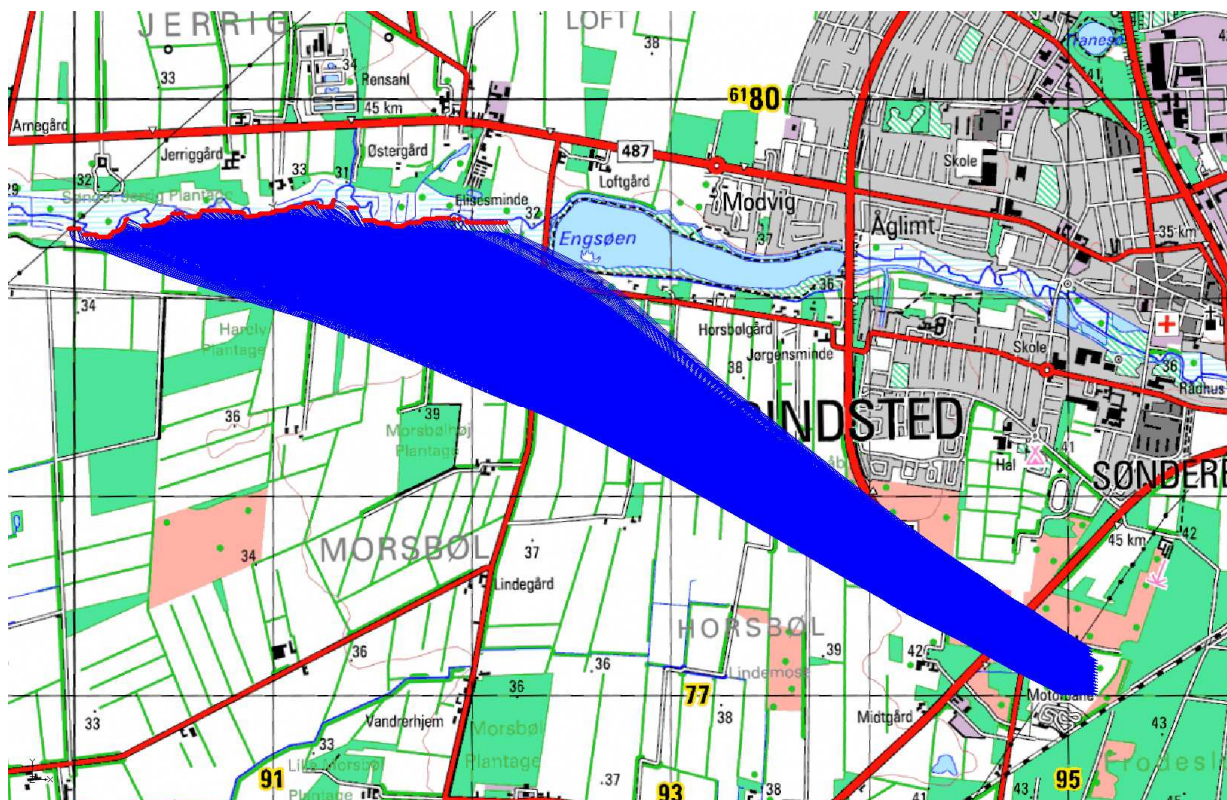
#### 4.6 Scenarium 6, Grindsted gl. Losseplads

Simulering af forureningsspredningen fra Grindsted Gl. Losseplads er vist på Figur 4.11. På figuren er med røde prikker vist partiklernes endepunkter, i realiteten der, hvor grundvandet f.eks. strømmer til en sø eller et vandløb. Det fremgår, at partikelbaner dækker et ganske stort område, og partiklerne stopper langs vådområder og vandløbsstrækninger, over et større område, umiddelbart vest for Engsøen, langs et ca. 2 km langt forløb ved Grindsted Å og vådområderne (partiklerne stopper syd for åen). Dette skyldes givetvis, at Lossepladsen ligger længere mod syd.

