

Sag	Grindsted	Projektnr.	105643
Projekt	Grindsted forureningskortlægning	Dato	2015-11-04
Emne	Del 2 - Scenarieberegninger	Initialer	THW

Indhold

1 Baggrund	2
1.1 Kort modelresume	2
2 Scenarieberegninger	2
2.1 Hydrogeologiske parametre	3
2.2 Partikelbaneberegninger	4
3 Scenarier	5
3.1 Udbredelse af forurening fra de fire kilder ved terræn forurening	5
3.2 Udbredelse af forurening fra de fire kilder ved dyb kilde	7
3.3 Analyse: Effekt af dynamisk model fremfor stationær!	10
3.4 Scenarieberegninger af partikelbaner fra Losseplads	15
3.5 Partikelbaner på ekstremvandstande	15
4 Diskussion	17
4.1.1 Modelforbedringer	17
4.1.2 Geofysik og heterogenitet	17
4.1.3 Partikelbaner på hhv. dynamik og stationær model	17
5 Stoftransport	18
6 Referencer	19

ALECTIA A/S

Teknikerbyen 34
2830 Virum
Denmark
Tlf.: +45 88 19 10 00
Fax: +45 88 19 10 01

CVR nr. 22 27 89 16

www.alectia.com

1 Baggrund

Region Syddanmark ønsker at få foretaget analyser af forureningens spredning fra forurenede grunde ved Grindstedværket.

Dette notat er del 2 og beskriver scenarieberegninger foretaget på lokalmodellen for Grindsted.

Del 1 dokumenterer modellens opsætning og kalibrering.

1.1 Kort modelresume

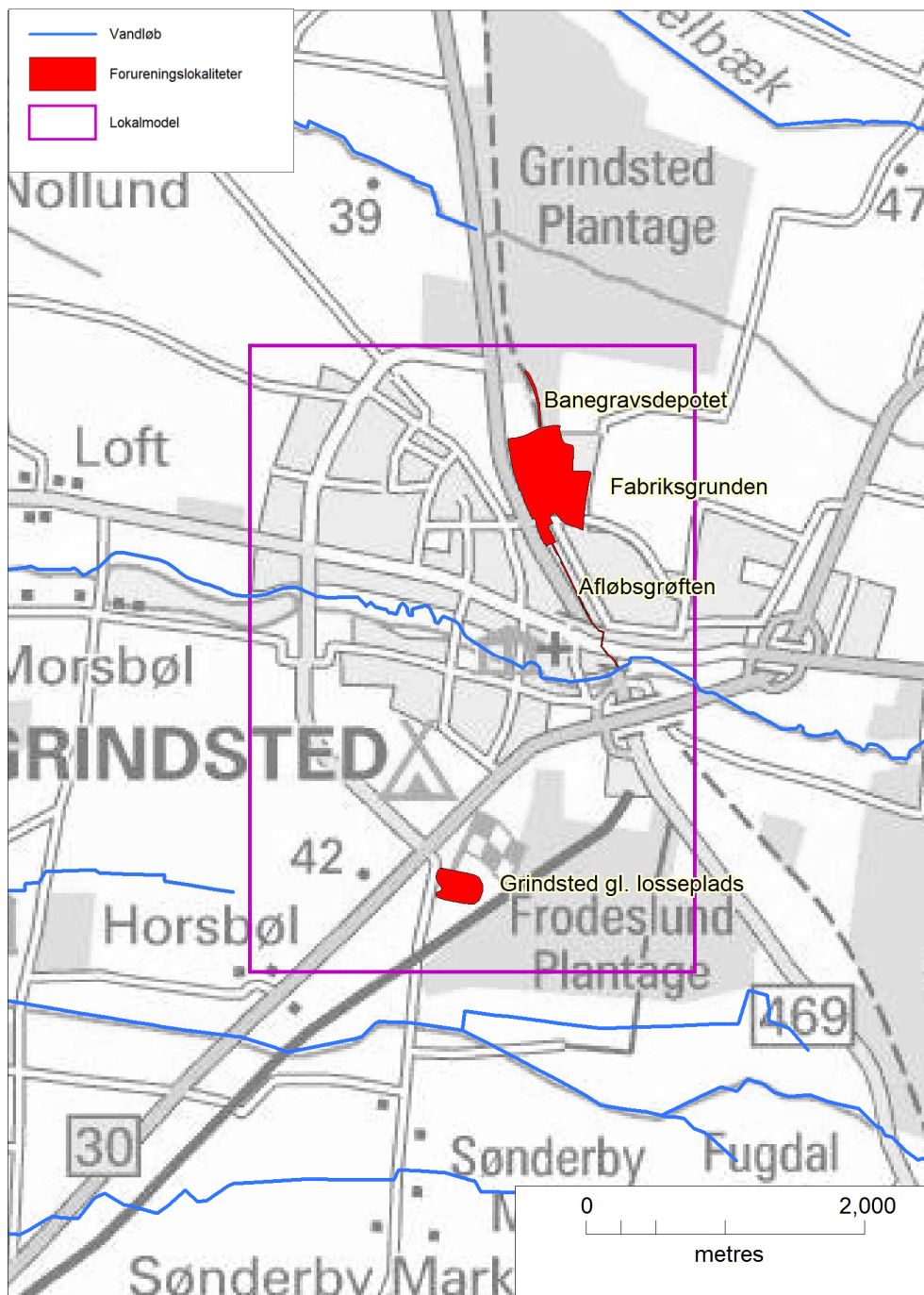
Modellen er opstillet som to modeller i MODFLOW. Den ene – regional skala i 100 m, og den anden i lokal 10 m skala. De to modeller flettes sammen vha. MODFLOW-LGR2 /1/.

Begge undermodeller er opstillet i en stationær og dynamisk version.

Al modelarbejdet foregår i ETRS89 Zone 32N (EUREF89 / DVR90).

2 Scenarieberegninger

Forureningsspredningen undersøges for tre lokaliteter nord for Grindsted Å. Disse er Banegravsdepotet, fabriksgrunden og afløbsgrøften. Endvidere undersøges for en lokalitet syd for Grindsted Å. Denne er Grindsted gamle Losseplads.



Figur 1: Oversigt over lokalmodellens afgrænsning og de fire kilder til forurening

2.1 Hydrogeologiske parametre

De hydrogeologiske parametre (hydraulisk ledningsevne, lækagekoefficienter, specifik ydelse og magasintal) svarer til de fundne i dokumentationen over modelopsætning og kalibrering (del 1).

Den kalibrerede specifikke ydelse er i størrelsesordenen 5-15 %, hvilket svarer til den mobile vandmængde i magasinet. Den absolutte vandmængde der er til

