

Notat
**721 FSN Karup Ny Brandøvelsesplads og
udspredningsareal.
Risikovurdering af indvindingboring ved
campingplads (DGU 75.1271)**

9. marts 2023

Indhold

1	Baggrund	3
2	Model	3
2.1	Modeljusteringer	3
2.1.1	Lokalmodel	3
2.1.2	Digital Terrænmodel	4
2.1.3	Hydrostratigrafisk model	5
2.1.4	Gridforfinelse	5
2.1.5	Grundvandsdannelse	6
2.1.6	Porøsitet	8
3	Modelberegninger	9
3.1	Scenarieindvinding	9
3.2	Kildestyrke	9
3.3	Partikelbaneberegninger	10
4	Resultater	11
4.1	Oplandsberegninger for boring DGU nr. 75.1828 og 75.1271	11
4.1.1	Indvindingens betydning for oplandet	11
4.1.2	Transporttid til boring DGU 75.1271	12
4.1.3	Vurdering af indvinding til boring ved minigolfbane, DGU nr.75.1828 og camping 75.1271.	13
4.2	Spredning af forurening fra brandslukningsplads og udspretningsareal	16
4.3	Klimavurdering	22
4.3.1	Scenarie S1, nuværende indvindingstilladelse	22

4.3.2	Scenarie S4, - fire gange nuværende indvindingstilladelse	23
4.3.3	Forward-beregning af partikelbaner fra Ny Brandøvelsesplads og udspretningsareal	24
5	Diskussion og konklusioner	25
5.1	Vandindvindingsboring DGU nr. 75.1271	25
5.2	Vandindvindingsboring DGU nr. 75.1828	26
5.3	Kortlægning af forureningsfanen	26
5.4	Usikkerheder	26
5.5	Konklusioner	27
6	Referencer	27



1 Baggrund

I forbindelse med den konstaterede forurening med PFAS ved Ny brandøvelsesplads er der opstillet en lokal grundvandsmodel til risikovurdering af nærliggende vandforsyning samt videre kortlægning af vandpartiklernes strømningsvejene fra Ny brandøvelsesplads og tidligere udspredningsareal til Karup Å.

2 Model

Der tages udgangspunkt i eksisterende model for Kongenshus. Denne model klargøres til at kunne besvare ovenstående spørgsmål.

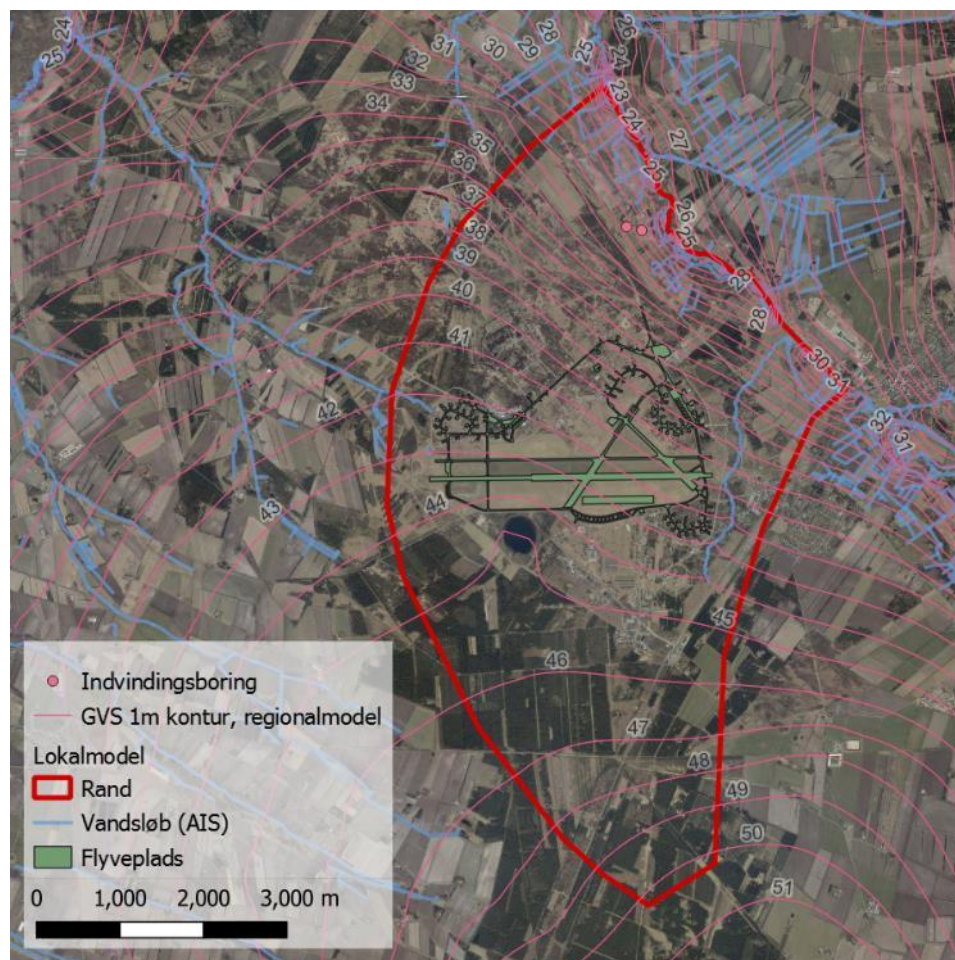
2.1 Modeljusteringer

2.1.1 Lokalmode

Initialt udarbejdes en lokal model, hvor der klippes i regionalmodellen. Lokalmode

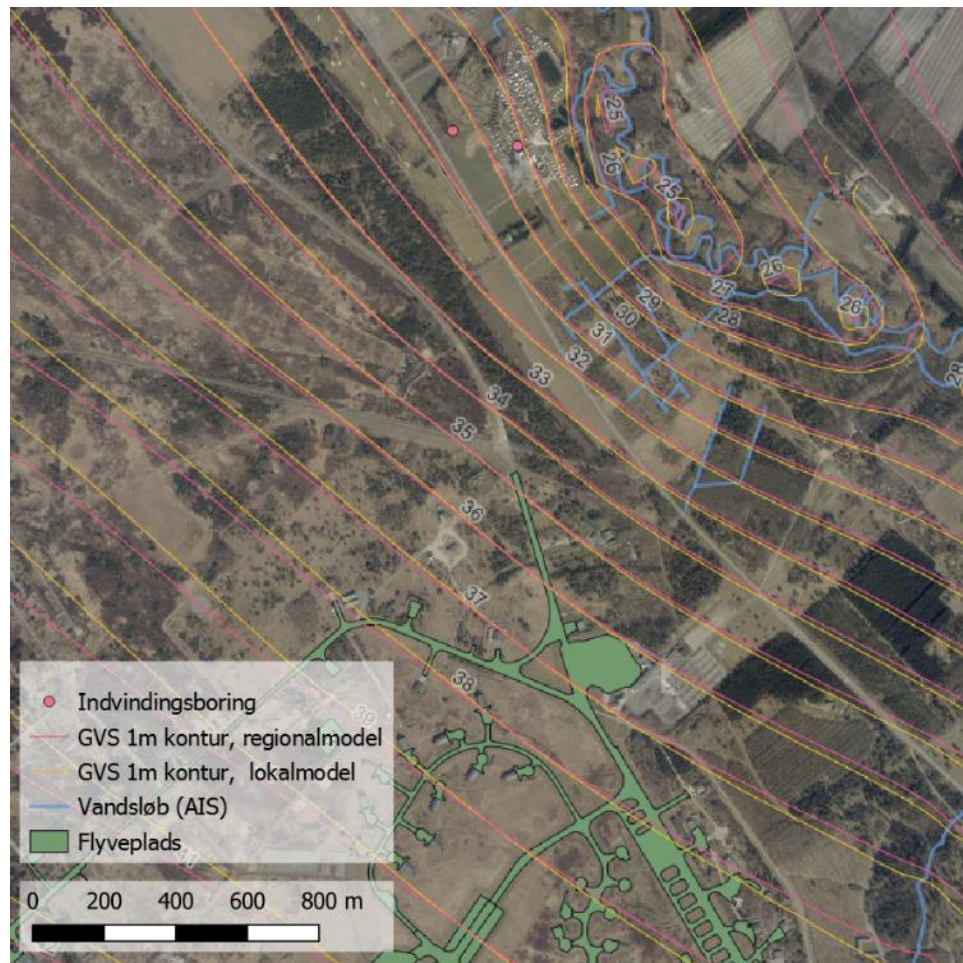
Lokalmode

Lokalmode



Figur 2.1: Lokalmode

Lokalmodellen opstilles initialt i 50 m grid og grundvandsspejlet beregnet fra de to modeller sammenlignes for at sikre at de benyttede randbetingelser i lokalmodellen giver samme strømningsbillede som i den regionale model. Figur 2.2 viser en sammenligning mellem de to modeller og det ses at grundvandsspejlet i de to modeller er nær identisk.



Figur 2.2: Sammenligning af grundvandsspejl (GVS) i lokalmodel og regionalmodel.

Det næste skridt i forfinelsen er at forøge detaljeringsgraden i den opstillede lokalmodel. Dette inkluderer bl.a. følgende:

- Lokal gridforfinelse omkring hotspot for forurening, vandløb, dræn og grøfter samt indvindingsboringer.
- Indlæggelse af digital terrænmodel i lokal gridskala.
- Indlæggelse af (seneste) opdaterede hydrostratigrafiske model med fokus på de terrænnære hydrostratigrafiske lag.
- Opdatering af grundvandsdannelse
- Vandspejl i grøfter og vandløb

2.1.2 Digital Terrænmodel

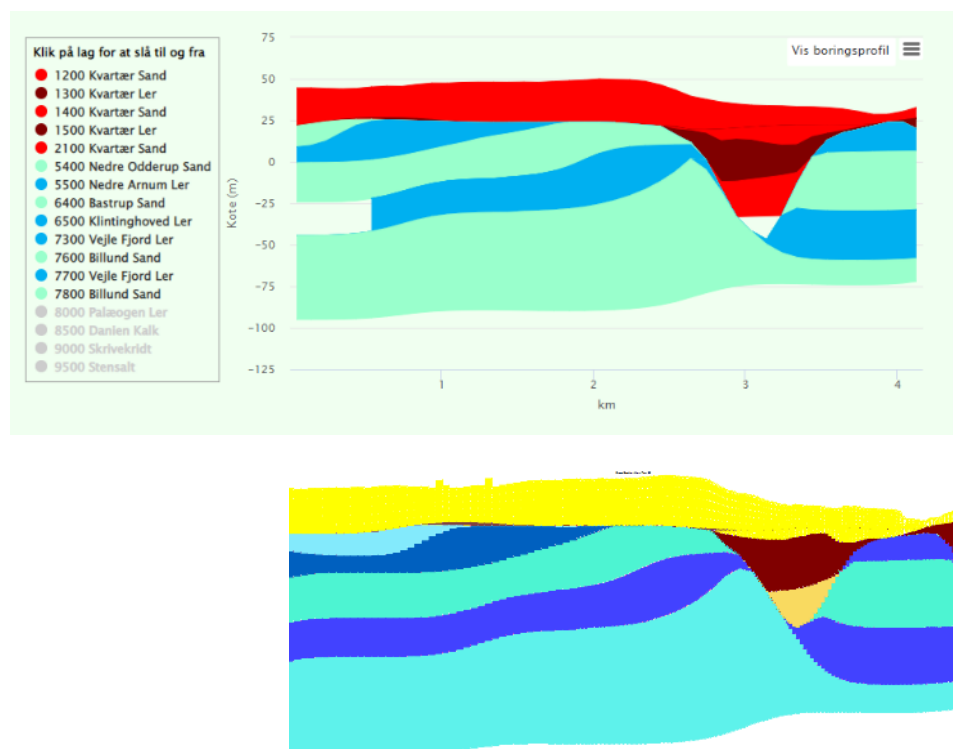
Der er indlagt en ny terrænmodel (DTM) for området. Seneste terrænmodel fra Dataforsyningen under styrelsen for dataforsyning og infrastruktur er hentet (0.4 m, /2/ og /3/). Denne er klippet sammen for modelgrid og resampled til 6.25 m, svarende til modelcellerne i interesseområdet.