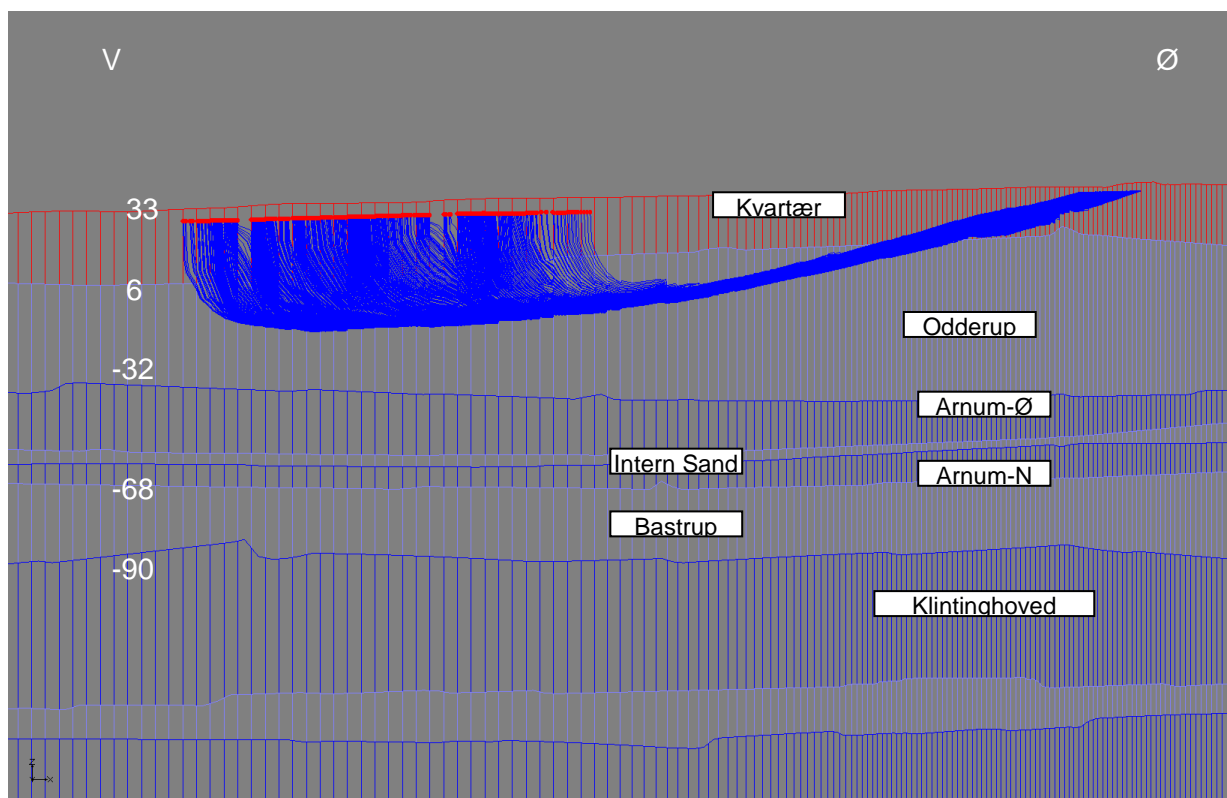
Da figuren viser en projektion af partikelbanerne fra 3D til 2D, er på Figur 4.12 vist et vest-øst profil gennem partikelfanen.

Det fremgår af figuren, at der nedstrøms Grindsted Gl. Losseplads simuleres spredning til både kvartæret og Oderup, og at partikelfanen herefter primært bevæger sig i Oderup, for først at dukke op i kvartæret tættere på Grindsted Å. Partiklerne spredes fra øst mod vest, og stopper først vest for Grindsted by.

Den gennemsnitlige kinetiske alder kan ud fra simuleringen vurderes til 40-60 år, svarende til den tid det tager for vandet at nå fra lossepladsen til udstrømningsområdet langs Grindsted Å.



Figur 4.11: Partikelbanesimulering fra det nedlagte Grindsted Gl. Losseplads (start i kvartæret).



Figur 4.12: Partikelbaner, syd-nord snit. Til venstre er angivet ca. kote til terræn, top Odderup, top Arnum, top Bastrup samt top Klintinghoved.

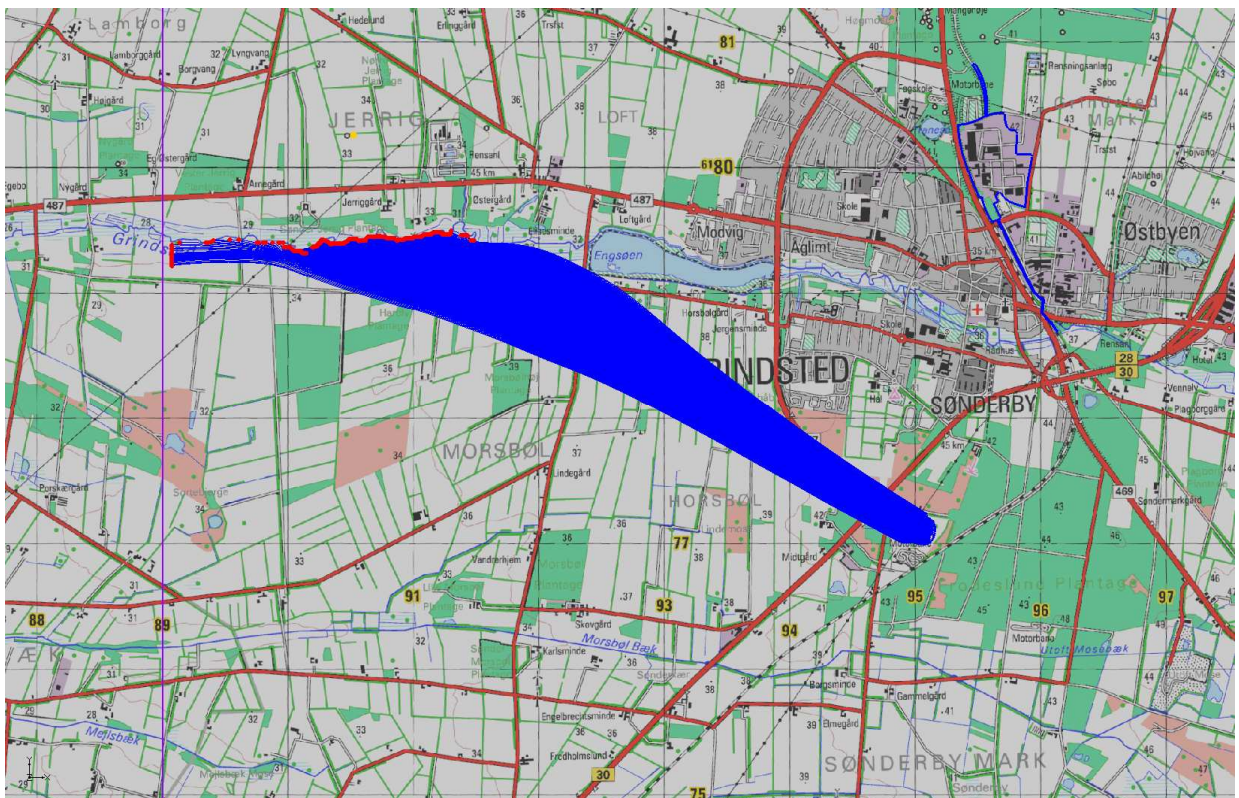
#### 4.7 Scenarium 7, Top Arnum Grindsted Gl. Losseplads