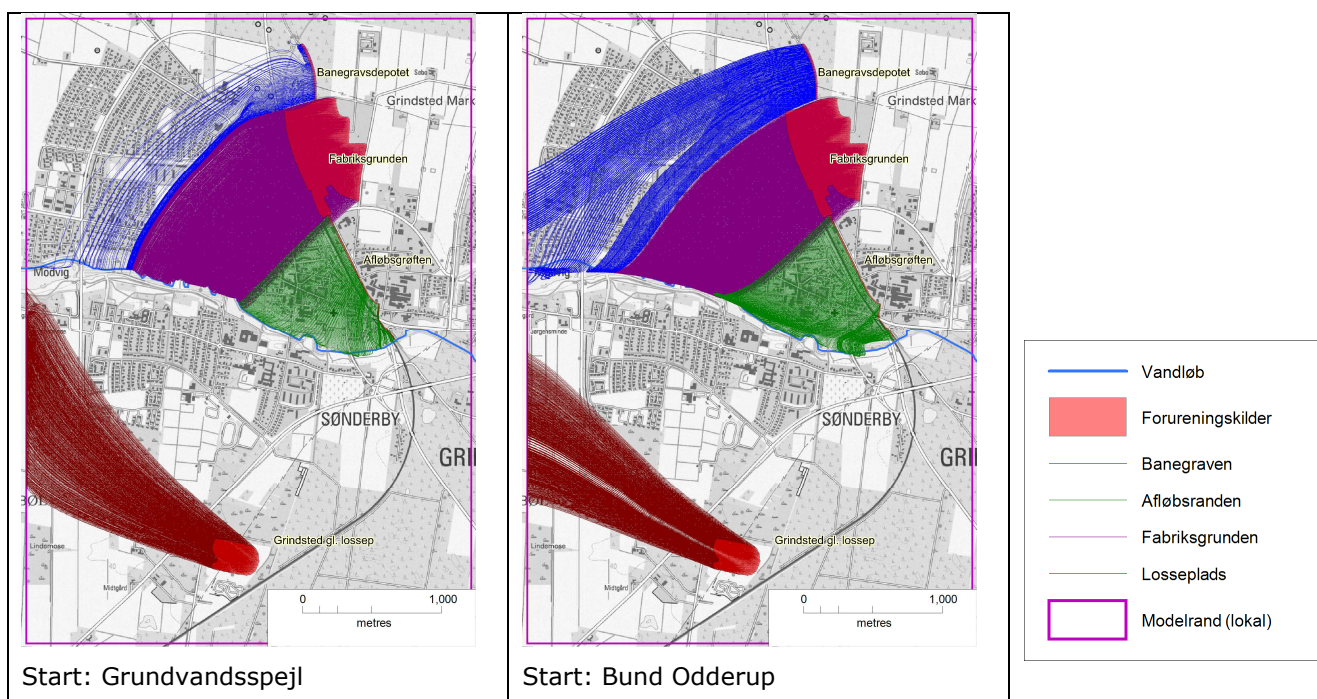
stede i magasinet er større end den specifikke ydelse, idet diffusionsprocesser kan inkludere immobile dele af det porøse medium. Naturstyrelsen har i en præcisering af Geovejledning 2 /6/ opdaterede anbefalede værdier for porøsiteten. På baggrund af denne vejledning benyttes i transportdelen en porøsitet på 25 % for både sand og ler. Ved konservativ transport (som partikelbaner) kan opholdstiden skaleres lineært med porøsiteten (i den stationære model).

2.2 Partikelbaneberegninger

Partikelbaneberegninger foregår ved at udsende en stor mængde partikler i modellen. Man kan benytte både den stationære model og den dynamiske. Den dynamiske medtager den årlige variation fra klima og indvindingspraksis for perioden 1989-2010.

Ved fremadrettet partikelbaneberegninger tænkes partiklerne at blive placeret ved terræn (reelt øverste grundvandsspejl).

Alternativt kan man ved mistanke om at tung fri fase forurening ved gravitationsstrømning er sunket ned i magasinet og nu ligger ovenpå overfladen af Arnum leret, anvende en initial partikelplacering ovenpå Arnum leret.



Figur 2: Partikelbaner tematiseret efter startposition af partikler (bane-graven, fabriksgrunden, afløbsgrøften og lossepladsen).

Figur 2 viser partikelbaner fra den stationære model fra en forurening nær terrænen og bunden af Odderup tematiseret efter forureningslokalitet.

Partikelbaneberegninger følger vandets strømning og man kan udtrække alder og dybde for partiklerne. Partikelbanerne forudsætter konservativ transport uden henfald og forsinkelse (retention), og opblanding (dispersion). Partikelbanerne kan herved give en forståelse for udbredelse og maksimal afstand. Ønsker man kemiske reaktioner og opblanding skal man tage stoftransport i brug.

3 Scenarier

3.1 Udbredelse af forurening fra de fire kilder ved terrænnær forurening

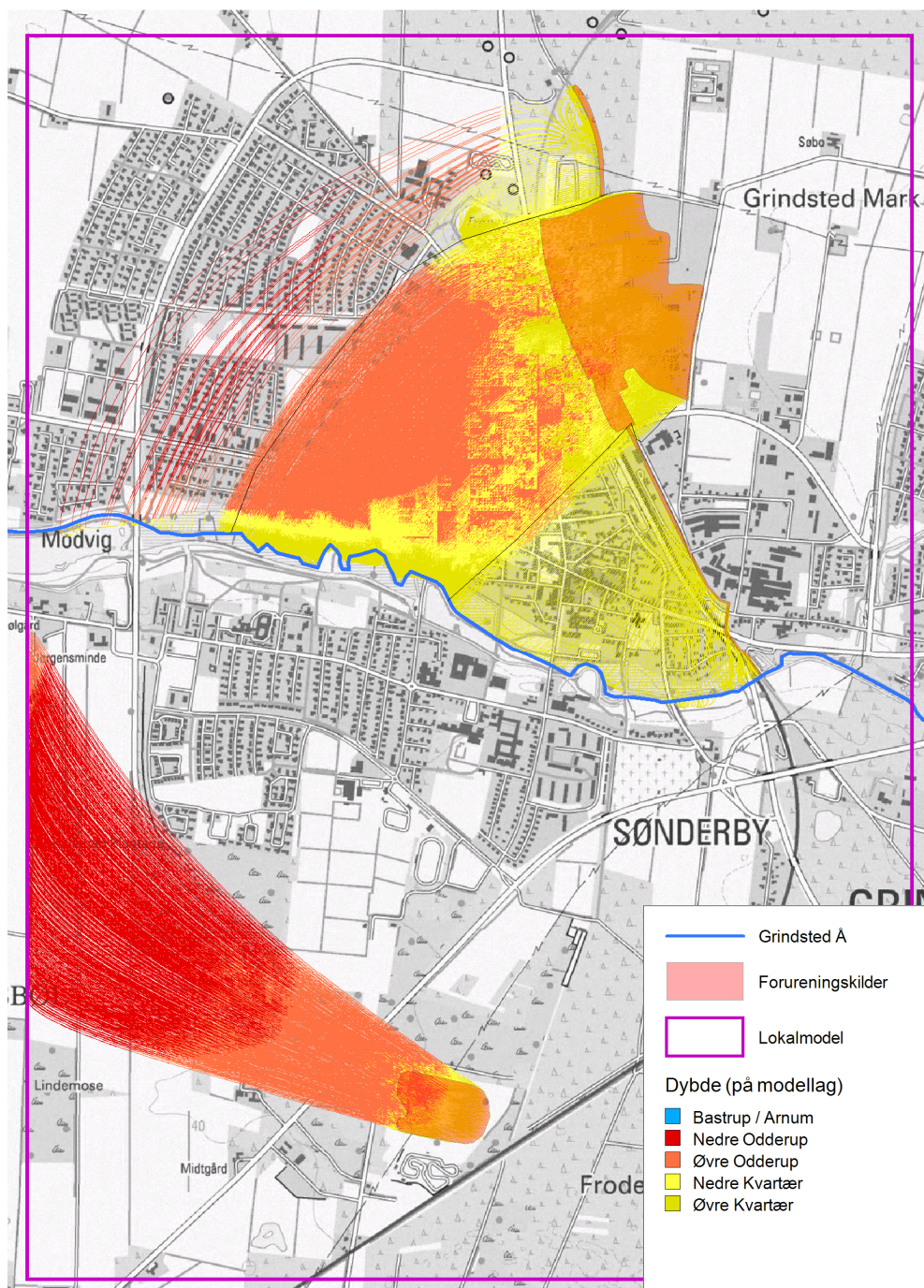
Figur 3 viser partikelbaner fra en forurening der tænkes at stamme fra toppen af grundvandsspejlet i den stationære model. De enkelte partikelbaner er tematiseret efter den hydrostratigrafi de gennemstrømmer. I et givet punkt kan der godt være flere hydrostratigrafiske enheder med partikelbaner. En sort streg er benyttet til at adskille partikelbaner fra fabriksgrunden fra partikelbaner, der stammer fra hhv. Banegraven og afløbsgrøften.

