



Miljø- og
Ligestillingsministeriet
Miljøstyrelsen

Stokastiske partikelbane- beregninger

Pilotprojekt Fyn
Sårbare grundvandsdannende områder

Grundvand og drikke-
vand nr. 23

November 2024

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion:

Michael Juul Lønborg, COWI

Flemming Damgaard Christensen, GEO

Fotos: Christian Harries Hansen, GEO (Figurer og GIS)

ISBN: 978-87-7038-678-4

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

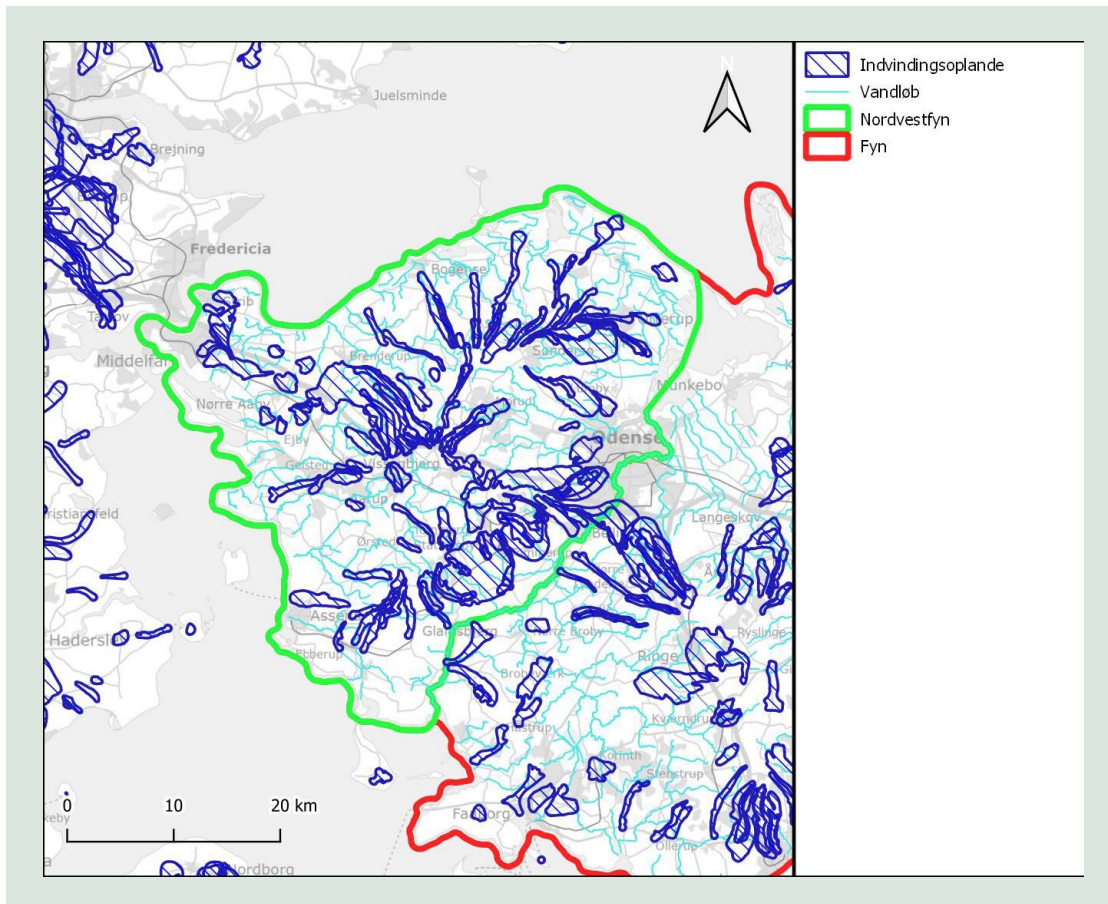
Må citeres med kildeangivelse

Indhold

1.	Baggrund	4
2.	Opstilling af NVFyn-modellen	5
3.	Beregninger	8
4.	Resultater	11
4.1	Følsomhedsanalyse	11
4.2	Grundvandsdannelse	12
4.3	Transporttid til magasiner	14
4.4	Transporttid til kildepladser	17
4.5	Aldersfordeling på magasinniveau	19
5.	Fyn-modellen	21
5.1	Resultater fra Fyn-modellen	22
5.2	Stokastisk analyse på magasinniveau	22
5.3	Stokastisk analyse på kildepladsniveau	22
5.4	Sammenligning af NVFyn- og Fyn-modellen	24
6.	Referencer	26