Der er foretaget en simulering af forureningsspredningen fra toppen af Arnum, ud fra den hypotese, at der er sket lodret nedsivning af fri fase fra lossepladsen til toppen af Arnum (stoffer tungere end vand), og en spredning af opløst stof fra det udgangspunkt.

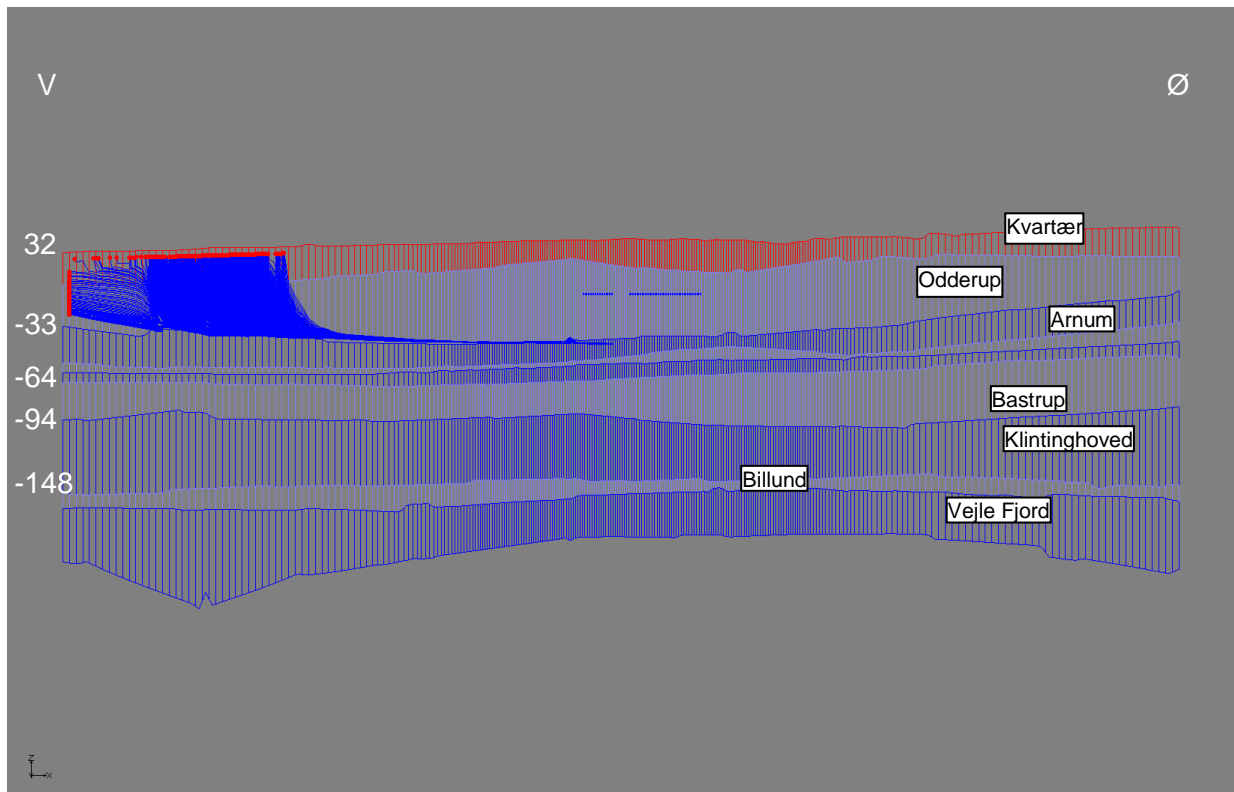
Resultatet af simuleringen fremgår af Figur 4.13.