Partikelbaneberegningerne viser at en forurening stammende fra fabriksgrunden ikke når så stor en dybde og kun partikler fra den nordlige del af fabriksgrunden når ned i Odderup sandet, mens partikler fra den sydlige del af fabriksgrunden kun lige når toppen af Odderup sandet. I den nordlige del når forureningen ned i en kote omkring + 5 m (mellem kote +2 og +8 m), mens den forurening fra den sydlige del af fabriksgrunden er omkring kote +20 m (forureningen er her i intervallet kote +17 m til +30 m).

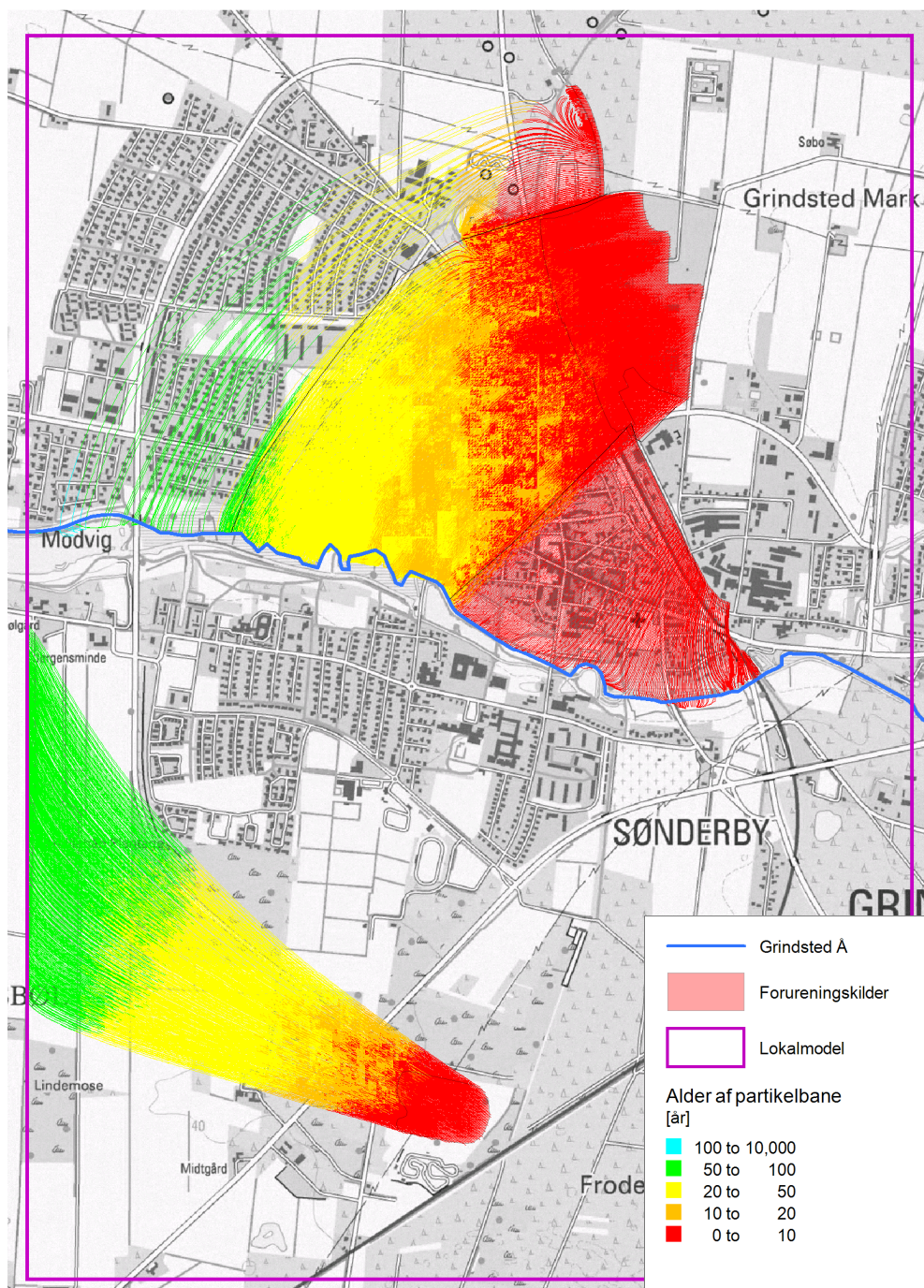
Forurening fra lossepladsen tager en markant dybere strømning. Forurening når her ned til bunden af Odderup sandet, men når ikke ned i Arnumformationen.

Figur 4 viser alderen på partikelbanerne fra de forurenede arealer. Alderen viser at partikler fra banegraven tager over 50 år om at nå til Grindsted Å, mens partikler fra afløbsgrøften tager under 10 år. Herimellem ser man partikelbaner fra fabriksgrunden med en alder på 10-50 år.

Partikelbaner fra lossepladsen har betydelig højere alder, hvilket skyldes at forureningen skal ned i en større dybde samt at den horisontale grundvandsstrømning er betydelig langsommere. En alder på over 50 år opnås godt 1000 m nedstrøms den vestlige kant af lossepladsen.



Figur 3: Partikelbaner fra partikler med start på grundvandsspejlet tematiseret efter hydrostratigrafi. Stationær model.



Figur 4: Partikelbaner fra grundvandsspejlet tematiseret efter alder. Stationær model.