2.1.3 Hydrostratigrafisk model

Seneste model fra FOHM er hentet fra GEUS, /4/ og /5/. I modellen benyttes de kvartære lag og de øverste palæogene lag (Odderup sand, Arnum gruppen og Bastrup sand).

Modellens horisontale opløsning er resampled til 6.25 m og indlagt i den numeriske model. Lagtykkelser under 0.5 m ekskluderes fra modelgriddet, dermed er de ikke-eksisterende i den numeriske model.

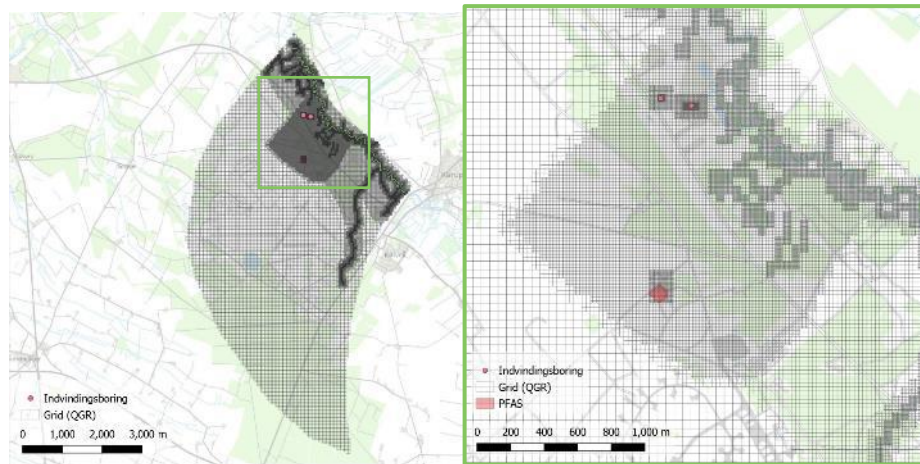
Figur 2.3 viser vest-øst profilsnit gennem brandøvelsespladsen med tilhørende hydrostratigrafiske lag.



Figur 2.3: FOHM model (øverst) og numerisk implementering af denne model (nederst) i et vest-øst snit gennem brandøvelsespladsen og med Karup ådal i den østligste del af profilet.

2.1.4 Gridforfinelse

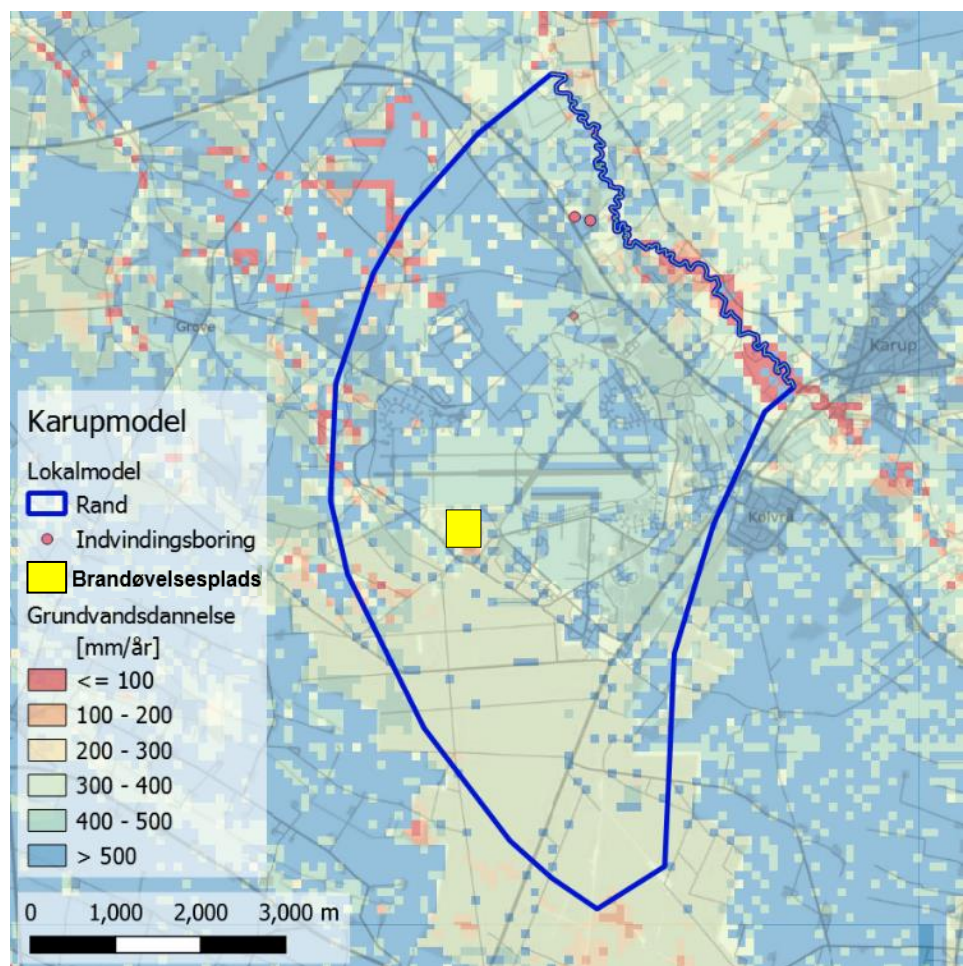
Lokalmodellen er i udgangspunktet opstillet i 50 m grid. Herefter er der foretaget en gridforfinelse med *Quad Grid Refinement* (QGR) teknikken. Gridforfinelsen er foretaget på forskellige niveauer. Omkring Ny brandøvelsesplads og udspretningsarealet er gridstørrelsen nede på 6.25 m. Ved Karup Å og markerede drængrøfter er gridstørrelsen 6.25 m og i fokusområdet er gridstørrelsen 12.5 m. Figur 2.4 viser gridstørrelse for hele modellen samt detaljer omkring brandøvelsesplads, Karup Å og indvindingsboringer.



Figur 2.4: Modelgrid og detaljer omkring brandøvelsesplads og indvindingsboringer.

2.1.5 Grundvandsdannelse

Grundvandsdannelse (Recharge) er opdateret med seneste data fra HIP (Hydrologisk Informations- og prognosesystem, /6/). Her findes klimadata, inkl. grundvandsdannelse fra GEUS' DK model fra perioden 1995 – 2018.



Kalibrering af model

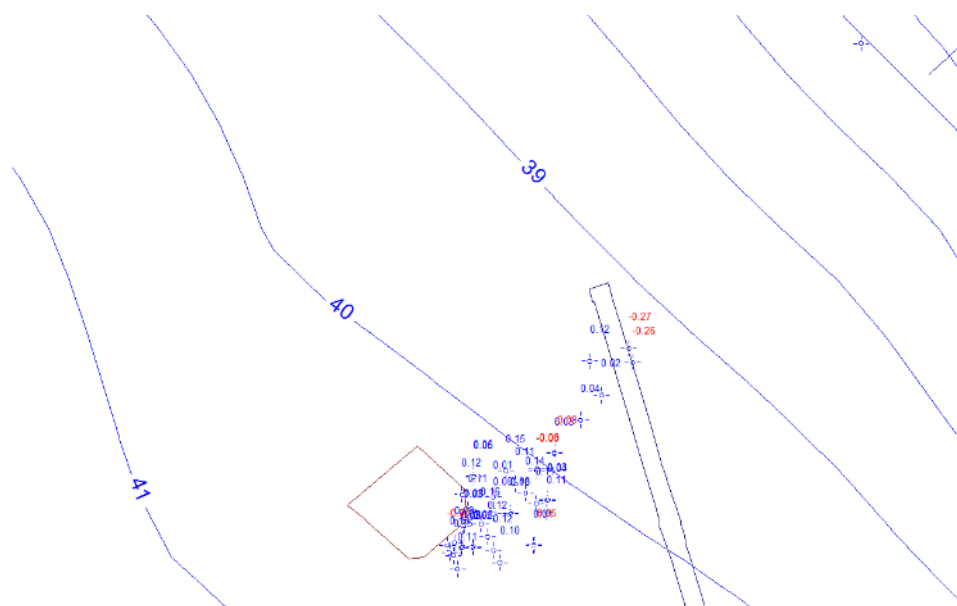
De fleste parameterværdier er baseret på regionalmodellen. Den lokale gridforfinelse, horisontalt såvel som vertikalt, betyder, at der numerisk kan være lidt forskel på potentialelinjerne, og her er den horisontale hydrauliske ledningsevne i det øvre kvartære sandlag og den vertikale hydrauliske ledningsevne i det øverste sandlag justeret, således at det modelberegne hydrauliske trykniveau passer på det observerede.

Justeringen er relativt lille. Lækagen til den nedre del af det øvre sandmagasin er forøget, og heraf er den horisontale hydrauliske ledningsevne i den nedre del af øverste sandlag også forøget. Specielt den vertikale hydrauliske ledningsevne KZ3 er usikker. Laget er påvist, specielt i borer øst for Karup Å - og tynder ud, og lagets eksistens og hydrauliske parametre er vigtige for den regionale dræning til Karup Å.

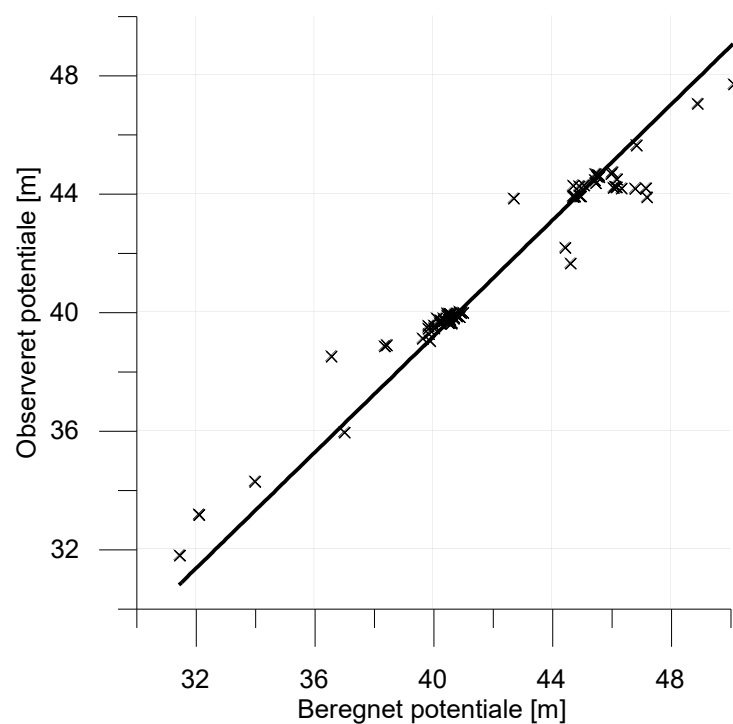
Parameter	Regionalmodel	Karupmodel
KX2	$5.30 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	$6.30 \times 10^{-5} \text{ m/s}$
KZ3	$1.41 \times 10^{-8} \text{ m/s}$	$1.41 \times 10^{-7} \text{ m/s}$
KX4	$1.01 \times 10^{-5} \text{ m/s}$	$1.01 \times 10^{-4} \text{ m/s}$

Under indledende beregninger på partikelbanerne er der lavet nogle sensitivitetsanalyser på KZ3 og efterfølgende partikelbaneberegninger fra indvindingsboringerne, og resultatet er, at der ikke er markante forskelle på oplandene, og derved ændres konklusionerne ikke.