1. Baggrund

Baggrunden for denne rapport er et samarbejde mellem Rambøll, NIRAS og COWI/GEO samt Miljøstyrelsen om at vurdere usikkerheden på grundvandsdannelsen. Der er udvalgt et pilot-område, som en del af Fyn-modellen, der er opstillet af Rambøll i 2022 /1/. Pilotområdet dækker den nordvestlige del af Fyn, og er vist på FIGUR 1.



FIGUR 1. Modelområde for Nordvestfyn (grøn polygon) sammenholdt med model-området for hele Fyn (rød polygon).

Modellen for Nordvestfyn – herefter blot kaldet NVFyn-modellen – dækker et areal på ca. 1480 km², hvor hele Fyn-modellen dækker et areal på ca. 3280 km².

Usikkerheden på grundvandsdannelsen kan undersøges på flere forskellige måder, og COWI/GEO har fået til opgave at udføre stokastiske beregninger med variation af de parametre, der har størst betydning for grundvandsdannelsen.

2. Opstilling af NVFyn-modellen

Modellen er opstillet i MIKE SHE version 2023 samt en hotfix-opdatering. Ved konvertering til version 2023 skal der træffes et valg vedrørende vandudvekslingen mellem vandløb og grundvand, som ikke var der i de tidligere versioner. Det anbefales af DHI, at der **ikke** sættes flueben i boksen "Do not limit driving head in layers above river water level (not recommended)", så dette er fulgt, se FIGUR 2.

FIGUR 2. Menu fra MIKE SHE, hvor flueben er fjernet i version 2023.

NVFyn-modellen er udvalgt, så den følger modelranden fra Fyn-modellen ved havet. Langs randen inde i landet følger modelranden Odense Å og Hårby Å bortset fra en kort strækning mellem de to vandløb. På randen inde i land benyttes en dynamisk trykrand (med resultater fra Fyn-modellen) for lagene Sand 2, Sand 3 og kalken. For de øvrige modellag anvendes en zero-flux randbetingelse.

Mht. placering af partikler, blev det i samråd med MST besluttet at placere partikler uniform i toppen af lag 2 (fraktion 0,95 fra bunden). Der er placeret 25 partikler i hver celle, så de placeres i et uniformt mønster på 5 x 5 partikler.

Simuleringsperioden for Water Movement (WM) er 1990-2010, men particle tracking (PL) er kørt i 500 år med re-cycling af data i perioden 11/10-1999 til 18/9-2009.

Mht. placering af registreringszoner for partikler blev det diskuteret, om de skulle placeres som lag eller som linser. Placering af registreringszoner, som følger beregningslagene, giver hurtigere simuleringstider, og der er kun meget lille forskel på en placering i linser. Dette skyldes, at der i dette tilfælde anvendes samme top og bund for registreringszonen i linserne som i lagene. Placering af registreringszoner i linser synes således kun at være relevant, hvis registreringszonens vertikale udbredelse er mindre end selve laget (magasinet). Den horisontale udbredelse af registreringszonen i de tre sandlag (Sand1, Sand2 og Sand3) er defineret til den del af magasinet, hvor lagtykkelsen er mindst 1 meter. For registreringszonen i kalken er der anvendt hele modellaget, idet kalken er til stede i hele modelområdet (om end den ligger dybt på denne del af Fyn).

Endelig kan det nævnes, at der i NVFyn-modellen i stedet for SOR-solveren er anvendt den explicitte solver, da den er hurtigere, og giver færre max. antal iterationer, der overskrides i OL. Antallet af SZ-iterationer, der overskrides max. antal iterationer ændres ikke nævneværdigt, og der er ingen synlig forskel i løsningen ved anvendelsen af de for forskellige OL-løsere – ud over simuleringstiden.