3.2 Udbredelse af forurening fra de fire kilder ved dyb kilde

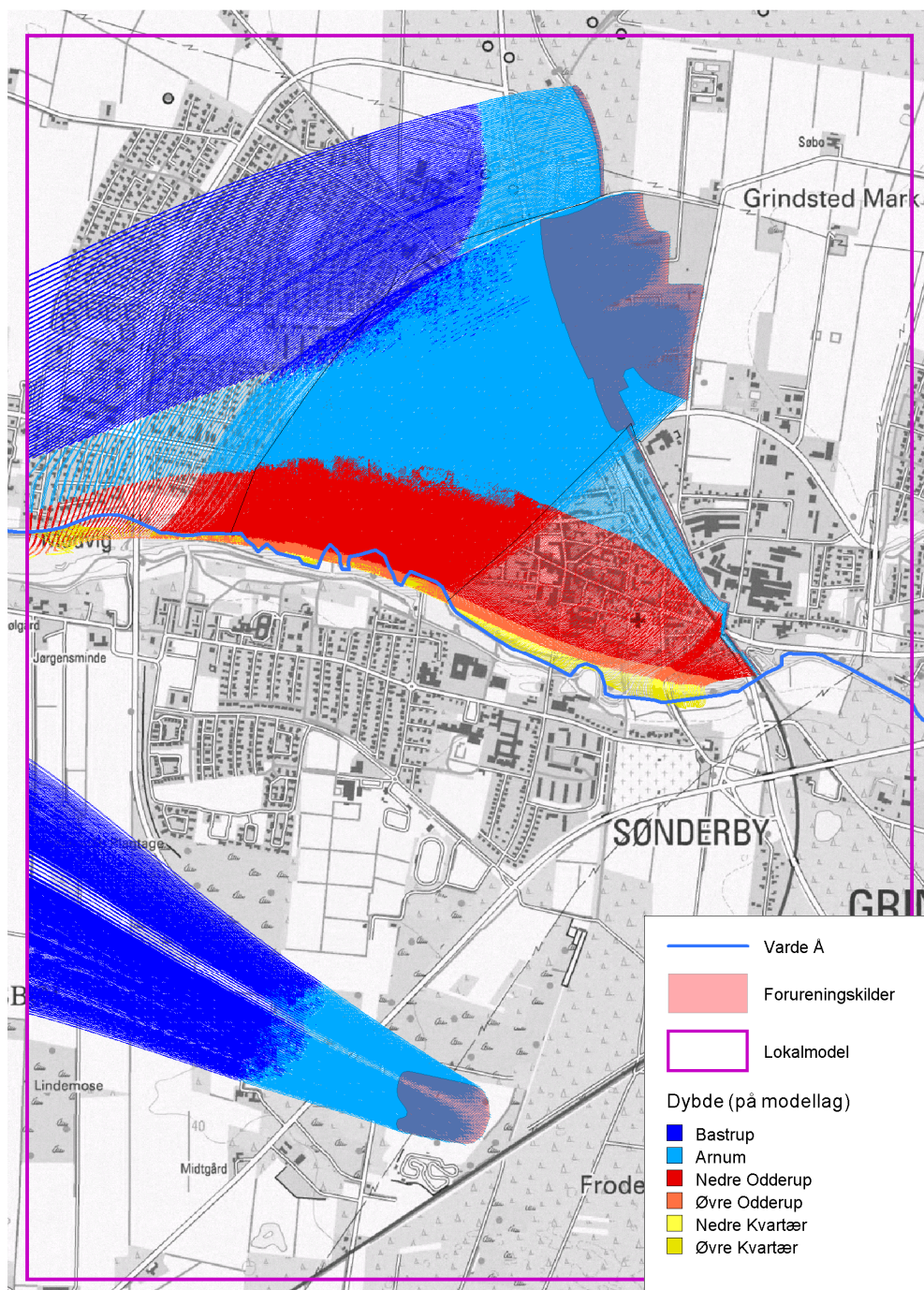
Figur 5 og Figur 6 viser partikelbaner for partikler med en startposition nær bunden af Odderup sandet tematiseret efter hhv. lithologi og alder.

Modelberegningerne viser at forurening nord for Grindsted Å når ned i Arnum formationen. I Arnumformationen vil transporten ske i de sandede indslag, og når partiklerne når ådalen (og lidt før), begynder strømmningen at være opadrettet. Forurening startende under banegraven vil endvidere nå Bastrup sandet. Her ses en strømningsseparation, således at strømmningen i Bastrup sandet har en anden – mere vestlig – retning end strømmningen i de overliggende sandede lag.

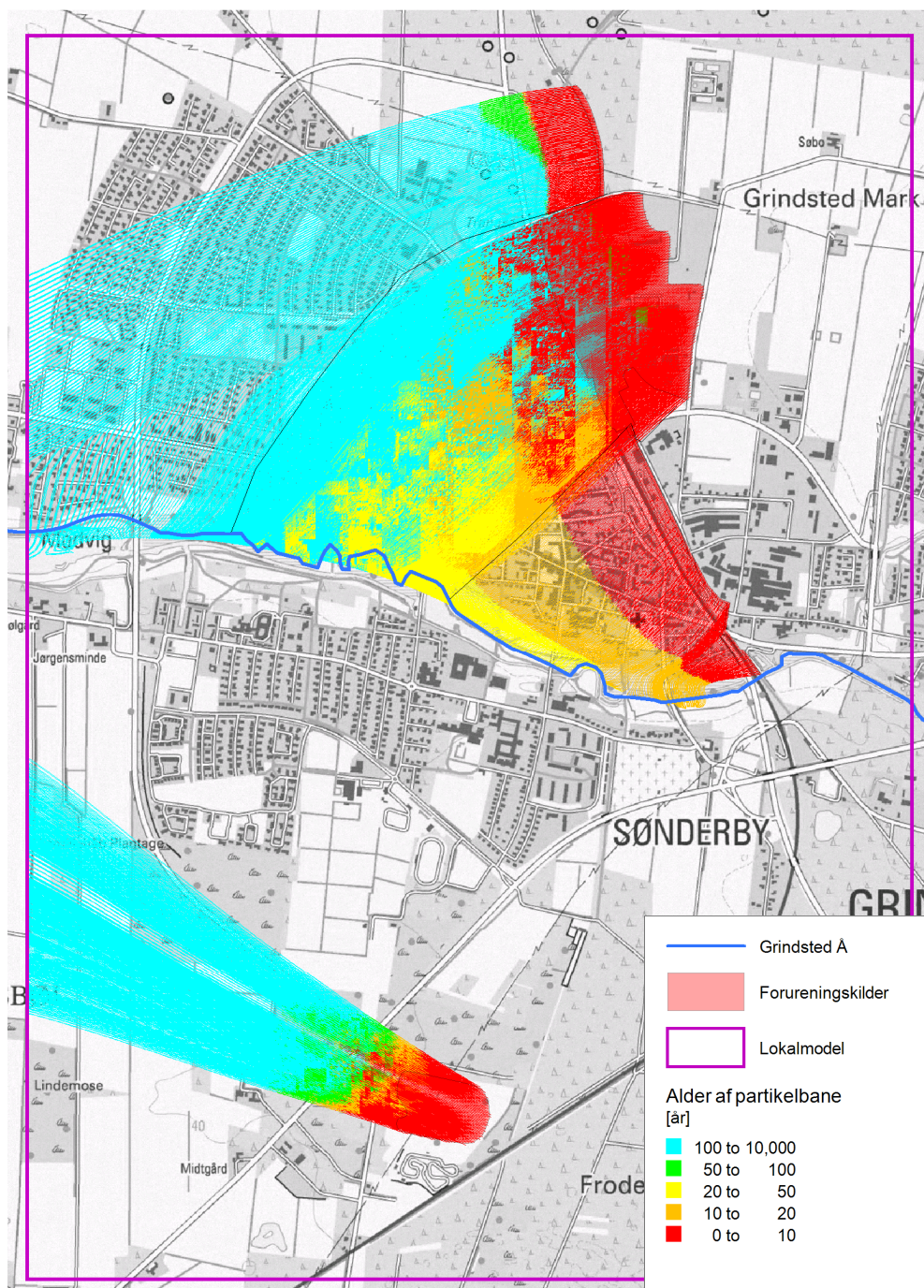
Betragter man transporttiderne så er transporten i denne dybde betydelig langsommere end de øvre dele af grundvandsmagasinet. Dette skyldes at vandudvekslingen falder med dybden

Forurening fra lossepladsen syd for Grindsted Å har også en nedadrettet gradient, således at forurening her efter godt 1 km når Bastrup sandet.

På figuren med alderstematiseringen ser man desuden at alderen i partikler i ned nordlige del af fabriksgrunden samt afløbsgrøften får en høj alder uden tilstedeværelsen af partikler med en alder på 10-50 år. Dette skyldes til dels at den røde farve for den helt unge partikler [0-10 år] overskygger de intermediære aldre, dels at partiklerne her skal gennem Arnumformations ler, hvilket tager tid pga. langsom strømmning.



Figur 5: Partikelbaner med start nær bunden af Odderup i fire forureningsområder. Tematisering efter hydrostratigrafi (dybde).