Figur 2.5 viser residualer (fejl ift. modelberegnet) i observationsboringer i pejlinger foretaget nær brandøvelsespladsen. Her ser man, at langt de fleste residualer er inden for 10 cm, mens nogle enkelte har større residual. Grundvandets gradient er ca. 1,5 m over en afstand på ca. 400 m. På baggrund heraf ses, at modellen har en korrekt gradient på vandspejlet. Nedstrøms Ny brandøvelsesplads findes boring DGU nr. 75.1187. I denne boring er grundvandsspejlet målt til 36.15 m og modellen beregner et grundvandsspejl på 36.0, (boringen ses på Figur 2.5 øverst til højre). Figur 2.6 viser en sammenligning af beregnet potentiale sammenholdt med en midelværdi af observeret potentiale. Sammenligningen viser en god overensstemmelse mellem model og observationer. Pejlingerne ved Ny brøndøvelsesplads er den klynge af observationer omkring de 40 m, hvoraf det konkluderes at modellen bibeholder en god tilnærmelse ud over de 400 m, som Figur 2.5 viser.



Figur 2.5: Residualer [m] på pejleobservationer i grundvandet fra monitoringsboringer. Blå residualer angiver, at modelberegningen er underestimeret, mens røde viser pejlepunkter, hvor der er beregnet for høj vandstand.



Figur 2.6: Sammenligning af observeret og beregnet potentiale.

2.1.6 Porøsitet

Modellen benytter en porøsitet på 30 % for de kvartære jordarter. Porøsiteten har stor betydning for transporttiderne beregnet i dette notat. Man kan forvente en porøsitet mellem 15 % og 40 %, og der er her valgt en typisk litteraturværdi.

Transporttiden skalerer lineært med porøsiteten, således at hvis porøsiteten kun er 20 %, så er transporttiden 2/3 af den angivne på figurerne.

3 Modelberegninger

3.1 Scenarieindvinding

Tabel 3.1 viser de opstillede modelscenarier. Der er udarbejdet 5 modelscenarier, hvor den første er en reference uden indvinding, og herefter forøges indvindingen gradvist. Modelscenarie KS3 benytter tre gange den tilladte indvinding, og denne vurderes erfaringsmæssigt at svarer til belastningen ved en sommerindvinding (hvilket formodes at være tilfældet på en campingplads).

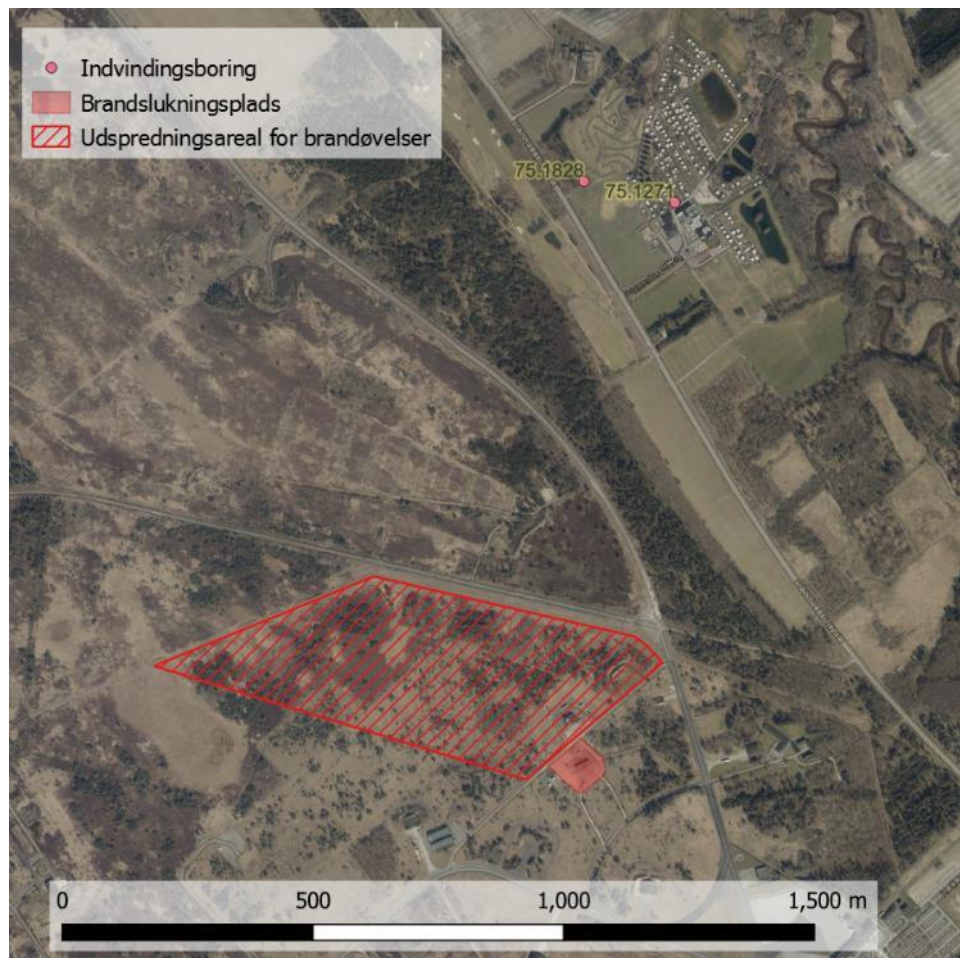
Tabel 3.1: Scenarieberegninger med varierende indvinding ved campingarealet

Scenarie	Indvinding, DGU nr. 75.1828	Indvinding, DGU nr. 75.1271
KS0 – Ingen indvinding	0	0
KS1 – Tilladt indvinding	7.000 m ³ /år	6.000 m ³ /år
KS2 – 2x tilladt indvinding	14.000 m ³ /år	12.000 m ³ /år
KS3 – 3x tilladt indvinding	21.000 m ³ /år	18.000 m ³ /år
KS4 – 4x tilladt indvinding	28.000 m ³ /år	24.000 m ³ /år

3.2 Kildestyrke

I forbindelse med modelberegningerne opereres med to arealer. Brandøvelsespladsen og udspretningsarealet for slukningsvand opsamlet i forbindelse med brandøvelser. Brandslukningspladsen defineres som det areal, der er direkte påvirket af brandøvelser. En stor del af arealet er befæstet. Her har man observeret en maksimal PFAS-koncentration på omkring 18 ug/l, mens den gennemsnitlige PFAS-koncentration i to nærliggende boringer målt over 6 år, er ca. 5 ug/l. Den maksimale koncentration fra udspretningsarealet er 0,9 ug/l – lokaliseret i den østlige del af arealet nær brandøvelsespladsen, mens der ikke er målt et indhold i den vestlige del af arealet.

For det fortsatte arbejde er der valgt en ensartet koncentration på 10 ug/l og 0,5 ug/l for hhv. brandslukningsplads og udspretningsarealet. Figur 3.1 viser en oversigt over kildeområderne i de efterfølgende beregninger.



Figur 3.1: Oversigt over brandøvelsespladsplads og areal for udspredning af brandslukningsvand efter brandøvelser.

3.3 Partikelbaneberegninger

En del af beregningerne er udført vja partikelbaneberegninger. Et antal partikler udlægges i et kildeområde og man beregner herefter partiklernes vej gennem jorden langs vandets strømning. Dette kaldes en *forward* beregning. Udlægningen af partiklerne kan være ved en forureningskilde eller ved grundvandsspejlet, og ofte følges transportvejen til man møder vandløb eller dræn. Under beregningen får man information omkring transporttid, samt placering i tre dimensioner af partiklen til et givet tidspunkt.

Man kan også lave en beregning modsat strømningsretningen (en såkaldt *backwards tracking*). Dette gøres eksempelvis ved en indvindingsboring, hvor man følger strømmingen af vand til boringen til man når grundvandsspejlet. Partikelbaneberegningerne medtager ikke strømning i den umættede zone. Man antager her ofte at strømmingen i den umættede zone er vertikal og momental. Ved *backwards* partikelbaneberegning kan man lokalisere oprindelsesstedet.

I dette dokument foretages både *forward* og *backwards* partikelbaneberegning. I forhold til stoftransport så er det sværere at kvantificere koncentrationer, ligeledes er partikelbaneberegninger uden hensyntagen til kemiske reaktioner og henfald. Beregningerne medtager heller ikke diffusion og dispersion.

4 Resultater

4.1 Oplandsberegninger for boring DGU nr. 75.1828 og 75.1271

Ved hjælp af partikelbaneberegninger beregnes indvindingsopland og grundvandsdannende område for de respektive scenarier. I modelcellerne ved filterindtagene for de to borer udlægges 3600 partikler. Partiklernes vej mod grundvandsstrømmen beregnes nu indtil grundvandsspejlet mødes. Afsnit 3.3 beskriver kort partikelbaneberegninger.

4.1.1 Indvindings betydning for oplandet

Figur 4.1 - Figur 4.4 viser oplandet for de fire indvindingsscenarier. For scenarie S1 og S2 når oplandet ikke udspretningsarealet. Ved scenarie S3 og S4 sker der et hydrologisk skift. Man ser, at en del af partikelbanerne tager en mere sydlig retning, og at der herefter opstår en fane i vestlig retning. Det som sker er et resultat er den tredimensionelle strømning ned mod Karup Å, hvor de dybere strømmende partikler har en mere sydlig retning (og følger en mere regional strømning). Årsagen til de forskellige strømningensretninger skyldes tilstedeværelsen af et lerlag, som adskiller det øverste smeltevandssand med et dybereliggende Kvartært sandlag. Man må påregne, at der er nogen usikkerhed omkring både lerlagets mægtighed og permeabilitet. I modellen ligger lerlaget i kote +5 - 10 m.



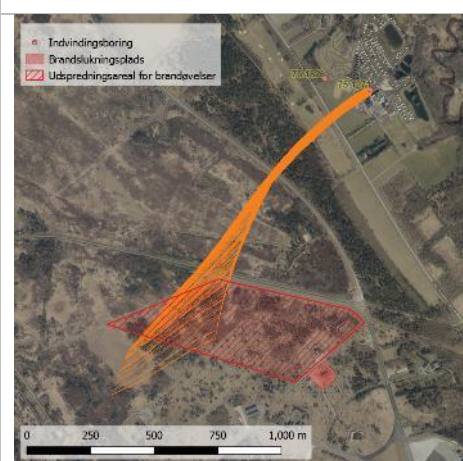
Figur 4.1: Partikelbaner fra de fire indvindingsscenarier S1