3. Beregninger

Med NVFyn-modellen er der udført en følsomhedsanalyse for en lang række parametre (75 i alt):

- Hydrauliske ledningsevner i sand (4 zoner i Sand1 og Sand3)
- Faktor, der ganges på de hydrauliske ledningsevner i Sand2
- Hydrauliske ledningsevner i ler (4 zoner)
- Faktor, der ganges på de hydrauliske ledningsevner i hhv. nedre og øvre kalk
- Magasintal (frit og spændt) i sand, ler og kalk
- Hydrauliske ledningsevner og magasintal i det øverste modellag (sand, ler, opsprækket ler og tørv)
- Hydrauliske ledningsevner og magasintal for den tætte, nedre ler
- Mættet hydraulisk ledningsevne i den umættede zone for de tre mest udbredte jordtyper
- Rodzonedybder i de 17 mest udbredte arealanvendelsestyper
- Vandløbslækagekoefficient (en samlet for alle vandløb)
- OL parametre (Manningtal, detention storage og outflow time constant)
- Faktor, der ganges på dræntidskonstanten
- Justering af drænniveauet

Listen af parametre, der er undersøgt i følsomhedsanalysen fremgår af TABEL 1. Faktoren, der ganges på Dræntidskonstanten, indgik ikke specifikt i følsomhedsanalysen, der blev kørt via Autocal, men er undersøgt ved at variere den kalibrerede værdi op og ned med en faktor 10 (dvs. en dekade). Desuden er drænniveauet undersøgt ved skrue op og ned for niveauet, der i referencemodellen varierer mellem 0-4 m.u.t. I variationen af drænniveauet ændres dette til 0-3 m.u.t. og 0-5 m.u.t., så der ganges en faktor på drændybden i stedet for blot at hæve hele niveauet, idet der således ville blive celler med en drændybde over terrænkoten.

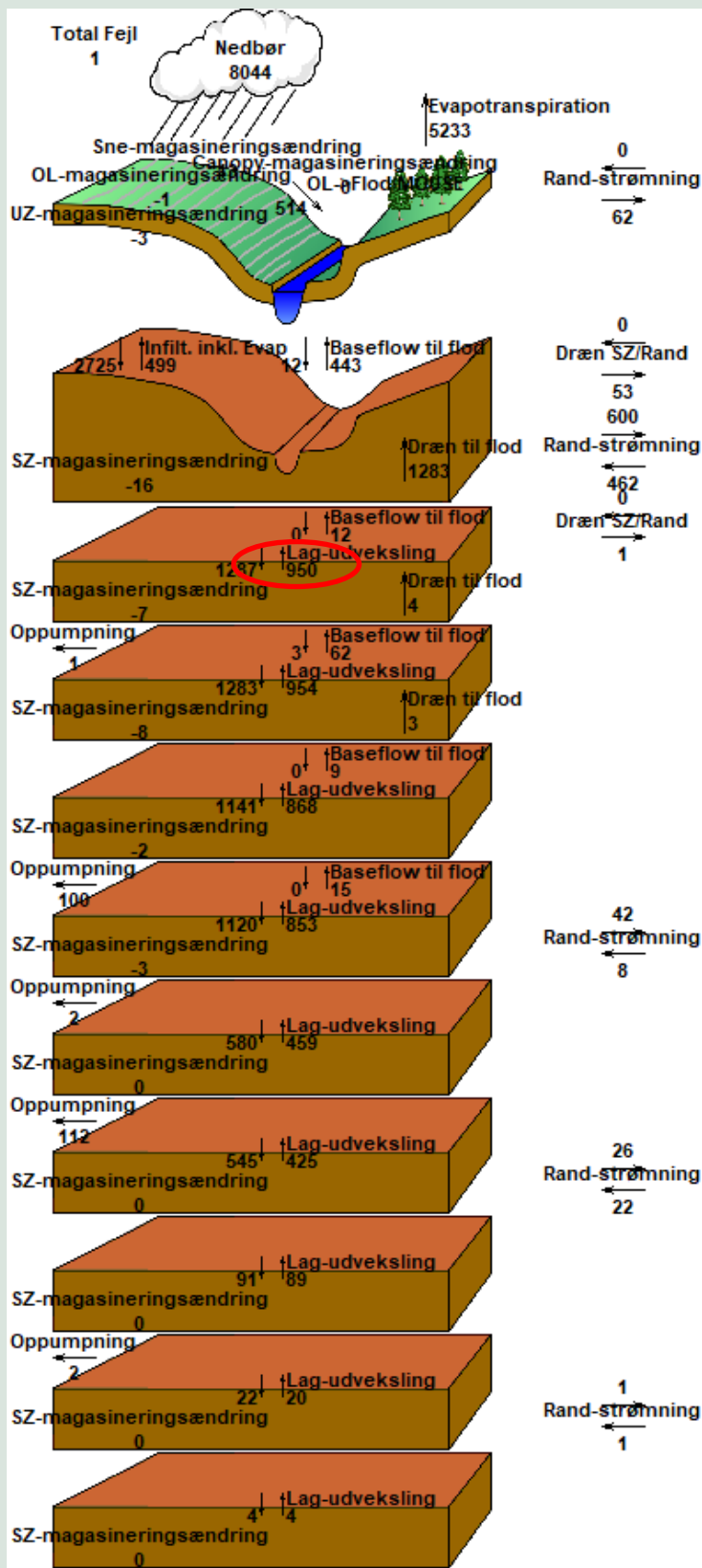
De øvrige 73 parametre blev undersøgt ved Autocal, hvor der justeres på parameteren svarende til en perturbationsfraktion på 0,1 ift. det centrale estimat. Det blev også forsøgt at generere en covarians matrix med Autocal, men så ville Autocal ikke køre. Følsomhedsanalysen i Autocal er udført ved at sammenligne med et udtræk fra MIKE SHE's vandbalanceprogram (den samlede vertikale flux mellem lag 1 og lag 2 – både opad- og nedadrettet strømning), idet det vurderes at være en repræsentativ værdi for grundvandsdannelsen ved terræn. De forskellige parametre er sammenlignet med referencekørslen, dvs. med de kalibrerede værdier for Fyn-modellen.