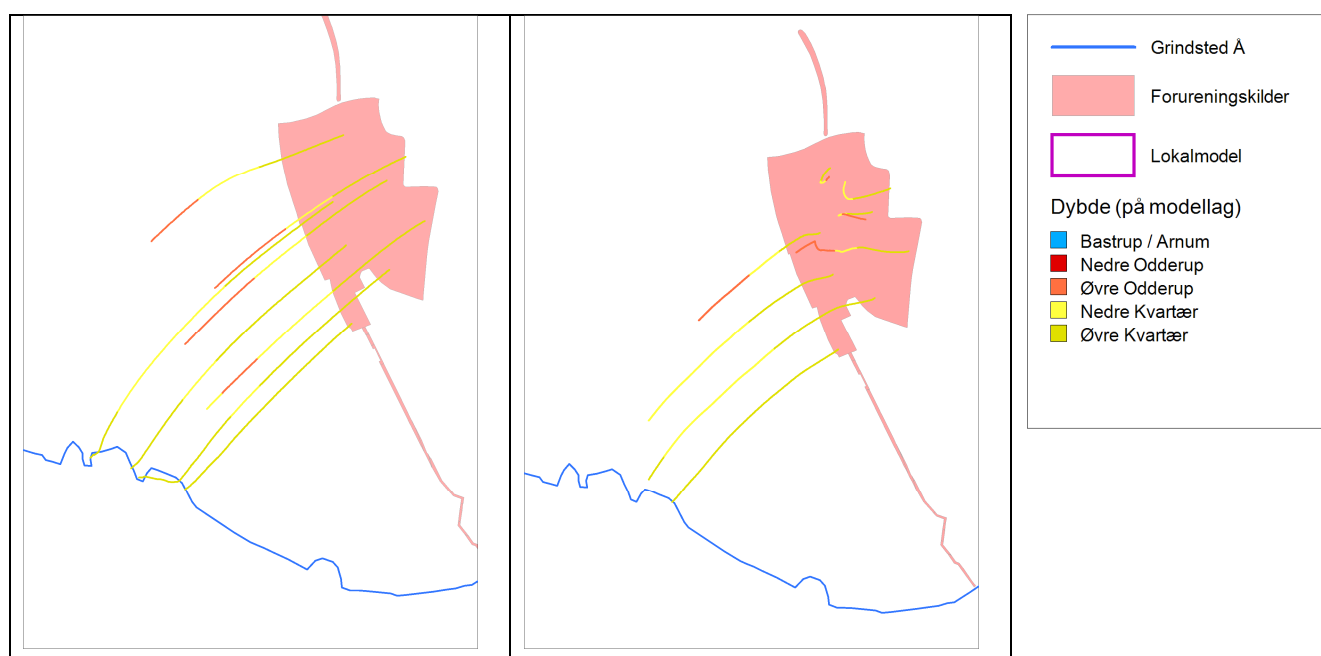
Figur 6: Partikler fra bunden af Odderup Sand tematiseret efter alder.

3.3 Analyse: Effekt af dynamisk model fremfor stationær!

Der er foretaget en analyse af partikelbanerne for hhv. den stationære og den dynamiske model. Analysen skal vise om der er behov for supplerende partikelbaneberegninger/analyser foretaget på beregninger på den dynamiske model, eller om partikelbaner fra den stationære model er tilstrækkelige at benytte. Ydermere kan analysen uddybe effekter af vandindvinding, ændringer af disse i et dynamisk regi samt vurdere om de sæsonmæssige variationer har betydning.

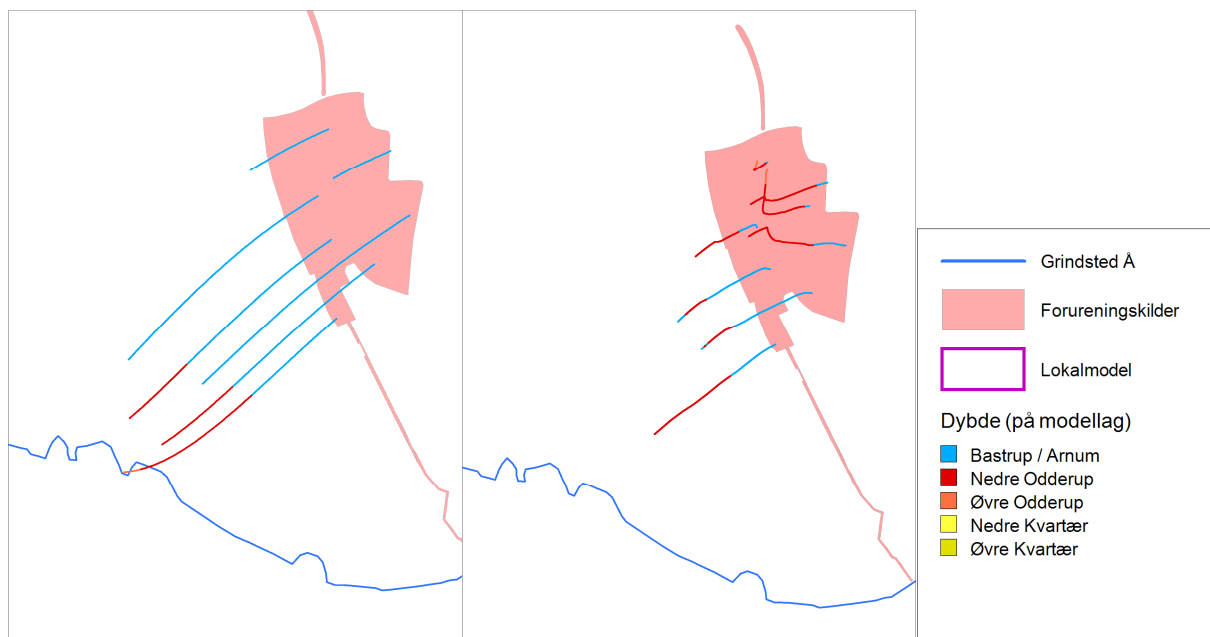
I de følgende beregninger sammenholdes partikelbaner for den stationære model med resultater for den dynamiske. Partikelbanerne er for den stationære model beregnet for 20 år, mens den dynamiske vises for samme tidslængde, 1990-2010.

Figur 7 viser udvalgte partikelbaner for partikler med terrænnær startposition for hhv. den stationære og den dynamiske model. Man ser at den stationære model har partikelbaner mod Grindsted Å, mens der for den dynamiske model ikke er partikler til Grindsted Å for partikler med startposition på den nordlige del af fabriksgrunden. Her ser man nogle lidt snørklede baner.



Figur 7: Partikelbaner med start nær terræn for stationær (venstre) og dynamisk model (højre).

Ser man på partikelbanerne for partikler udlagt i bunden af Odderup formation ser man lidt samme fænomen. Den stationære model har veldefinerede baner mod Grindsted Å, mens den dynamiske model har – specielt i den nordlige del af fabriksgrunden – nogle lidt snørklede partikelbaner som ikke når Grindsted Å. I den stationære model sker en stor del af strømningen i Arnumformationen, mens det for den dynamiske model ser ud til, at strømningen skifter mellem arnumformationen og Odderup sand. Dette skyldes den årlige variation af nedbør, hvilket giver små årlige variationer i den vertikale gradient ved overgangen mellem Odderup Sand og Arnumformation.