Det fremgår, at partikelbaner dækker et ganske stort område, og partiklerne stopper langs vådområder og vandløbsstrækninger, over et større område, umiddelbart vest for Engsåen (længere mod vest, når der sammenlignes med Figur 4.11), langs et ca. 2-3 km langt forløb ved Grindsted Å og vådområderne. Samtidigt løber et antal partikler forbi vådområderne og frem til randen af model området.

Det er lagt et vest-øst snit gennem partikelbanerne, som kan ses på Figur 4.14.



Figur 4.13: Partikelbanesimulering, top af Arnum, Grindsted Gl. Losseplads.



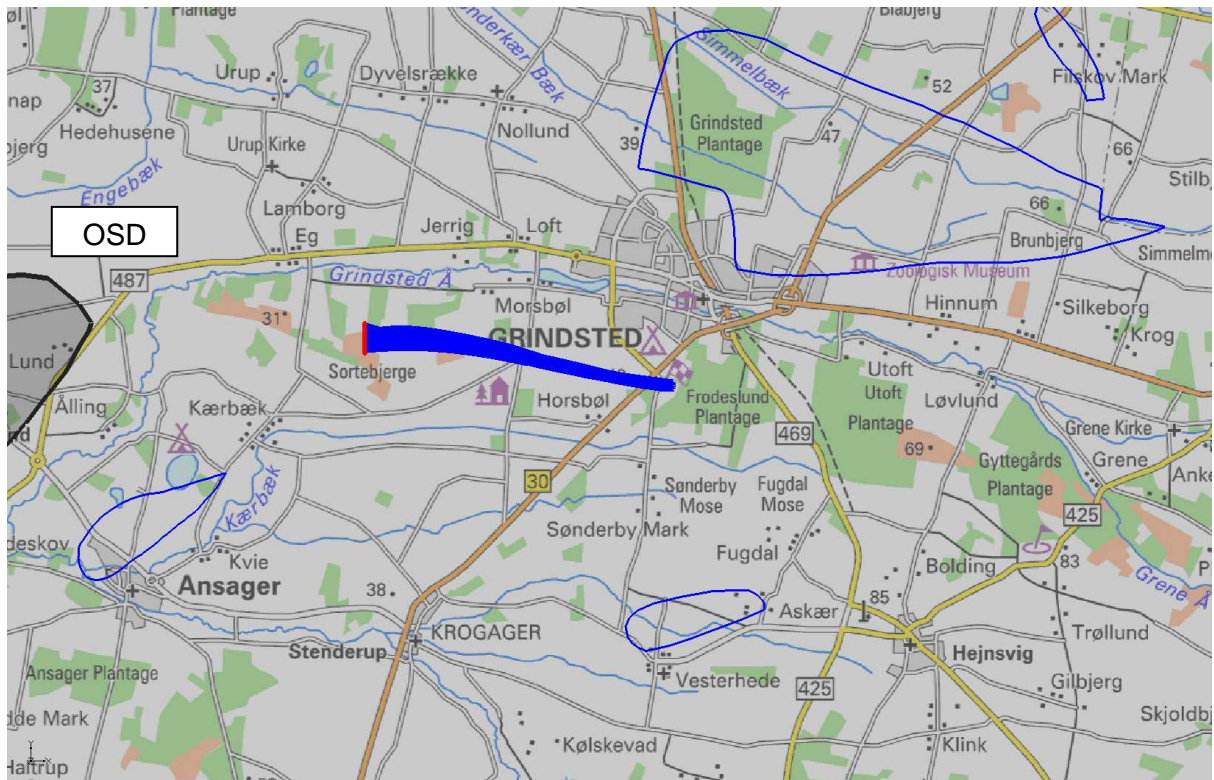
**Figur 4.14:** Vest-øst snit gennem partikelbanerne fra top Arnum, Grindsted Gl. Losseplads. Til venstre er angivet kote til terrænen, top Arnum, top Bastrup, top Klintinghoved samt top Billund

Det fremgår af simuleringen, at partiklerne vil bevæge sig langt langs toppen af Arnum, ca. 3-4 km, før de stopper langs Grindsted Å, vådområderne og randen i modellen. Simuleringen antyder ikke nogen trussel mod indeklima og indvinding. Den kinetiske alder er ca. 50-60 år.