TABEL 1. Liste over parametre, der indgår i følsomhedsanalysen. Parametre markeret med rødt er undersøgt separat og dermed ikke inkluderet i Autocal.

Sand_KX_value1	Sc_jordart_sand
Sand_KX_value2	Sc_jordart_ler
Sand_KX_value3	Sc_opspr_ler
Sand_KX_value4	Sc_jordart_toerv
Faktor_sand2	Sy_jordart_sand
Ler_Kz_value1	Sy_jordart_ler
Ler_Kz_value2	Sy_opspr_ler
Ler_Kz_value3	Sy_jordart_toerv
Ler_Kz_value4	PLtaet_Kh

faktor_OevreKalk	PLtaet_Kv
faktor_NedreKalk	Sc_PLtaet
Sand1_Sc	Sy_PLtaet
Sand1_Sy	Kh_UZ_DS_sand
Sand2_Sc	Kh_UZ_FT_toerv
Sand2_Sy	Kh_UZ_MLpspr
Sand3_Sc	RZD_Graes_JB1
Sand3_Sy	RZD_Graes_JB3_4_11
Sc_ier1	RZD_Graes_JB5_8
Sy_ier1	RZD_Loevskov
Sc_ier2	RZD_Majs_JB1
Sy_ier2	RZD_Majs_JB3_4_11
Sc_ier3	RZD_Majs_JB5_8
Sy_ier3	RZD_Naaeskov
Sc_ier4	RZD_Oliefroe
Sy_ier4	RZD_PermGraes
Oevre_kalk_Sc	RZD_Rodfrugter
Oevre_kalk_Sy	RZD_Vinterafgr_JB1
Nedre_kalk_Sc	RZD_Vinterafgr_JB3_4_11
Nedre_kalk_Sy	RZD_Vinterafgr_JB5_8
Jordart_sand_Kh	RZD_Vaarafrgr_JB1
Jordart_sand_Kv	RZD_Vaarafrgr_JB3_4_11
Jordart_ier_Kh	RZD_Vaarafrgr_JB5_8
Jordart_ier_Kv	Lkoef_vloeb
Opspr_ier_Kh	OL_Detention
Opspr_ier_Kv	OL_Manning
Jordart_toerv_Kh	OL_Outflow_time_constant
Jordart_toerv_Kv	Faktor_DrainTimeConst
	Drain_Level