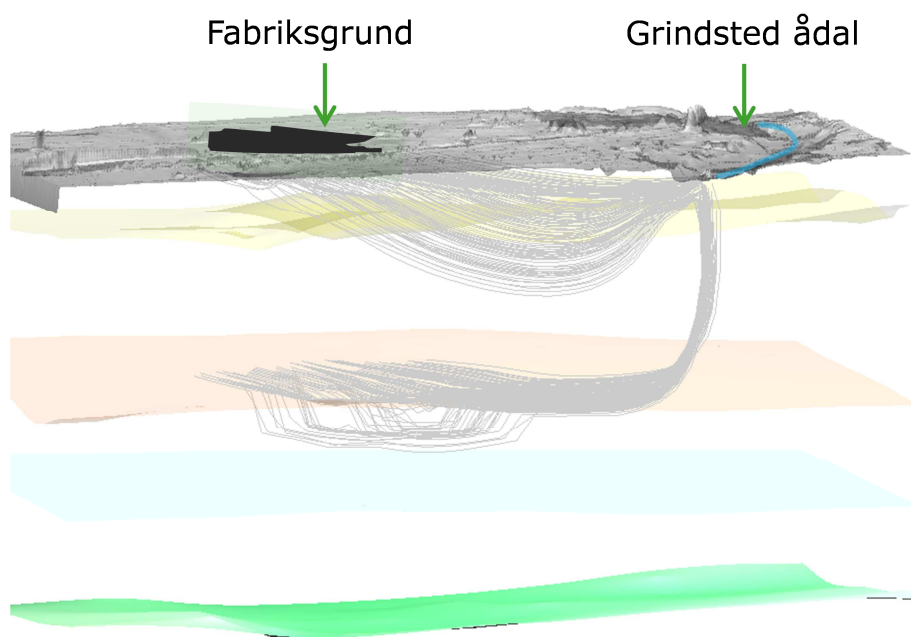
Figur 8: Partikelbaner med start nær bunden af Odderup formation for stationær (venstre) og dynamisk model (højre).

Årsagen til at den nordlige del af fabriksgrunden giver disse korte partikelbaner er, at der i starten af den dynamiske model er en betydelig indvinding på selve fabriksgrunden og der på grund af indvindingen sker en lokal sænkning af grundvandsspejlet. En stor del af partiklerne har en vertikal strømning. En stor del af indvindingen til fabrikken foregår i den nordlige del af fabriksgrunden. Boring DGU nr. 114.1292, der i 90'erne har en registreret indvinding på 400.000 – 1 mill. m³/år. I 00'erne ser man et betydeligt fald i indvindingen på den nordlige del af fabriksgrunden. I 2013 og 2014 har indvindingen været godt 1 mill. m³/år så faldet i indvinding kan være manglende indberetning. Fjerner man indvindingen på fabriksgrunden fra den dynamiske model får man en forureningsspredning, som ligner den stationære løsning.

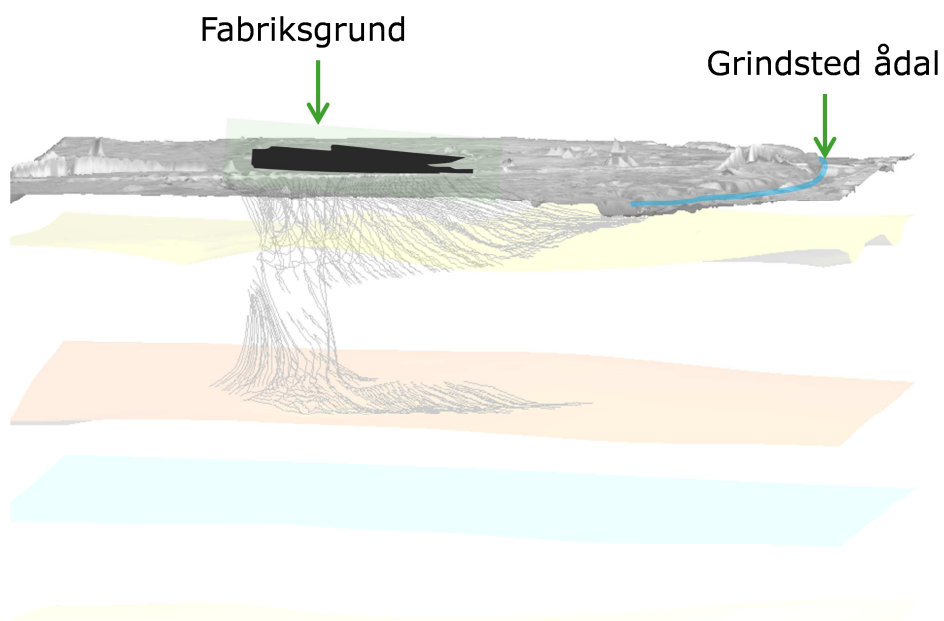
Indvindingen fra fabriksgrunden viser at en stor del af den opløste forurening fra den nordlige del af grunden reelt set indvindes.

Figur 8 viser forskelle mellem den stationære og dynamiske model for en situation, hvor partiklerne starter i bunden af Odderup sandet. Partikelbanerne er tematiseret efter hydrostratigrafi. Man ser at den dynamiske indvinding fra Fabriksgrunden trækker dybt vand op, hvilket ikke ses i den stationære model. Desuden forekommer der en skiftet mellem om partiklerne er i Odderup Sand eller Arnum formationen. Denne skiftet skyldes den varierende grundvandsdannelse, der forplanter sig ned gennem magasinet, og grænsen for en opadrettet gradient mellem Odderup sand og Bastrup sand herved flyttes.

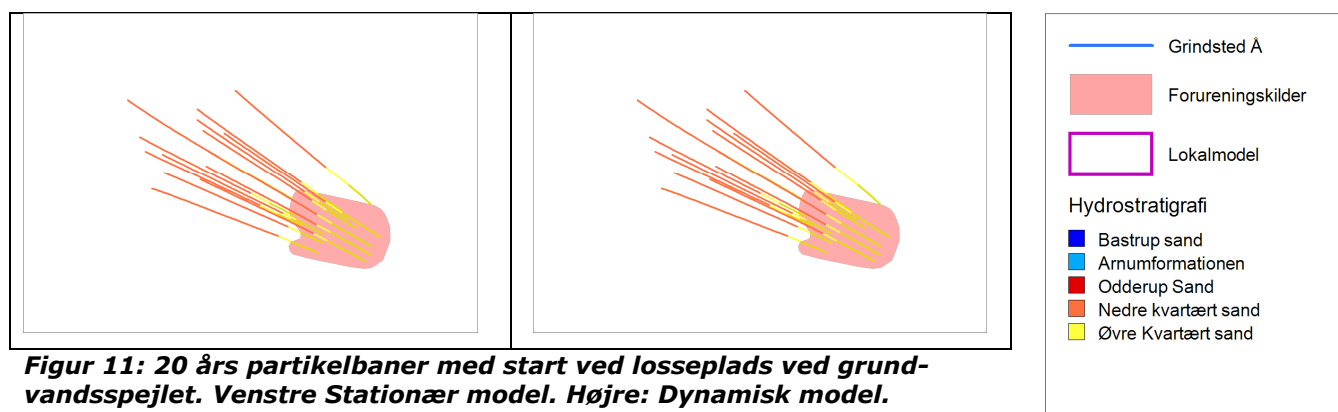
Figur 9 og Figur 10 viser tredimensionelle plots af partikelbanerne fra hhv den stationære- (Figur 9) og den dynamiske model (Figur 10) ved udlægning af partikler ved både vandspejl og bunden af Odderup sand. Figur 9 viser, hvorledes partiklerne følger en vej ud til vandløbet, enkelte partikler når ned i Arnum Formationen. Figur 10 viser hvordan indvindingen på fabriksgrunden trækker partikler (vand) til boringen.