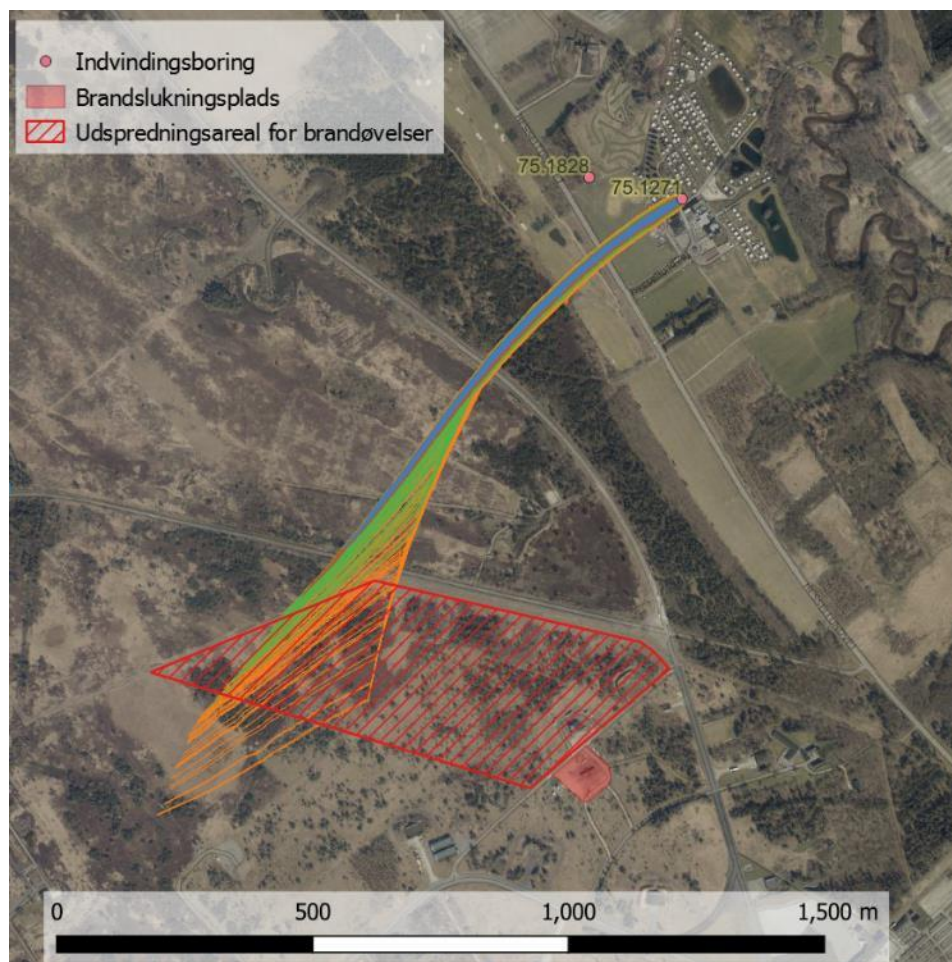
Figur 4.2: Partikelbaner fra de fire indvindingsscenarier S2



Figur 4.3: Partikelbaner fra de fire indvindingsscenarier S3



Figur 4.4: Partikelbaner fra de fire indvindingsscenarier S4

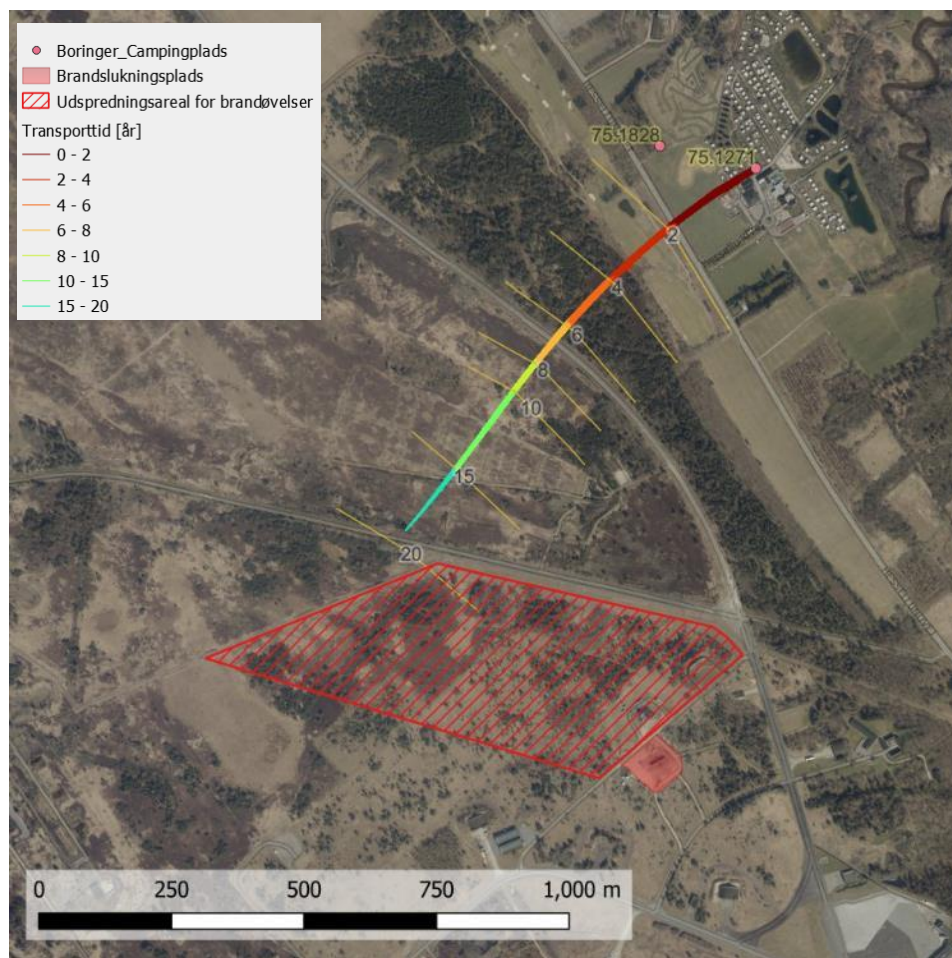


Figur 4.5: Partikelbaner fra de fire indvindings-scenarier (S1 – S4) tematiseret med farve efter scenariet. Ved en indvinding på 3x tilladelse eller mere, begynder indvindingen at trække vand fra en mere sydlig retning, og der er partikler, hvis oprindelse stammer fra grundvandsspejlet under udspretningsarealet.

En optælling af partikler for scenarie 3 og 4 inden for udspretningsarealet viser, at hhv. 30 og 50 partikelbaner ud af 3.600 har oprindelse inden for polygonet, som afgrænser arealet. Dette svarer til hhv. 0.8 og 1.4 % af det samlede antal partikler til indvindingsboringen.

4.1.2 Transporttid til boring DGU 75.1271

Tematisering af endepunktpartiklerne efter alder angiver transporttid fra de grundvandsdannende områder til indvindingsboringen. Figur 4.6 viser denne tematisering. Her ser man, at det tager ca. 20 år for grundvandet at strømme fra kanten af udspretningsarealet til indvindingsboringen.

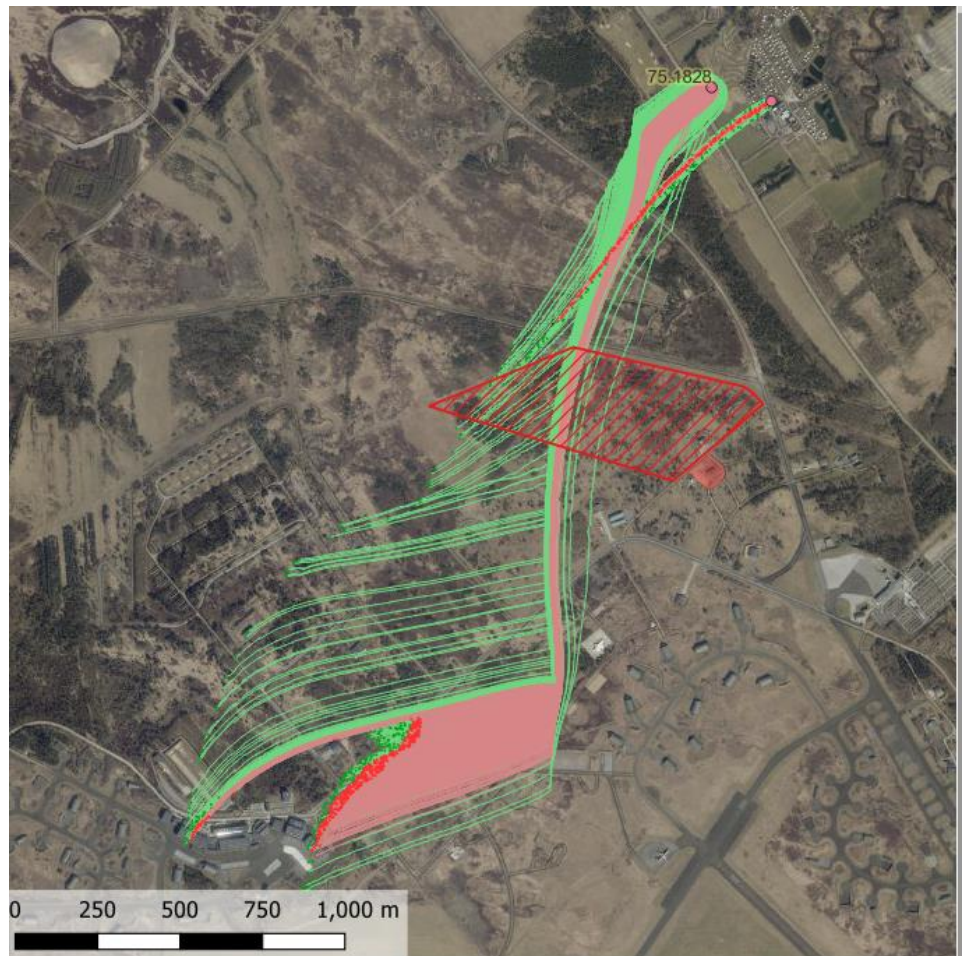


Figur 4.6: Transporttid [år] for partikler til boring DGU nr. 75.1271.

4.1.3 Vurdering af indvinding til boring ved minigolfbane, DGU nr.75.1828 og camping 75.1271.

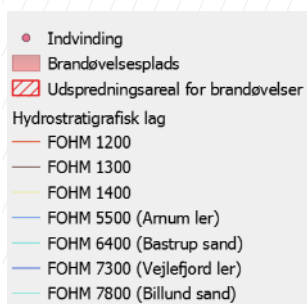
Figur 4.7 viser partikelbaner fra de to indvindingsboringer for S1-scenariet (tilladt indvinding) og S4 (4x tilladt indvinding). Man ser, at indvindingsoplandet fra indvindingen ved golfbanen ligger anderledes, og at disse krydser hinanden. Dette skyldes antageligt, at strømmingen til indvindingsboringen foregår dybere i sandmagasinet og herved ikke er i kontakt med den mere terrænnære forurening. Og at strømmingen her er mere styret af den regionale strømning. Når partiklerne når op i den øverste del af grundvandsmagasinet, slår partikelbanerne et knæk og opnår en øst-vestlig strømningsretning.

Der er ingen partikler til campingboringen (75.1271) med oprindelse i områder for Ny Brandøvelsesplads og udspretningsarealet i scenarie S1 og S2, mens der i scenariet S3 og S4 ses få partikler. Partiklerne som når campingboringen har en oprindelse i den vestlige del af udspretningsarealet.

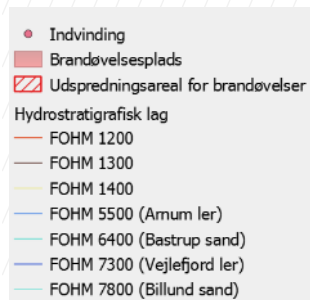


Figur 4.7: Partikelbaner tilknyttet boring DGU nr. 75.1828 (golfbane) og 75.1271 (camping) for scenario 1 (rød) og scenario 4 (grøn).

Figur 4.8 og Figur 4.9 viser partikelbanerne fra de to scenarier (S1 og S4) tematiseret efter hydrostratigrafisk lag. Med rød vises det terrænnære magasin, med gul ses partikelbaner i den begravede dal bestående af kvartær sand. De grønne farver er prækvartært sand. Siden lerlagene kun bidrager med vertikal strømning, ses de ikke i tematiseringen. Man ser, at partikelbanerne – med undtagelse af få partikelbaner i S4 - under udspretningsarealet foregår i det prækvartære sandlag.



Figur 4.8: Partikelbaner fra begge indvindingsboringer tematiseret efter strømning i hydrostratigrafisk lag for indvindingsscenario S1



Figur 4.9: Partikelbaner fra begge indvindingsboringer tematiseret efter strømning i hydrostratigrafisk lag for indvindingsscenario S4.