Som et udtryk for grundvandsdannelsen er der valgt at se på den vertikale flux mellem lag 1 og lag 2. Dette sker via vandbalanceprogrammet, hvor den gennemsnitlige vertikale flux for hele modelområdet, akkumuleret for en 10-års periode (1999-2009), undersøges. Både den opad- og nedadrettede flux mellem lag 1 og lag 2 indgår i analysen. FIGUR 3 viser vandbalancen for NVFyn-modellen med angivelse af den vertikale flux mellem lag 1 og lag 2.



FIGUR 3. Vandbalance for NVFyn-modellen i referencesituationen. Med rødt er markeret den vertikale flux mellem lag 1 og lag 2 i akkumuleret antal mm for hele modelområdet.

4. Resultater

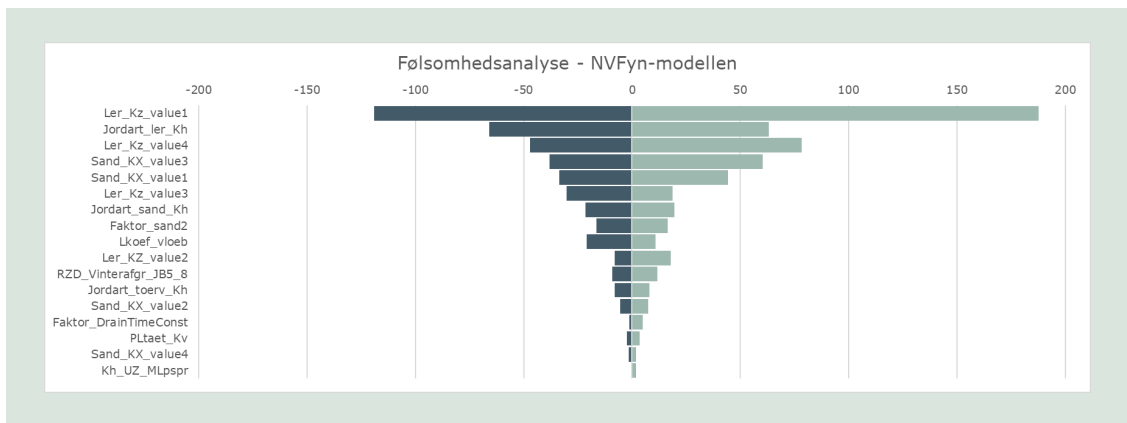
4.1 Følsomhedsanalyse

Resultatet af følsomhedsanalysen resulterede i, at de 16 mest følsomme parametre ift. den vertikale flux mellem lag 1 og lag 2 blev udvalgt til en stokastisk analyse. Faktor_DrainTimeConst er ikke inkluderet i Autocal som de 15 øvrige parametre, men blev vurderet til at være følsom mht. grundvandsdannelsen.

Ved hjælp af NOLH-programmet /2/ blev der beregnet 65 parametersæt af de 16 variable svarende til de 16 mest følsomme parametre. Parameterspændet er sat til ¼ dekade bortset fra Faktor_sand2, der kun er varieret 1/10 dekade og Faktor_DrainTimeConst, der er varieret en hel dekade. En hel dekade svarer til en faktor 10 for en parameter i en logaritmisk skala. Disse 16 variable fremgår af TABEL 2, og FIGUR 4 viser et Tornado-diagram med en rangering af de 16 mest følsomme parametre. Værdien angiver forskellen i % for den aggregerede middelafvigelse ift. referencesimuleringen fundet i Autocal.

TABEL 2. De 16 mest følsomme parametre ifølge følsomhedsanalysen med Autocal. Faktor_DrainTimeConst er dog ikke inkluderet i Autocal. Lower og upper bound indikerer spændet på udfaldsrummet.