#### 4.8 Scenarium 8, Bastrup under Grindsted Gl. Losseplads

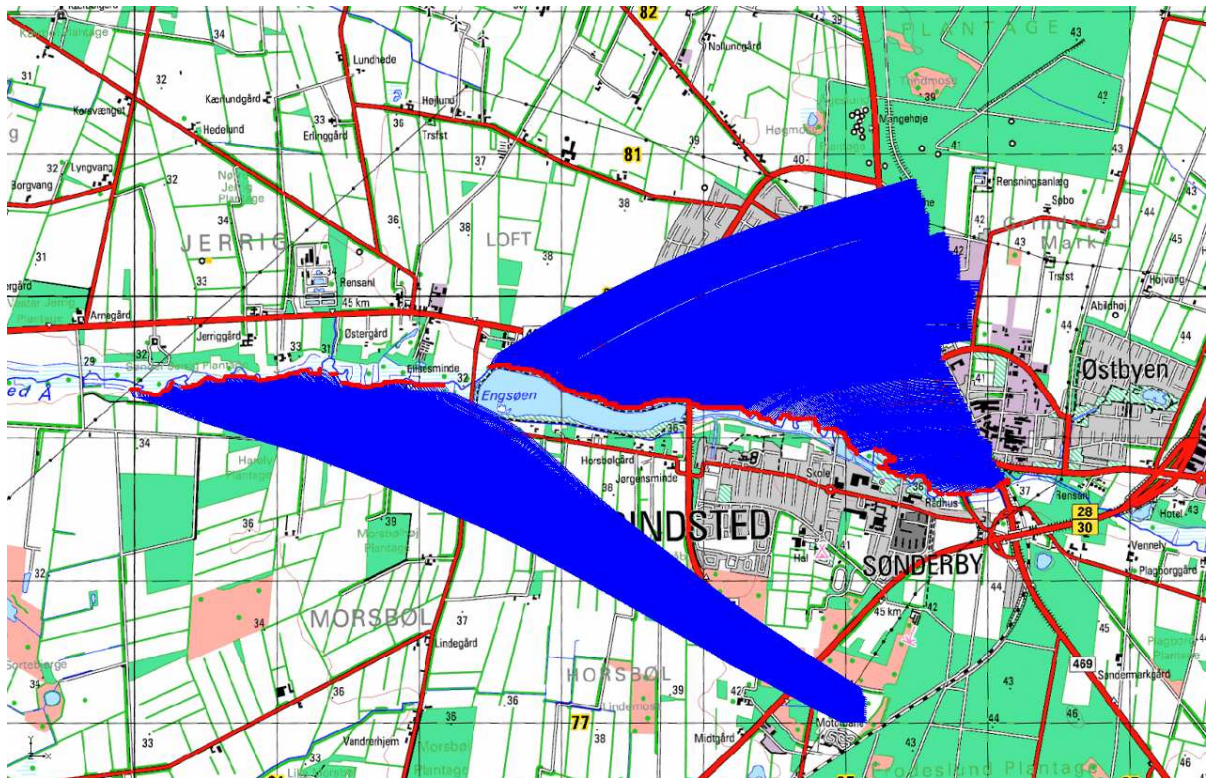
Det er aldrig undersøgt, om der er sket forureningsspredning til Bastrup under Grindsted Gl. Losseplads. Der er dog, for at undersøge hvilken risiko en sådan hypotetisk forurening kunne udgøre for området vandværker og OSD (nedstrøms lossepladsen), udført en partikelsimulering, hvor partiklerne startes i modellen svarende til Bastrup. Resultatet af denne simulering fremgår af Figur 4.15

Det nærmeste nedstrøms opland er oplandet til Ansager Vandværk (som ligger uden for modelområdet). Længst mod vest på figuren er indtegnet nærmestliggende, nedstrøms OSD. Det fremgår af simuleringen, at en hypotetisk forurening af Bastrup under lossepladsen vil spredes i vestlig retning nedstrøms lossepladsen. Partikelfanen vil strømme forbi Ansagers Vandværks opland, og dermed ikke udgøre en risiko for indvindingen her. Den kinetiske alder er ved randen er ca. 360 år. Partikelfanen har retning mod OSD, men grundet den forventede alder af partikler (> 400 år), vurderes det som usandsynligt, at en eventuel forureningsspredning fra Bastrup udgør en risiko for OSD.



**Figur 4.15:** Partikelbaner, hypotetisk forurening af Bastrup under Grindsted GI. Losseplads. Nedstrøms ses oplandet til Ansager Vandværk og OSD. Partikelbanerne afsluttes i modelranden.

Der er på Figur 4.16 vist et samlet billede af partikelfanerne fra alle kilder i kvartæret.



**Figur 4.16:** Partikelbanesimulering, alle kilder i kvartæret.



## 5 SAMMENFATNING OG VURDERINGER

Der er opstillet og kalibreret en 3D grundvandsmodel for et område dækkende Grindsted. Modellen er opbygget med baggrund i en hydrostratigrafisk model, der er baseret på en rumlig geologisk model, opstillet af Region Syddanmark.

Modellen er kalibreret på baggrund af eksisterende data, og kalibreringen er fundet tilfredsstillende. Modellen er stationær, og simuleringerne er derfor udtryk for et gennemsnitsbillede og kan derfor ikke anvendes til beskrivelse af dynamiske effekter, som f.eks. årstidsafhængig afstrømning i grundvandsmagasinerne.