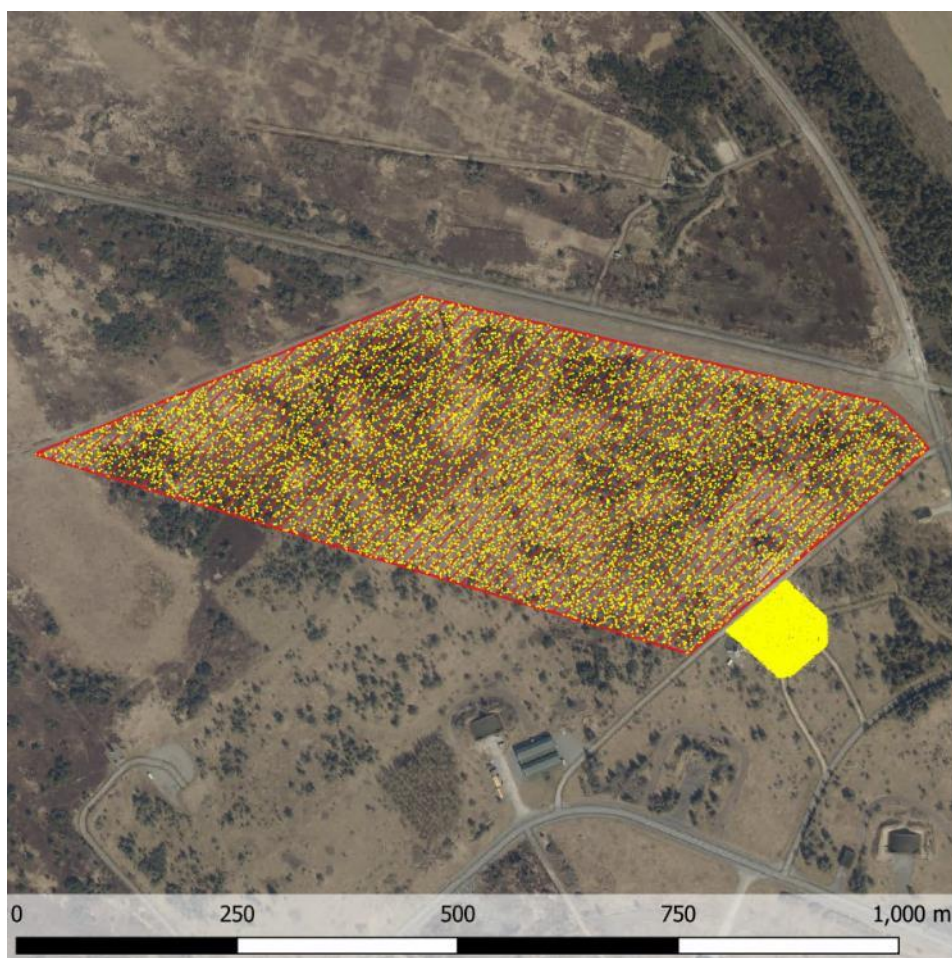
4.2 Spredning af forurening fra brandslukningsplads og udspretningsareal

Ved hjælp af partikelbaneberegninger foretages en vurdering af forureningsfanens udbredelse, herunder top og bund til alder og styrke.

Beregningen foretages med forward partikler, hvor der udlægges partikler på grundvandsspejlet. Transport i den umættede zone ignoreres).

Partikeltætheden (antallet af partikler i en modelcelle) i beregningen er udregnet på baggrund af nettonedbøren, som er ca. 470 mm/år samt estimat for kildestyrken og skaleret med hvad der er praktisk rent numerisk. Dette betyder, at der samlet er 18153 partikler, hvoraf 10836 partikler er placeret på brandøvelsespladsen. Dette svarer til én partikel / kvadratmeter på brandøvelsespladsen og én partikel pr. 20 kvadratmeter i udspretningsarealet.

Figur 4.10 viser startpositionen af de enkelte partikler. Disse er fordelt tilfældigt på toppen af grundvandsspejlet. Herefter er der foretaget en forward beregning.

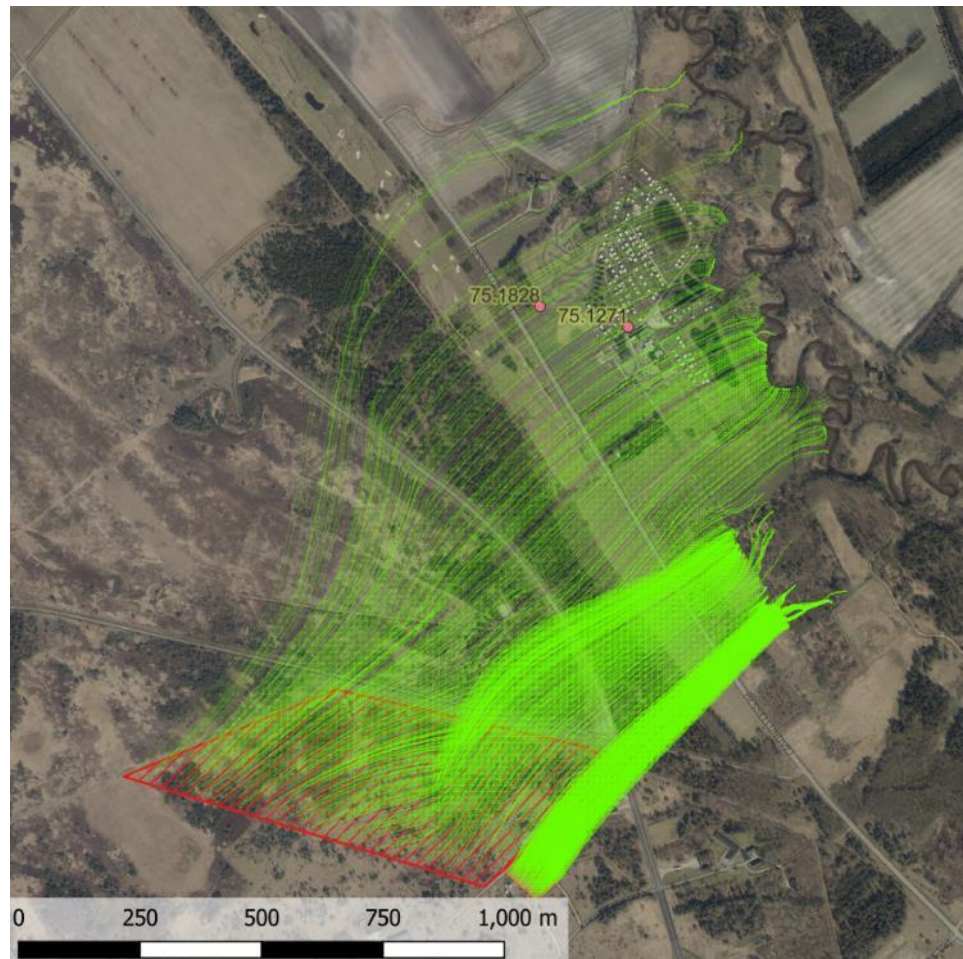


Figur 4.10: Partikelstartplacering. Tætheden af partikler i brandslukningsarealet er 20 gange større end for udspretningsarealet.

Figur 4.11 viser partikelbaner fra de to arealer og transportvejen mod Karup Å. Stor tæthed i partikler ses som kraftig grøn farve, og indikerer indirekte høj koncentration (ved en *steady state* situation). I modellen når partikelbaner fra brandøvelsespladsen ikke Karup Å, men rammer drænene inden. Her bør man kunne genfinde PFAS i vandanalyser. Da der er målt PFAS i grundvandet i borer mellem dræn og Karup å samt i brinken af åen, så kan dette skyldes

forskellige årsagen. Det kan være at noget af drænvandet reinfiltrerer til grundvandet og herefter strømmer mod åen. Der kan også være mere komplekse hydrogeologiske forhold, som bevirker at noget af grundvandet der indeholder PFAS ikke når drænene men afstrømmer direkte til Karup å.

Af Figur 4.11 ses desuden, at der ifølge grundvandsmodellen sker udledning af alle partiklerne til Karup å – enten direkte eller via dræn. Ifølge modellen sker der således ikke grundvandsbåren spredningen af PFAS-forureningen til området øst for Karup Å. Hvilket er i god tråd med, at der i henhold til symmetribetragtninger af Karup Ådal kommer en næsten tilsvarende vandvolumen fra den østlige side af Karup Å der også skal ud i Karup Å.



Figur 4.11: Partikelbaner fra de to arealer

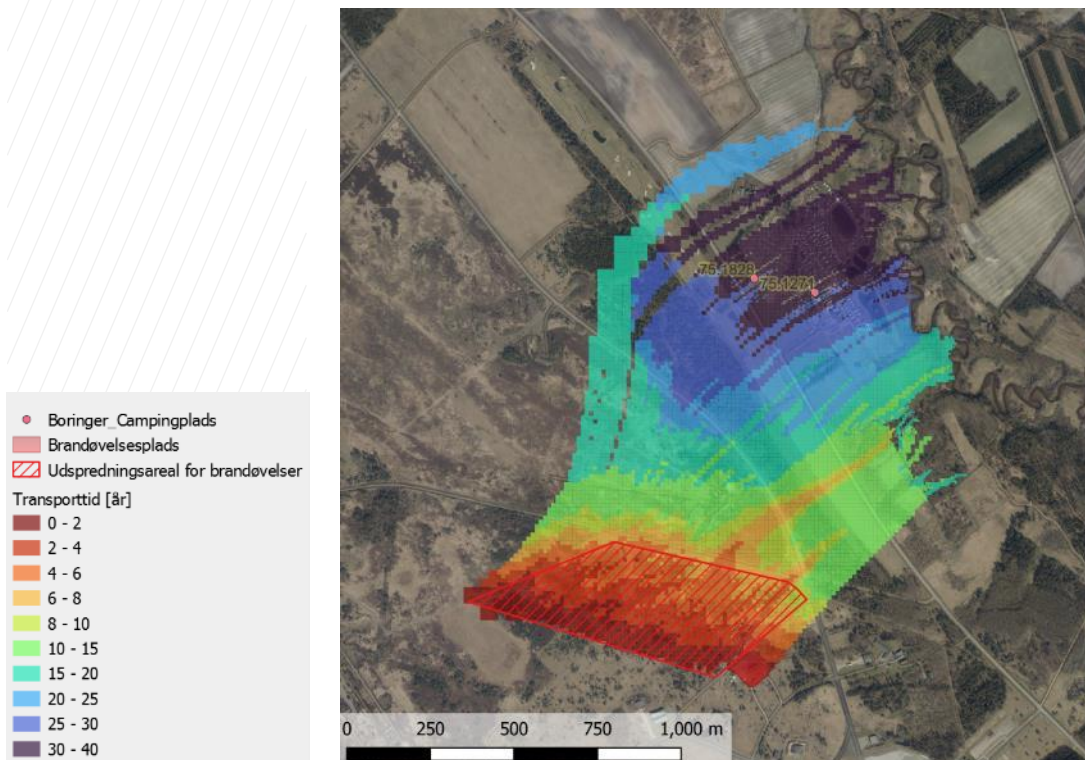
Figur 4.12 viser transporttid fra partikler ved kildeområderne til de når overfladisk afstrømning, enten som dræn eller vandløb. Alderen er vist som middelværdien af alle partikelbaner inden for en enkelt modelcelle, og tager derved ikke højde for, at dybtliggende partikelbaner har en højere alder end de mere terrænnære partikelbaner.

Man ser på figurens forskellige elementer. I den østlige del af partikelbanerne ses nogle områder med en lav alder, og to tunger med aldre ned til ca. 8 år når drænområdet. Dette skyldes nogle lokale strømningsforhold, hvor strømning her foretrækkes, antageligt fordi der her er en lidt større transmissivitet.