Parameter	InitialValue	LowerBound	UpperBound	Enhed
Faktor_sand2	1.00	0.79	1.26	-
Jordart_ler_Kh	8.00E-05	4.50E-05	1.42E-04	m/s
Jordart_sand_Kh	7.00E-05	3.94E-05	1.24E-04	m/s
Jordart_toerv_Kh	2.00E-05	1.12E-05	3.56E-05	m/s
Kh_UZ_MLpspr	2.66E-06	1.50E-06	4.73E-06	m/s
Ler_Kz_value1	7.00E-08	3.94E-08	1.24E-07	m/s
Ler_Kz_value2	1.00E-08	5.62E-09	1.78E-08	m/s
Ler_Kz_value3	4.00E-08	2.25E-08	7.11E-08	m/s
Ler_Kz_value4	2.17E-07	1.22E-07	3.86E-07	m/s
Lkoef_vloeb	1.00E-06	5.62E-07	1.78E-06	s ⁻¹
PLtaet_Kv	4.00E-09	2.25E-09	7.11E-09	m/s
Sand_KX_value1	3.68E-04	2.07E-04	6.54E-04	m/s
Sand_KX_value2	5.00E-05	2.81E-05	8.89E-05	m/s
Sand_KX_value3	3.60E-04	2.02E-04	6.40E-04	m/s
Sand_KX_value4	1.00E-04	5.62E-05	1.78E-04	m/s
Faktor_DrainTime-Const	1.00	0.10	10.00	-



M **FIGUR 4.** Tornado-diagram med rangering af de 16 mest følsomme parametre.

Ud over de 65 stokastiske simuleringer, blev der kørt yderligere 10 kørsler, hvor de fem mest følsomme parametre varieres en dekade i stedet for en ¼ dekade, som med analysen udført med NOLH /2/. De fem parametre og deres parameterspænd er vist i TABEL 3.

TABEL 3. Ekstra kørsler med de fem mest følsomme parametre, hvor øvre og nedre værdi er anvendt i beregningerne.

Parameter	InitialValue	LowerBound	UpperBound	Enhed
Ler_Kz_value1	7.00E-08	7.00E-09	7.00E-07	m/s
Ler_Kz_value4	2.17E-07	2.17E-08	2.17E-06	m/s
Jordart_ler_Kh	8.00E-05	8.00E-06	8.00E-04	m/s
Sand_KX_value3	3.60E-04	3.60E-05	3.60E-03	m/s
Sand_KX_value1	3.68E-04	3.68E-05	3.68E-03	m/s

Endelig blev der udført fire beregninger med variation af rodzonedybden på de to mest udbredte jordtyper, idet den første sensitivitsanalyse for rodzonedybden gik galt. De to parametre og deres parameterspænd er vist i TABEL 4.