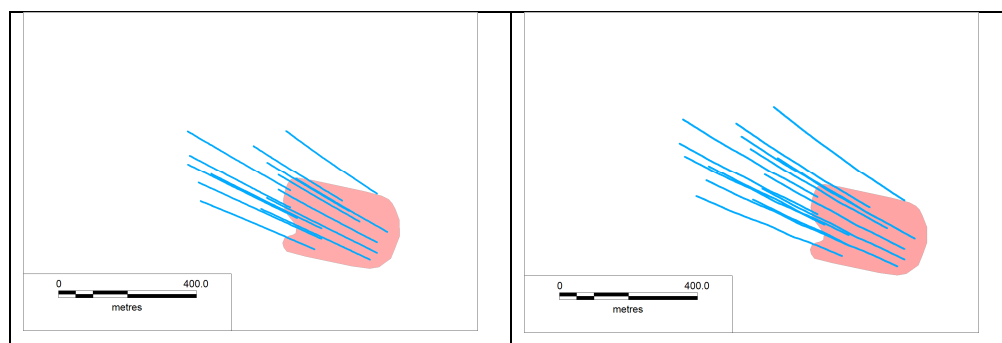
Figur 9: Skitse af partikelbaner fra fabriksgrunden, stationær model, set mod (syd)øst. Gul: Bund Kvartær. Rød: bund Odderup. Blå: Bund Arnum, Grøn: Bund Bastrup



Figur 10: Skitse af dynamiske partikelbaner fra fabriksgrunden set mod (nord)øst. Gul: Bund Kvartær. Rød: bund Odderup. Blå: Bund Arnum.



Figur 11: 20 års partikelbaner med start ved losseplads ved grundvandsspejlet. Venstre Stationær model. Højre: Dynamisk model.



Figur 12: 20 års partikelbaner med start ved losseplads i bunden af Odderup sand. Venstre Stationær model. Højre: Dynamisk model.

3.4 Scenarieberegninger af partikelbaner fra Losseplads

Figur 11 og Figur 12 viser partikelbaner fra lossepladsen for hhv. den stationære og den dynamiske model. Partikelbanerne er tematiseret efter hydrostratigrafi. Der ses at der her ikke er forskel på den stationære og den dynamiske model.

3.5 Partikelbaner på ekstremvandstande

I følgende afsnit foretages stationære partikelbaneberegninger på to ekstrem-situationer; september 1996 (stressperiode 352, laveste vandstand, Figur 13) og vinter 2006 (stressperiode 884, højeste vandstand, Figur 14). Forureningsfanen beregnes for partikler startende ved grundvandsspejlet. Bemærk at der udføres stationær partikelbaneberegninger på en dynamisk model, og strømningsfeltet herved ikke nødvendigvis er i fuld ligevægt, men at beregningerne kan benyttes til at vurdere forskelle i partikelbanerne på to forskellige situationer.

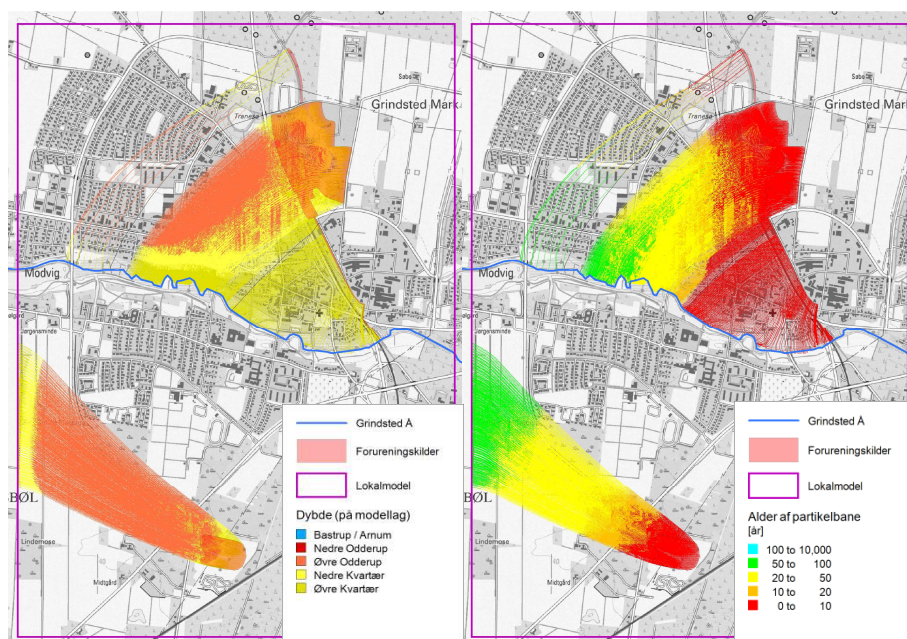
Ved den laveste vandstand ser man at partiklerne kun når ned i toppen af Odderup sandet, samt at transporttiden mod Grindsted Å er relativ lav. Dette skyldes at gradienten er relativ lav ved den lave vandstand, hvilket giver en mere horisontal strømningsretning. Lækage fra Bastrup sandet op til Odderup sandet er også vigtig, idet der kan være en træghed i trykudligning gennem Arnum formationen.

Omvendt ser man ved høj vandstand, at partikelbanerne når ned i stor dybde og at transporttiden fra forureningskilden til vandløb er meget høj.

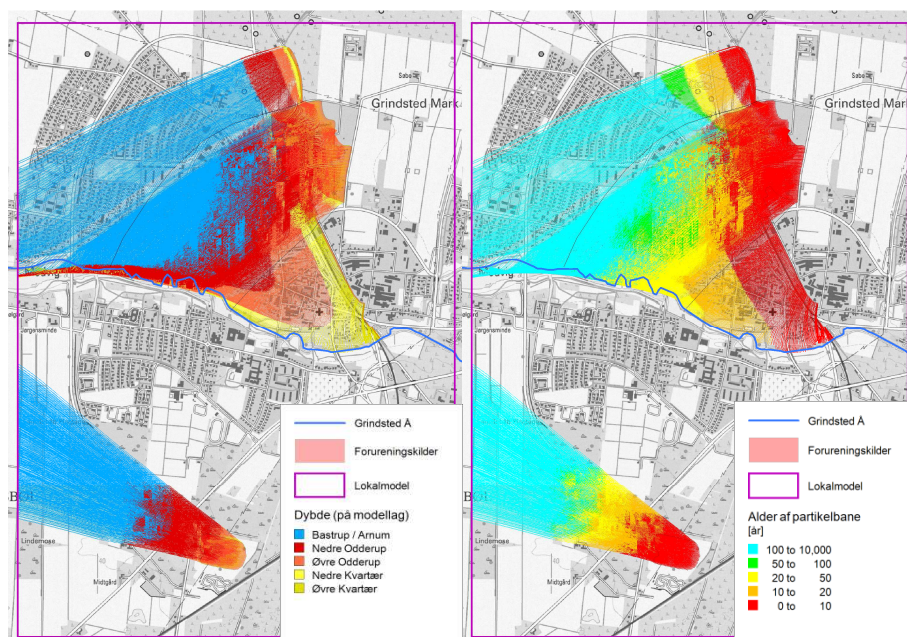
Strømningsretningen ser umiddelbart ud til at være mere vestlig i situationen med høj vandstand, Figur 14. Betragter man potentialelinjerne i højeste og laveste potentiale (figur 37 – 40 i del 1 rapporten), ser man kun små variationer i strømningsretningen. Forskelle i strømningsretningen i situationen med hhv. maksimal og minimal grundvandspotentiale falder med dybden. Dette betyder at høj grundvandsstand presser forurening længere ned i grundvandsmagasinet, hvorved en mere vestlig transportretning opnås. Varigheden af tilstanden er reelt begrænset til en relativ kort tid (vintersituation), men ikke i transportsimuleringen, der forudsætter stationaritet. Der er endvidere store ligheder med transporten for den laveste vandstand og den stationære modelløsning, hvilket må tolkes som at meget vand i grundvandsmagasinet betyder ændrede strømningsforhold, indtil drænene har ledet det overskydende vand væk.