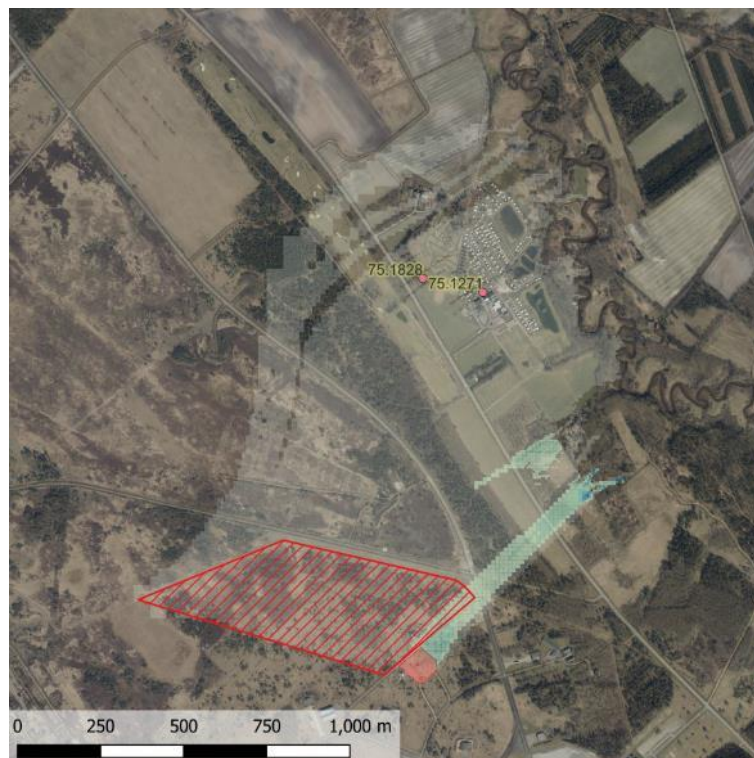
Transporttiden for det kildeområde er beregnet til ca. 10 år indtil drænsystemet sydvest for Karup Å mødes. Der er et område omkring indvindingsboringerne, hvor transporttiden overstiger 30 år. Dette skyldes lav transporthastighed i de lerlag, som man har tolket her. Nord for dette område er dette lerlag negligerbart og transporttiden falder.

Figur 4.13 viser antallet af partikelbanesegmenter pr. m² og viser herved områder, hvor høj tæthed afspejler områder med teoretisk høj fluks. Modsat stoftransport kan partikelbaner konvergere (og indikerer herved områder med høj fluks).

Man ser, at der fra brandøvelsespladsen er en markant fane. Der er desuden et konvergensområde fra udspretningsarealet umiddelbart nord herfor. Dette område skyldes høj grundvandhastighed.



Figur 4.12: Middel transporttid fra grundvandsspejl

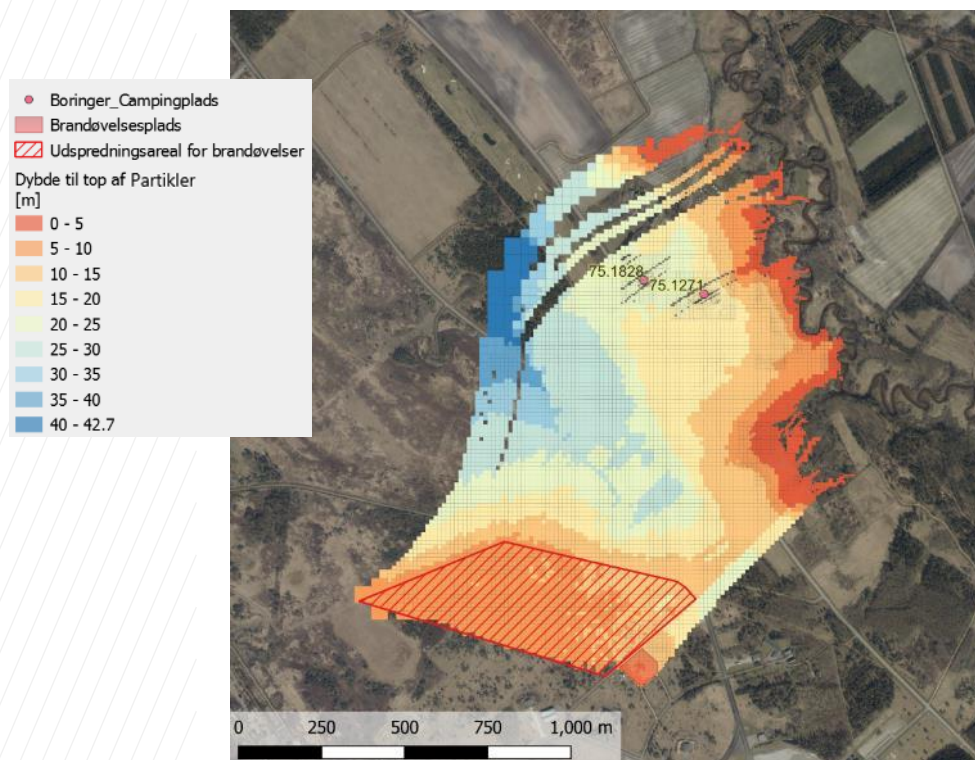


Figur 4.13: Antal partikelbanesegmenter pr. kvadratmeter. Tætheden giver et præg om, hvor man kan forvente en høj koncentration.

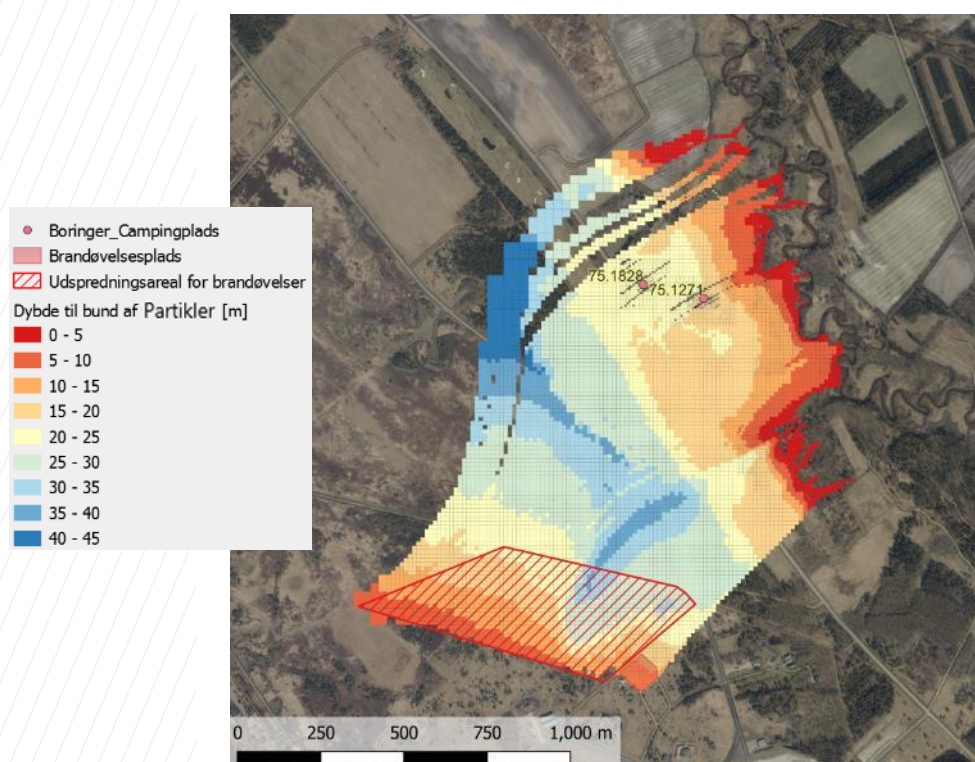
Figur 4.14 viser dybden til *toppen* af en teoretisk forureningsfane. Den er beregnet som højdemodellen fratrasket koten af den øverste partikelbane i en given modelcelle, og tematiseringen viser herved hvor dybt man skal ned, før man kan forvente forurening.

Figur 4.15 viser dybden til *bunden* af en teoretisk forureningsfane. Beregningen er udført ved at fratrække koten af den dybeste partikelbane med højdemodellen.

Partikelbanerne der ligger til grund for figur 4.14 og 4.15 er begrænset til strømmingen og inkludere ikke dispersion der vil give en øget spredning af partiklerne og dermed en teoretisk øget forureningsspredning. Derudover vil makrotransport, heterogeniteter og årsvariationen i infiltrationen samlet set også bidrage til en større opblanding af forureningen. Der må således forventes en større vertikal partikelspredning end det fremgår af figur 4.14 og 4.15.



Figur 4.14: Dybde til toppen af partikler.