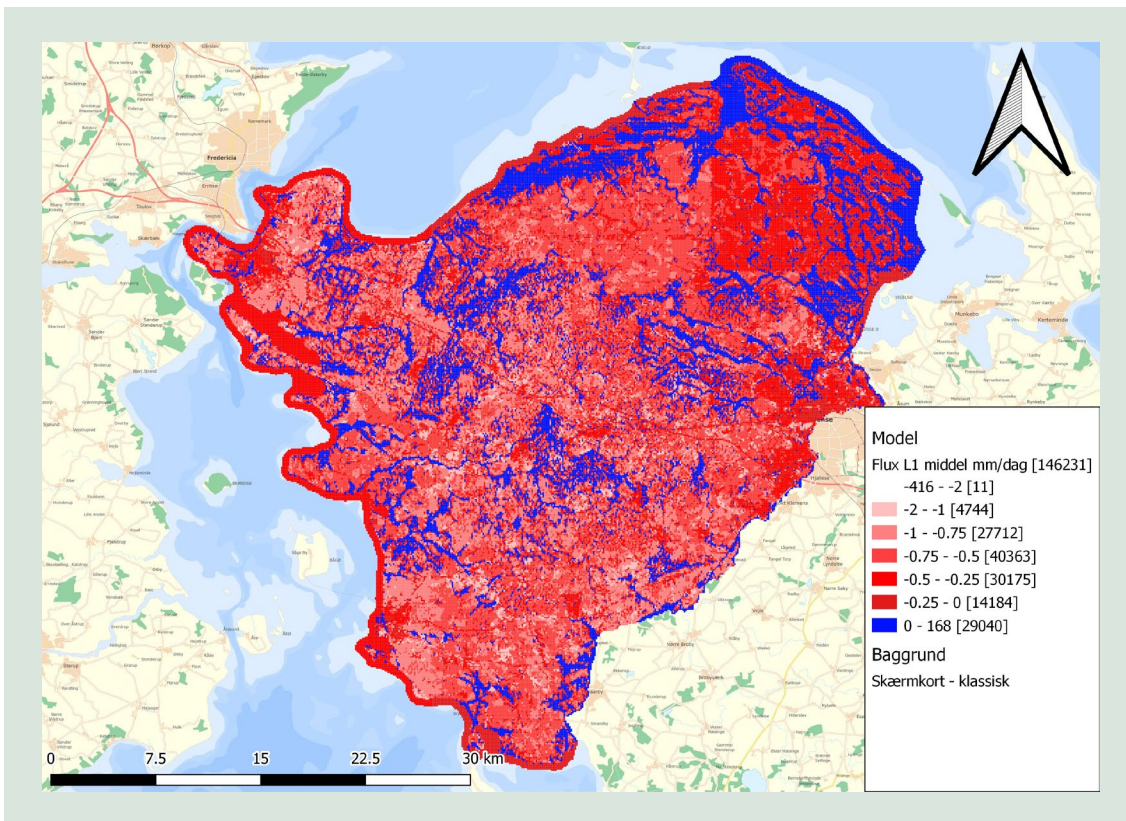
TABEL 4. Ekstra kørsler med de to mest følsomme parametre for rodzonedybden, hvor øvre og nedre værdi er anvendt i beregningerne.

Parameter	InitialValue	LowerBound	UpperBound	Enhed
RZD_Vinterafrg_JB5_8	1500	1000	2000	mm
RZD_Vaarafrg_JB5_8	1400	1000	2000	mm

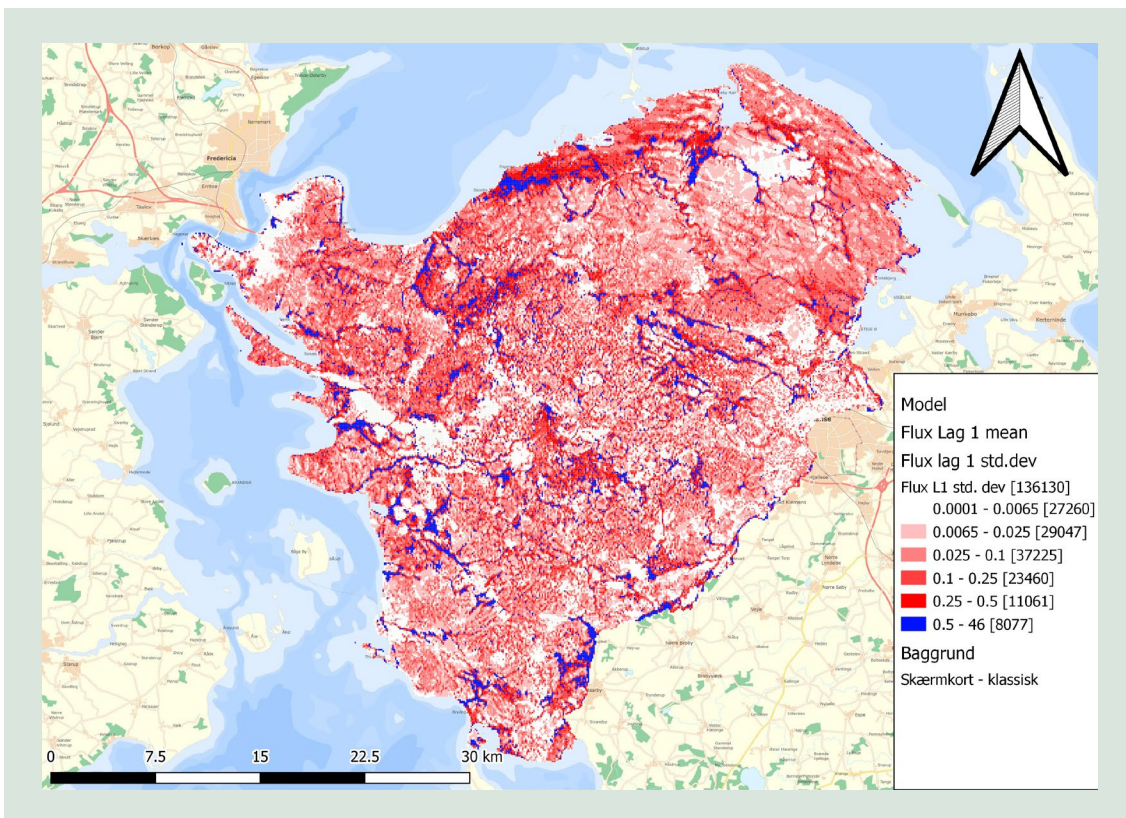
Dette giver et samlet antal simuleringer på 79 + referencesimuleringen (svarende til parametrene i den kalibrerede model).