På baggrund af den stationært kalibrerede model er der foretaget en række partikelbanesimuleringer, fra erkendte forureningskilder fra Grindsted Products i området, under konservative forhold (svarende til at forureningspartiklerne har samme karakteristika som en vandpartikel og dermed følger strømmingen i de forskellige magasiner). Der er derfor ikke regnet med dispersion og nedbrydning med videre for forureningskomponenterne.

Ud fra partikelbanesimulering kan følgende sammenfattes:

Kilder til grundvandsforurening med udgangspunkt i Banegravdepotet, fabriksgrund og afløbsgrøften kan give anledning til forurening, som spredes under størsteparten af den vestlige del af Grindsted by, hvor der er følsom arealanvendelse (beboelse). Den tid det tager for forureningen at nå fra kilderne til udstrømningsstedet, kan ud fra simuleringerne anslås til 20-45 år, afhængig af kildens placering.

Forureningsspredningen vil i overvejende grad ske i kvartæret og i Odderup formationen.

Partikelbanesimulering fra top Arnum under fabriksgrunden viser, at partiklerne stopper langs hele Engsøen, samt Grindsted Å, før randen af modelområdet. Det ses, at udvalgte partikler stopper på fabriksgrunden. Det skyldes, at de ender i filtrene i fabrikkens pumpeboringer. Den kinetiske alder for partiklerne, når de stopper ved Engsøen, er ca. 35-40 år.

Bastrup formationen ser ud til at være godt beskyttet af de overliggende Arnum aflejringer. Dette er i god overensstemmelse med resultaterne fra prøvepumpningen /3/, hvor der ikke blev konstateret lækage til Bastrup sandet omkring fabriksgrunden, og heller ikke forurening i det oppumpede grundvand i forbindelse med prøvepumpningen.

En hypotetisk forureningsspredning til Bastrup sandet under fabriksgrunden, kan spredes langt mod vest, i realiteten ud over modelranden. Strømningen sker dybt under de beboede områder. Strømningen påvirkes lokalt af oppumpninger fra Odderup og kvartæret, som muligvis kan bevirke lækage fra Bastrup og op i systemet og videre ud i Grindsted Å. Den gennemsnitlige kinetiske alder vil dog her formentlig være over 100 år.

Spredningen fra en eventuel forureningskilde ved Grindsted Gl. Losseplads, vil ske fra kvartæret til Odderup formationen nedstrøms pladsen, og derefter igen til kvartæret, når partiklerne nærmere sig udstrømningsstedet. Spredningen sker i områder, hvor der er spredt bebyggelse, og den gennemsnitlige kinetiske alder kan anslå til at være 50-60 år, afhængig af udstrømningsstedet.

Der er foretaget en simulering af forureningsspredningen fra toppen af Arnum, ud fra den hypotese, at der er sket lodret nedsivning af fri fase fra lossepladsen til toppen af Arnum (stoffer tungere end vand), og en spredning af opløst stof fra det udgangspunkt.

Det fremgår, at partikelbanerne dækker et ganske stort område, og partiklerne stopper langs vådområder og vandløbsstrækninger, over et større område, umiddelbart vest for Engsøen langs et ca. 2-3 km langt forløb ved Grindsted Å og vådområderne. Samtidigt løber et antal partikler forbi vådområderne og frem til randen af modelområdet, hvilket indikerer (med forbehold for rand nære effekter og usikkerhederne forbundet hermed), at ikke alle partikler fanges af overfladevandsystemet.

Der er foretaget en simulering af en hypotetisk forureningsspredning fra Bastrup under Grindste Gl. Losseplads. Det nærmeste nedstrøms vandværks opland er oplandet til Ansager Vandværk (som ligger uden for modelområdet). Det fremgår af simuleringen, at en hypotetisk forurening af Bastrup under lossepladsen vil spredes i vestlig retning nedstrøms lossepladsen. Partikelfanen vil strømme forbi Ansagers Vandværks opland, og dermed ikke udgøre en risiko for indvindingen her. Den kinetiske alder er ved randen er ca. 360 år. En eventuel forureningsspredning vil heller ikke true nærmest nedstrøms OSD, grund partikelalderen (> 400 år).