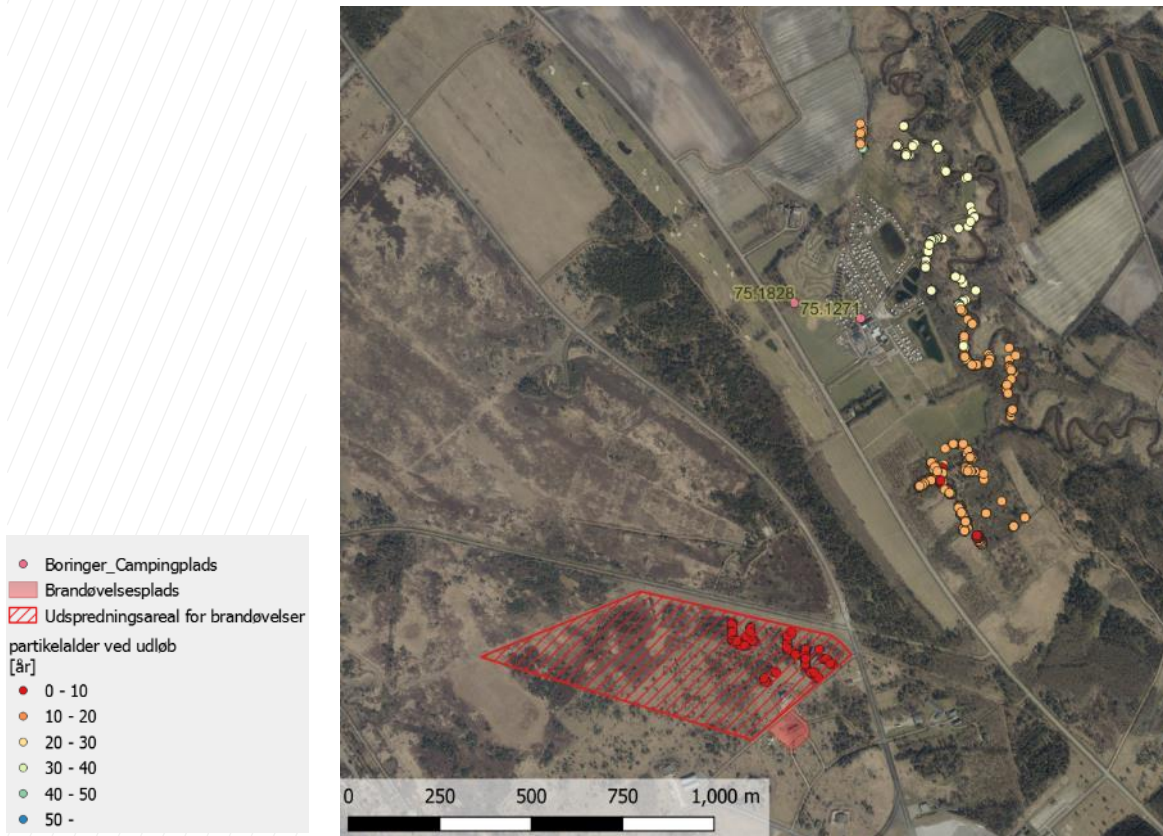


Figur 4.15: Dybde til bunden af partikler

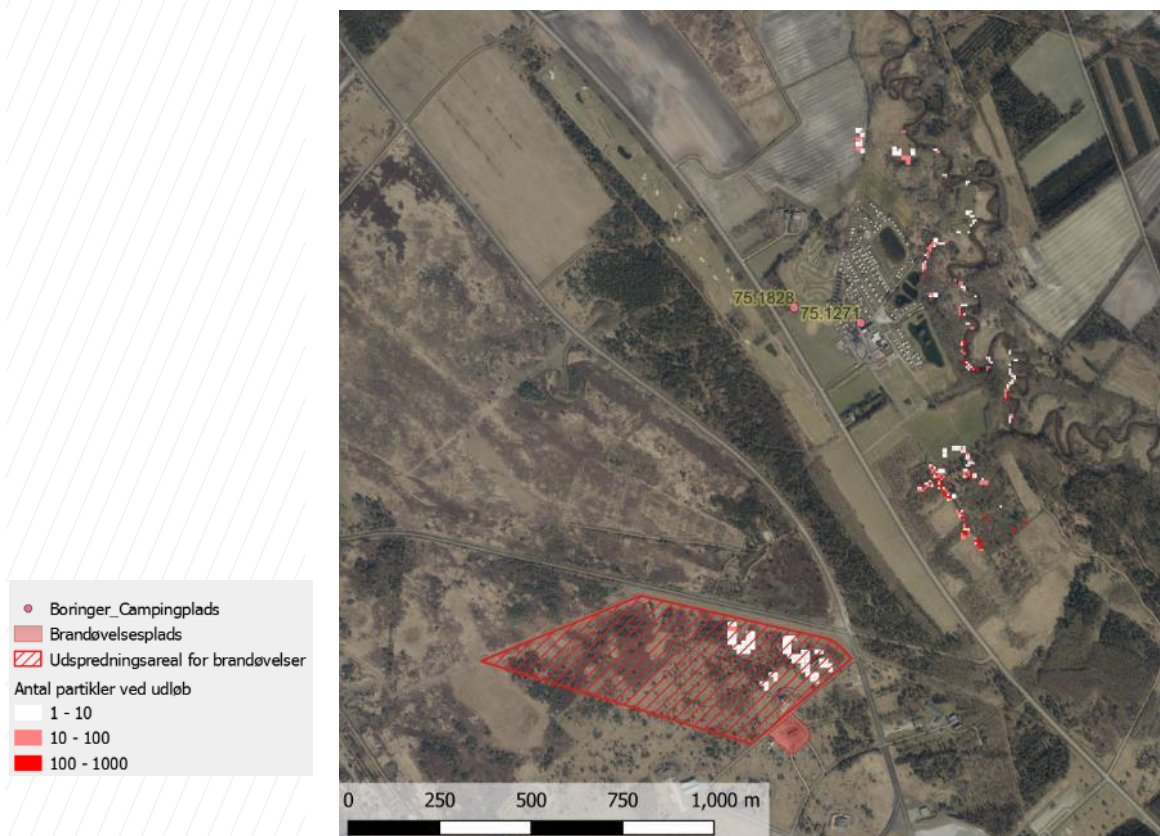
Figur 4.16 viser en analyse af endepunkterne for partikelbanerne fra brandøvelsesplads og udspretningsareal. Her fremtræder partikelaldrene eksakt, og man ser, at der i det sydlige område er en klynge partikler med en alder på omkring de 20 år.

På figuren ses, at der i den nordøstlige del af udspretningsarealet er nogle partikler med en kort levetid. Disse partikler ($< 1\%$) møder drænkoten og tages ud af modellen.

Figur 4.17 viser en optælling af antallet af partikler i celler ved de enkelte udstrømningssteder. Med rød farve ses, at der er få celler med stor udstrømning, der er hydrologisk styret. Det drejer sig om drænsystemet i den sydlige del af udstrømningsområdet på den anden side af landevejen, samt Karup Å-systemet øst for Campingarealet.



Figur 4.16: Alder ved udløb til vandløb og dræn.



Figur 4.17: Optælling af partikler i modelceller indikerer tætheden af partikler (og herved indirekte masse / år) ved udløb til dræn og vandløb.

4.3 Klimavurdering

Der er foretaget en vurdering af effekten af et fremtidigt klima, hvor man bl.a. forventer en forøget nedbør. Lidt afhængigt af forskellige klimascenarier opnås forskellige nedbørsscenarier, men i en stationær model benyttes ofte, at nettonedbøren stiger med ca. 15 % i år 2100 /7/. I scenarierne med fremtidigt klima er nettonedbøren forøget med 15 %. Beregningerne er foretaget på nuværende tilladelse (S1) og på scenariet med 4 gange tilladelsen (S4).

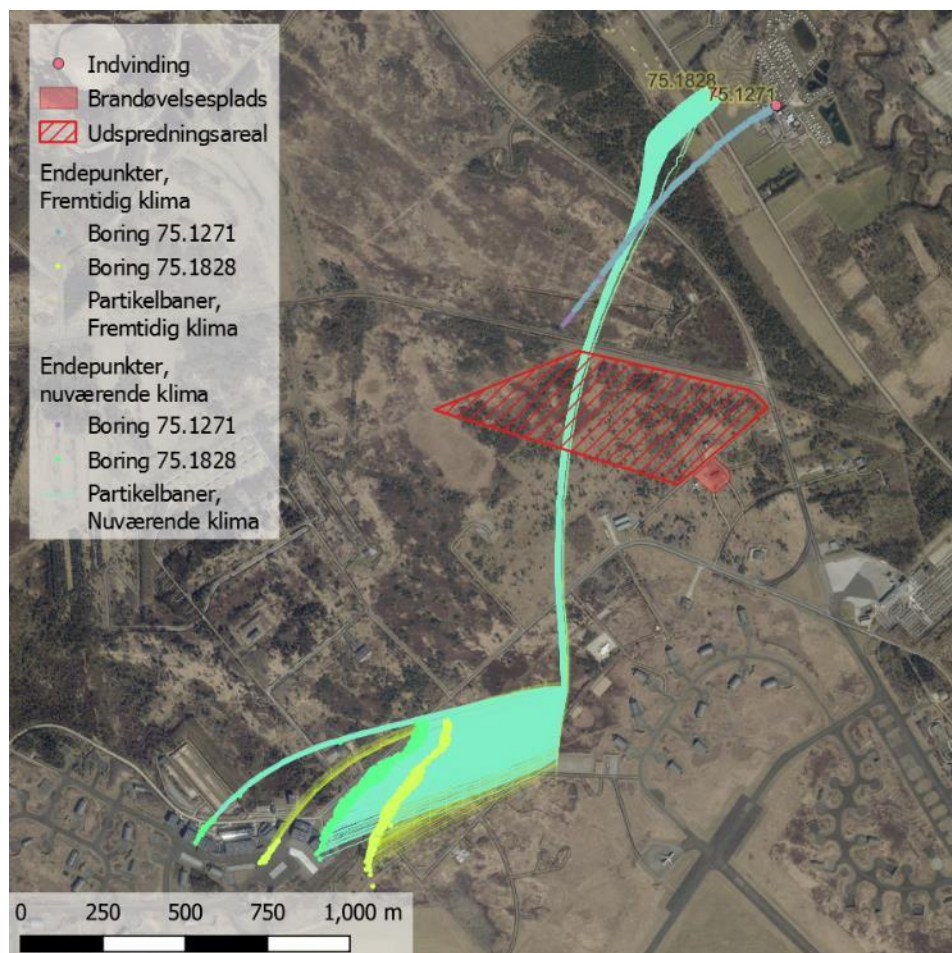
4.3.1 Scenarie S1, nuværende indvindingstilladelse

Figur 4.18 viser endepunkter og partikelbaner for indeværende og fremtidigt klima med 15 % forøgelse af nettonedbør.

Det grundvandsdannende område for boring DGU nr. 75.1271 starter omkring 100 m længere opstrøms i det nuværende klima. Så i fremtiden forventes et kortere indvindingsopland.

Oplandet til boring DGU nr. 75.1271 er uændret i det fremtidige klima for strømningen under udspretningsarealet. Oplandet i den sydlige del vil i fremtiden være lidt kortere (omkring 250 m).

Heraf konkluderes, at der ikke er ændring på risikoen for PFAS i boringerne fra brandøvelsespladsen og udspretningsarealet i et fremtidigt klima.



Figur 4.18: Endepunkter og partikelbaner for scenarie S1 (nuværende tilladelse) tematiseret efter klimascenarie.

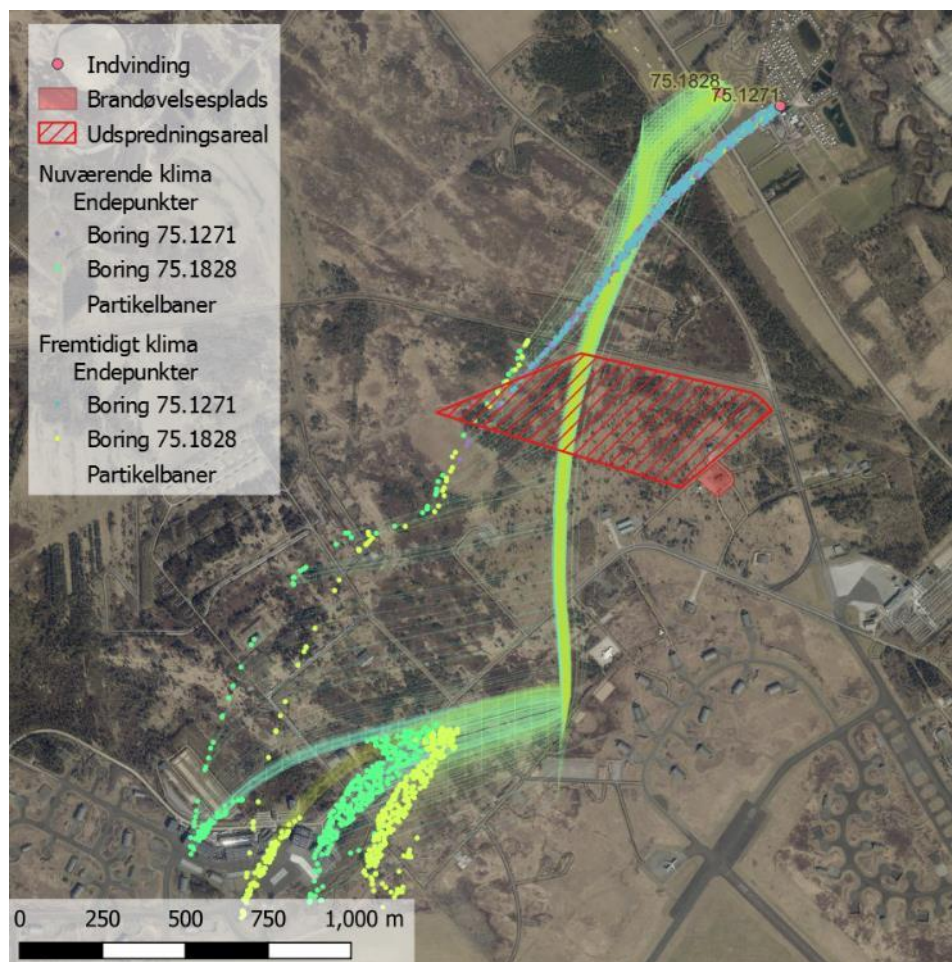
4.3.2 Scenarie S4, - fire gange nuværende indvindingstilladelse

Figur 4.18 viser endepunkter og partikelbaner for indeværende og fremtidigt klima med 15 % forøgelse af nettonedbør for scenarie 4, hvor indvindingen er fire gange nuværende tilladelse.

Det grundvandsdannende område for boring DGU nr. 75.1271 starter omkring 100 m længere opstrøms i det nuværende klima. Så i fremtiden forventes et kortere indvindingsopland

Oplandet til boring DGU nr. 75.1271 er uændret i det fremtidige klima for strømningen under udspretningsarealet. Oplandet i den sydlige del vil i fremtiden være lidt kortere (omkring 250 m).

Heraf konkluderes, at der ikke er ændring på risikoen for PFAS i borerne fra brandøvelsespladsen og udspretningsarealet i et fremtidigt klima.