Den opadrettede gradient i situationen med laveste vandstand resultater i at partikler i Odderup sand transporteres til det Kvartære sand. Når den lave vandstand opnås, er det primært lavt tryk i det Kvartære sand, mens trykniveauet

ikke falder så markant med dybden, og vil derfor være relativt højt i Odderup sand. Dette giver en forøget opadrettet strømning, som i den stationære model ikke udlignes med tiden. Så derfor vil opstigningen af partikler fra Odderup til det Kvartære sand ikke være så markant.



Figur 13: Stationære partikelbaner på laveste vandstand (sep. 1996). Venstre: Dybde, Højre: Transporttid.



Figur 14: Stationære partikelbaner på højeste vandstand (vinter 2006). Venstre: Dybde, Højre: Transporttid.

4 Diskussion

4.1.1 Modelforbedringer

Der er kun få af modellerne fra kalibreringsrunden med en mere nordlig strømningsretning ved Lossepladsen. For at få modellen til at give en mere nordlig strømningsretning, kan man se om modellen kan forbedres på nettonedbør eller den hydrostratigrafiske model.

- Nettonedbøren i denne model er beregnet som middel fra MIKE SHE Bilund modellen og er derved grov i forhold til lokalmodellens 10x10 m diskretisering.
- I den hydrostratigrafiske model eksisterer grænsen til det Kvartære moræner umiddelbart syd for lossepladsen. En kortlægning af dette lag kan bidrage med forøget viden om strømningen lokalt ved lossepladsen. Man kan forestille sig at der over laget foregår en større horisontal strømning, idet lerlaget har en begrænset permeabilitet.

4.1.2 Geofysik og heterogenitet.

Lokalmodellen er 40 lags voxel-model, hvilket betyder at modellen har en næsten konstant vertikal diskretisering. Hver modelcelle (Voxel) har fået tildelt et materiale svarende til den dominerende lithologi i cellerne. For at forøge detaljeringsgraden kan man overveje om man kan implementere den heterogenitet man ser i de geofysiske data. Dette kan betyde forøget strømning i nogle zoner og formindsket strømning i andre.

4.1.3 Partikelbaner på hhv. dynamik og stationær model

Der er kun minimal forskel på partikelbaner beregnet på den dynamiske og den stationære model. Usikkerheden på strømningsretningen grundet usikkerhed på parametrene er større end den usikkerhed man bidrager med ved at lave partikelbaner på den dynamiske model. Dette til trods for, at der er årsvariationer i strømningen i den dynamiske model.

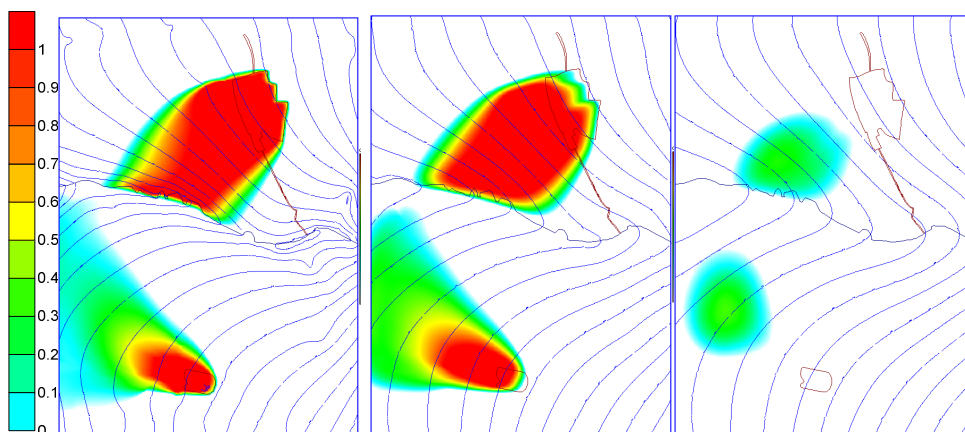
Foretages stationære partikelbaneberegninger på laveste og højeste vandstand fra den dynamiske model og sammenholdes disse med den stationære model, så er der stor lighed med partikelbanerne fra den model med lav vandstand, mens en høj vandstand presser forurening end i magasinet. Heraf følger at man om vinteren vil få en situation, hvor der er en stor nedadrettet strømning, mens sommertransporten er domineret af mere horisontale strømningsforhold.

5 Stoftransport

Stoftransport giver et mere detaljeret billede af en forureningsspredning end partikelbaner, idet beregningerne inkluderer spredning og henfald.

Figur 15 viser konservativ stoftransport på den stationære model i tre forskellige dybder, top Kvartært sand, bund Kvartært sand og bund Odderup sand. Stof er udlagt lige under grundvandsspejlet på hhv. fabriksgrund og losseplads med fastholdt koncentration. Herefter er der på den stationære strømningsmodel foretaget en konservativ beregning af koncentrationen efter 50 år. Der er ikke fundet forurening under Arnumformationen.

Den initiale koncentration er 1.0 og figuren viser herved den relative koncentration i forhold til den initiale koncentration som resultat af transport og diffusion.



Figur 15: Forureningsfane efter 50 år beregnet for konservativt stof udlagt fra grundvandsspejlet i tre forskellige dybder (lag 3, 10 og 30), svarende til nær terræn, bunden af Kvartært sand og bunden af Odderup sand.

Stoftransporten kan gøres mere detaljeret. Tabel 1 viser fire typiske stoffer fra grundvandsforureningen ved Grindsted. Hvert af disse stoffer har forskellig adsorptionskoefficient og halveringstid, og herved vil de fire stoffer have forskellig koncentrationsforløb i grundvandet. PCE nedbrydes endvidere til TCE. Der er ikke indtil videre udført stoftransport under anvendelse af disse stofparametre. Det anbefales at udføre sådanne egentlige stoftransportberegninger for (sammen med målinger) at undersøge om forureningsfanen eller dele heraf er stationær eller kan gøres stationær ved at dræne det øverste magasin (så hele året kommer til at ligne en sommersituation).

Tabel 1: Hovedkomponenter for stoftransport, adsorptionskoefficient(KOC) samt nedbrydning (T½) og opløselighed i vand. Delvis efter Petersen, 2012.

Stof	Adsorptionskoefficient, K _{OC}	Halveringstid, T½	Opløselighed (i vand ved 10 °C)
PCE	200	98 d (anaer.) 190 d (aer.) → TCE	275 mg/l
TCE	89	35 d – 6 yr	1310 mg/l
Benzene	59	103 d	1810 mg/l
Sulfanilamide	11	n.d. (slow)	5000 mg/l

6 Referencer

1. Mehl, S.W., and Hill, M.C., 2013, MODFLOW-LGR -- Documentation of ghost node local grid refinement (LGR2) for multiple areas and the boundary flow and head (BFH2) package: U.S. Geological Survey Techniques and Methods 6-A44, 43 p.
2. Petersen, M. F., 2012, "Quantification of and risk assesment of countinuous micropollutant mass discharge from multiple sources to a gaining stream at catchment scale", Master thesis, DTU Miljø
3. Grontmij, 2010, Grundvandsmodel for Grindsted By, Technical report, Region Syddanmark
4. 1994 Grundvandsovervågning ved Grindsted Products. Af Kruger
5. 1997 Grundvandsovervågning ved Grindsted Products. Af Kruger
6. Notat: Præcisering af anbefalinger i GeoVejledning 2 mht. afgrænsning af indvindings- og grundvandsdannende oplande. NST - Den 29. oktober, 2014