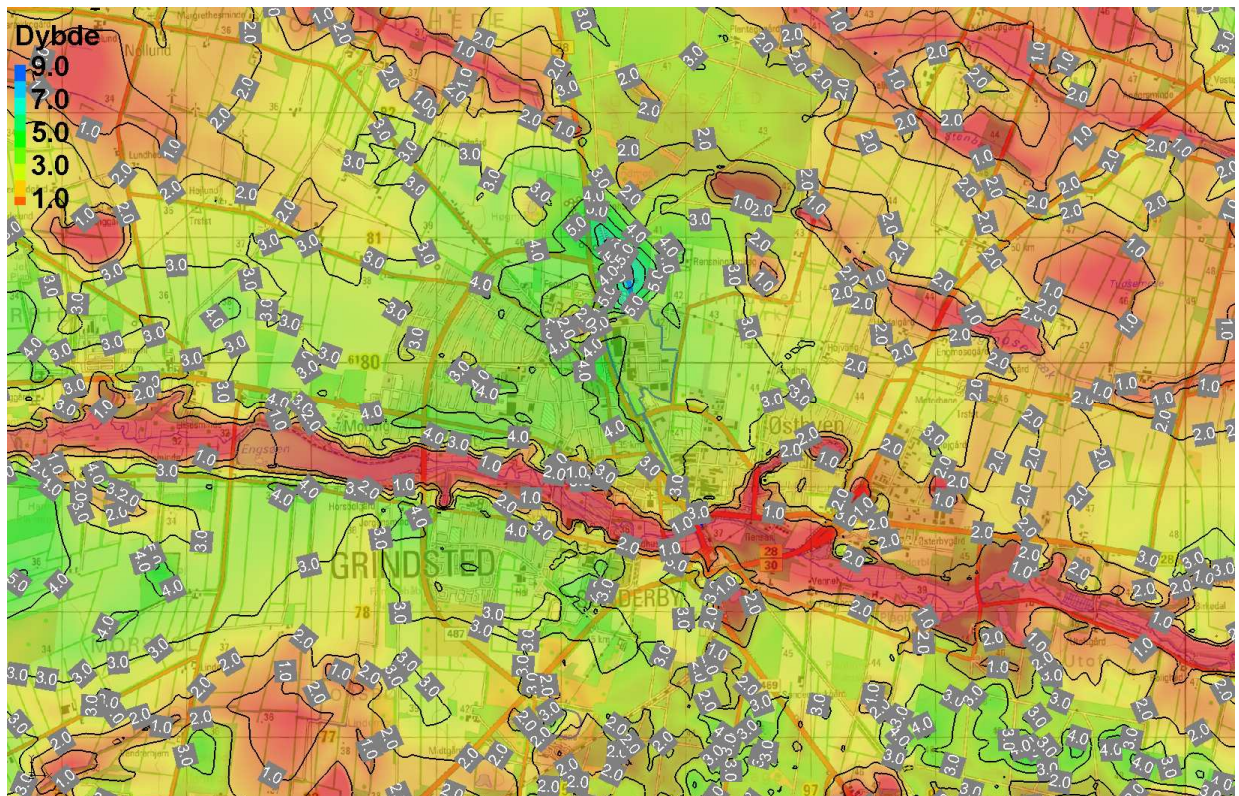
Generelt viser simuleringerne at forureningsspredningen er væk fra Grindsted Vands kildepladser nord for Grindsted samt Ansager kildeplads syd for modelområdet.

Udover de her anvendte forureningskilder, eksisterer der formentlig i byområdet (indenfor oplandet til udstrømningen langs vådområderne) andre kilder, som kan give anledning til forurening af grundvandet, med komponenter, som kan give problemer for det omgivende miljø, herunder indeklimaet. Her tænkes specielt på renserier og tankstationer.

Region Syddanmark monitorer løbende grundvandet i udvalgte boringer i området. Nærværende grundvandsmodel og resultaterne kan anvendes til at optimere prøvetagning, og måske danne grundlag for at fastlægge oprindelsen til eventuel vandbåren forurening (se partikelbanesimuleringerne).

Risikoen for afdampning til indeklimaet i forbindelse med forureningsspredningen, er en funktion af bl.a. dybden til grundvandspejlet, for det magasin hvori en eventuel spredning foregår.