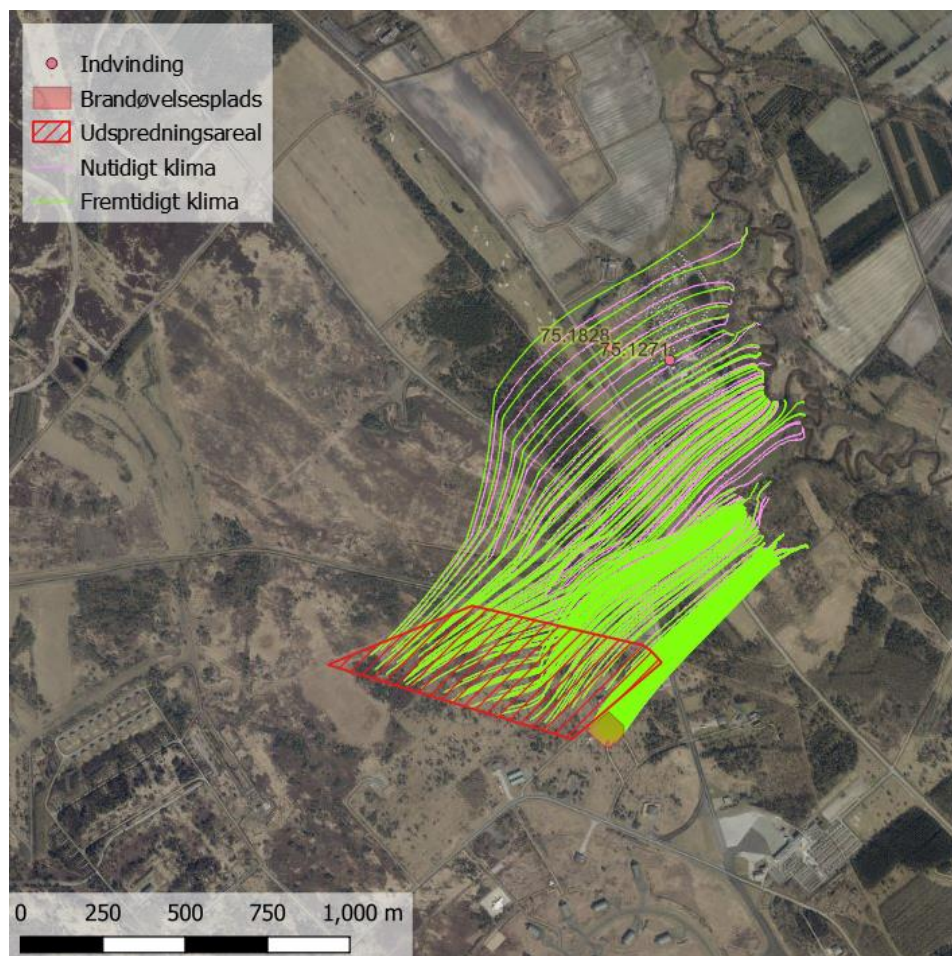
Figur 4.19: Endepunkter og partikelbaner for scenarie S4 (fire gange nuværende tilladelse) tematiseret efter klimascenarie.

4.3.3 Forward-beregning af partikelbaner fra Ny Brandøvelsesplads og udspretningsareal

Den forward-beregning af forurening fra arealerne er beregnet for scenarie S1, nuværende indvindingstilladelse. Opsætningen af partikelbanerne er identisk med dem i afsnit 4.2.

Figur 4.20 viser de resulterende partikelbaner fra grundvandsspejlet ved Ny Brandøvelsesplads og udspretningsarealet til Karup Å og tilhørende drænsystem.

Partikelbanerne fra brandøvelsespladsen er stort set identiske i de to klimascenarier. For den mere diffuse kilde ved udspretningsarealet er der en lille forskel i partikelbaner fra den vestlige del af udspretningsarealet på ca. 100 m. Forskellen forklares i, at partikelbanerne her tager en dybere strømningsretning. Forskellen har ikke betydning for, om indvindingsboringerne forurenes mere eller mindre i et fremtidigt klima end i nutiden.



Figur 4.20: Partikelbaner for scenarie S1 (nuværende tilladelse) tematiseret efter klimascenarie. Partiklerne starter på grundvandsspejlet af de områder for Ny Brandøvelsesplads og udspretningsarealet.

5 Diskussion og konklusioner

5.1 Vandindvindingsboring DGU nr. 75.1271

Partikelbaneberegninger foretaget på indvindingsboringerne viser, at der i boringerne ved nuværende indvindingstilladelse ikke er risiko for, at der sker en kontaminering af drikkevandet.

En høj indvinding forekommer om sommeren. De fire måneder med høj vandindvinding betyder, at man kortvarigt indvinder med en ydelse, som svarer til 3 gange indvindingstilladelsen.

En stresstest af modellen viser, at man ved forøget indvinding ændrer strømmingen til boringen, og derved indvindingsoplandet. Modelberegningerne viser, at der ved en kontinuert indvinding med 3 gange tilladelsen er enkelte partikler, som har en oprindelse i den nordvestlige del af udspretningsarealet. Det drejer sig om omkring 1 % af partiklerne. Der er ikke målt PFAS forurening på den nordvestlige del af udspretningsarealet, hvis man derfor forudsætter at kildekonzentrationen er under 0,2 ug/l (PFAS $\Sigma 4$), så vil grænseværdien i DGU 75.1271 ikke overskrides.

På baggrund heraf konkluderes det, at risikoen for at PFAS-konzentrationen overstiger grænseværdien i indvindingsboringen er lille, men stiger ved forøgelse af indvindingen. Overskridelse af grænseværdien afhænger af kildekonzentrationen.

Dertil skal bemærkes, at vandprøver udtaget med Geoprober i 2015 (2 stk. med vandprøvetagning i to intervaller) placeret på den vestlige halvdel af udspretningsarealet ikke har påvist et indhold af PFAS 12 over analysemetodens detektionsgrænser /8/. Tidligere undersøgelser har således ikke påvist indhold af PFAS i vandprøver udtaget fra den del af udspretningsarealet, hvor grundvandsmodellen viser at enkelte partikler har sin oprindelse i forbindelse med høj ydelse i indvindingsboringen.

Strømningstider fra den vestlige del af udspretningsarealet til indvindingsboringen er omkring 20 år. Det antages at PFAS-forureningen i grundvandet har sammen hastighed som grundvandet.

5.2 Vandindvindingsboring DGU nr. 75.1828

Vandindvindingsboring til golfbanen ligger ca. 250 m vest for DGU nr. 75.1271. Den dybere filtersætning i denne boring giver partiklerne en markant anden strømning end ved den mere terrænære filtersætning, man ser i boring DGU nr. 75.1271. Der er ingen af de valgte indvindings-scenarier, hvor der er endepunktpartikler i de kritiske arealer, og da dybden til partikelbanerne ligger helt nede i de prækvartære sandlag i området med potentiel PFAS-forurening, vurderes det, at risikoen for forurening i boringen er meget lille.

5.3 Kortlægning af forureningsfanen

Partikelbaner fra grundvandsspejlet under udspretningsarealet og brandøvelsespladsen viser, at afstrømning fra brandøvelsespladsen har en markant nordøstlig strømning mod drænsystemet ved Karup Å. Størstedelen af partiklerne når drænsystemet og kun en mindre andel af partiklerne når direkte i åen, således at der ikke er en direkte udstømning til åen. Strømningstiden er mellem 10 og 20 år. Beregningen er uden strømning i den umættede zone.

Fund af PFAS i grundvandet fra boringer mellem dræn og Karup å kan have flere årsager, som beregningerne ikke inkluderer med partikelbaner. Når partikelbaner rammer drænen tages de ud, og de kan derved ikke indgå i en strømning i grundvandet mellem dræn og Karup Å. Man kan også have PFAS som kommer fra åen og midlertidigt opmagasineres i brinken, og endeligt så kan lokale forhold i ådalen betyde at noget af grundvandet der indeholder PFAS ikke når drænen men afstrømmer direkte til Karup å. Afstrømningen fra udspretningsarealet er mere diffus. Den østlige del har en strømning mod nordøst og rammer drænsystemet efter godt 20 år, mens den vestlige del har en strømningstid til drænen og vandløb på op til 30 år (Figur 4.16)

Partikelbanerne dykker grundet tilførsel af vand ovenfra og når maksimal dybde omkring halvejs mellem kildeområderne og Karup Å. Her ligger fanen fra brandøvelsespladsen i en dybde af ca. 20 m under terræn, mens dybden til fanen fra udspretningsarealet ligger betydeligt dybere i den nordlige del af forureningsfanen (Figur 4.14). Dyden til partikelbanerne, i området hvor de ifølge modellen ligger dybest, afviger fra de faktiske målinger, hvor forureningen i grundvandet er påvist mere terrænnært. Denne afvigelse kan som tidligere nævnt skyldes at modellen ikke inkludere dispersion, makrotransport, heterogeniteter og årsvariationen i infiltrationen. Der kan også være usikkerheden i de fundne hydrogeologiske parametre.

5.4 Usikkerheder

I modellen er der partikler, som har endepunkt i den østlige del af udspretningsarealet. Dette tolkes som at der i modellen er lidt dræning her. Det er kun en mindre del af den samlede fluks.

Der er usikkerheder på både den hydrostratigrafiske model og på de valgte parametre. Specielt usikkerheden på hydraulisk ledningsevne i det kvartære sand, samt hydraulisk ledningsevne og udbredelse af det kvartære lerlag, har stor betydning for resultatet.

Porøsiteten på 30 % er anbefalet værdi fra Miljøstyrelsen. Denne kan være mindre, eksempelvis 20 %, og dette betyder at transporttiden reduceres med 33 % (så i stedet for 20 år, så er den nærmere ca. 13 år). Porøsiteten har (næsten) ikke betydning for partikelbanernes strømning.

Koncentrationer og tidslig udvikling. Her kan sæsonbetonet strømning til Karup Å betyde, at drænene er aktive i vinterhalvåret, mens Karup Å vil være modtager om sommeren, hvor dræningen er mindre.

5.5 Konklusioner

Vandforsyningsboringen DGU nr. 75.1271 er uden for risiko ved nuværende indvinding, men kan med forøget indvinding godt trække lidt partikler (teoretisk forurenede grundvand) fra den vestlige del af udspretningsarealet.

Vandindvindingsboring til golfbane, 75.1828, går fri af forurening.

Klimaberegningerne viser, at der kun er små forskelle i oplandenes udbredelse i nutidigt klima og fremtidigt klima med en nettonedbørsforøgelse på 15 %.

Det tager ca. 20 år for partikler at nå indvindingsboring, drænsystem / Karup Å.

Drænsystemet mellem Karup Å og landevejen er den primære modtager af PFAS fra brandøvelsespladsen.

6 Referencer

- /1/ Langevin, C.D., Hughes, J.D., Banta, E.R., Provost, A.M., Niswonger, R.G., and Panday, Sorab, 2019, MODFLOW 6 Modular Hydrologic Model version 6.1.0: U.S. Geological Survey Software Release, 12 December 2019, <https://doi.org/10.5066/F76Q1VQV>
- /2/ <https://dataforsyningen.dk/data/930>
- /3/ https://ftp.dataforsyningen.dk/dhm_danmarks_hoejdemodel/DTM
- /4/ <https://jupiter.geus.dk/Rapportdb/Grundvandsrapport.seam?grundvandsrapportRapportid=94523>
- /5/ <https://data.geus.dk/geusmap/?mapname=fohm>
- /6/ <https://hip.dataforsyningen.dk/>
- /7/ Ida Seidenfaden m.fl. [2022]: Quantification of climate change sensitivity of shallow and deep. Journal of Hydrology: Regional studies 41 (2022) 101100. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.101100>
- /8/ 721 Flyvestation Karup. Afgrænsning af olieforureningsfane og screening af PFAS-forbindelser ved Ny Brandøvelsesplads. Rådgivningsafdelingen, november 2015.