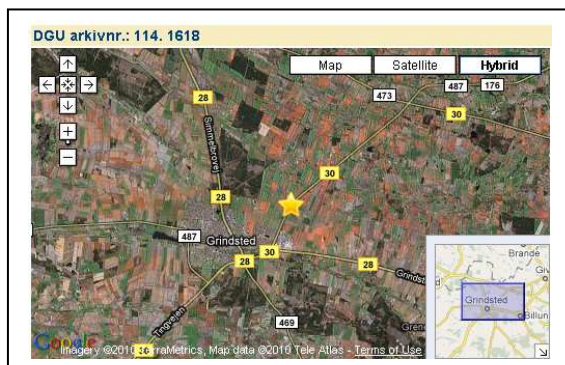
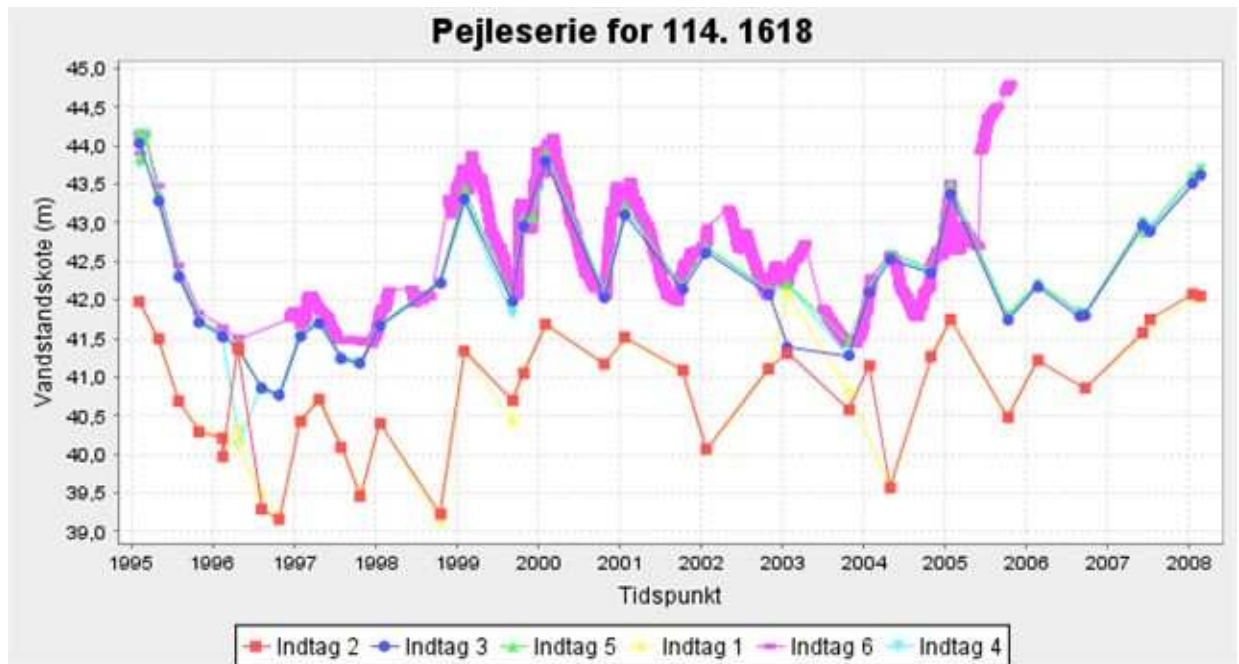
Ud fra det kalibrerede vandspejl i det øverste lag (kvartæret) sammenholdt med topografien, er dybden til det øverste vandspejl beregnet. På Figur 5.1 er resultatet vist for den centrale del af modelområdet.



**Figur 5.1:** Dybden til øverste grundvandsspejl (kvartæret).

Det fremgår af Figur 5.1, at der under den vestlige del af byen simuleres en dybde til det øverste grundvandsspejl mellem 3-4 meter. I nærheden af udstrømningsområderne, mindskes dybden til 1-2 meter. Hvilken betydning dette har for en eventuel forurening og afdampningen herfra, vurderes ikke nærmere i nærværende rapport, da det afhænger af en lang række faktorer.

Observationer af grundvandsspejlet i oplandet (DGU nr. 114.1618, øst for Grindsted By) Figur 5.2 indikerer, at grundvandet i det øverste magasin kan svinge 2-3 meter over en årrække, hvilket har betydning for vurderingen af risikoen for indeklimaet. Der synes ikke at være længerevarende observationer i pejleboringerne i Grindsted by, så det kunne være en god ide at få etableret automatpejlinger i udvalgte pejleboringer i byen, for på længere sigt at have et bedre billede af udsvinget i det øverste grundvand.



**Figur 5.2:** Pejleserier i DGU 114.1618 fra JUPITER. Indtag 5 og 6 svarer til det øverste magasin. Lille boks viser med stjerne ca. placeringen af boringen.

Den geologiske model og grundvandsmodellen er opbygget og kalibreret på eksisterende data og usikkerheder i datagrundlaget er derfor videreført i vurderingerne i nærværende rapport. Skulle der til projektet som helhed blive tilført ny viden f.eks. i form af nye borer, geofysik, pejlinger med videre, kan dette indarbejdes og grundvandsmodellen kan opdateres. I forbindelse med opdatering af pejlegrundlaget, f.eks. ved fornyet pejlerunde, bør pejledata sammenholdes med den geologiske model, for at afklare, hvorvidt en given pejlning kan henføres til et egentligt magasin, eller er et udtryk for et hængende vandspejl.

## 6 REFERENCER

1. Stationær Grundvandsmodel for område 1-10 med fokus på Grindsted- og Løvlund OSD. Ribe Amt/Miljøcenter Ribe, juni 2007.
2. Håndbog i grundvandsmodellering, GEUS rapport 2005/80
3. Prøvepumpning ved Tronsøen, Region Syddanmark, DGU 114.2038, oktober 2009



Region Syddanmark  
Jordforureningsafdelingen  
Damhaven 12  
7100 Vejle  
Tlf. 7663 1000  
[www.regionsyddanmark.dk/jordforurening](http://www.regionsyddanmark.dk/jordforurening)