4.2 Grundvandsdannelse

Grundvandsdannelsen er i denne sammenhæng defineret som den vertikale flux mellem lag 1 og lag 2, og er i MIKE SHE udtrykt i lag 1. FIGUR 5 og FIGUR 6 viser hhv. middelgrundvandsdannelsen og standardafvigelsen på grundvandsdannelsen for NVFyn-modellen baseret på de 79 modelsimuleringer.



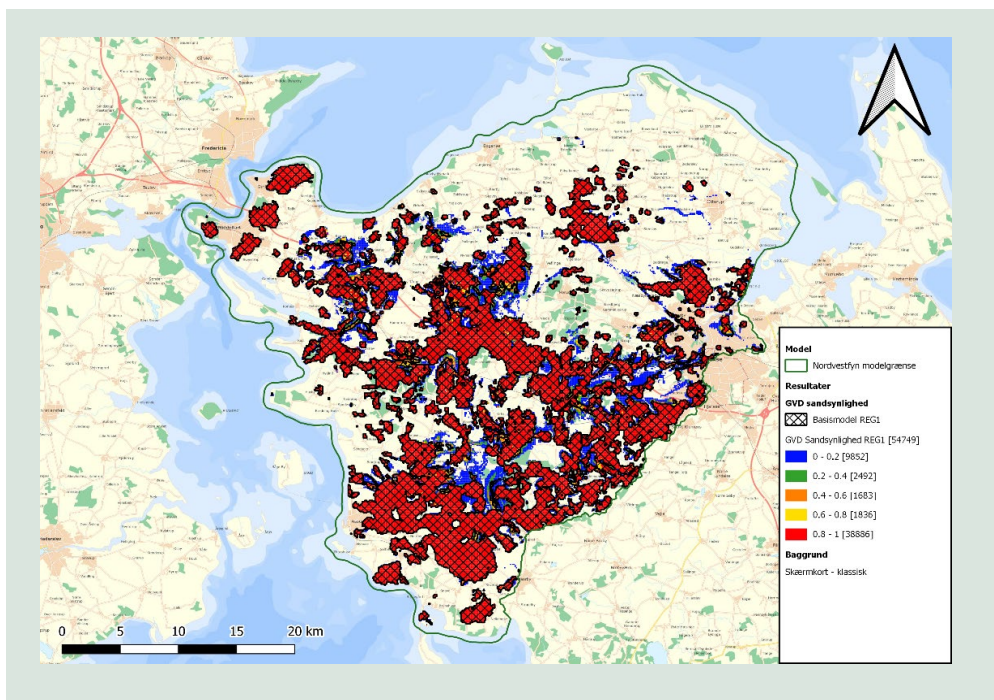
FIGUR 5. Middelgrundvanddannelse for NVFyn-modellen.



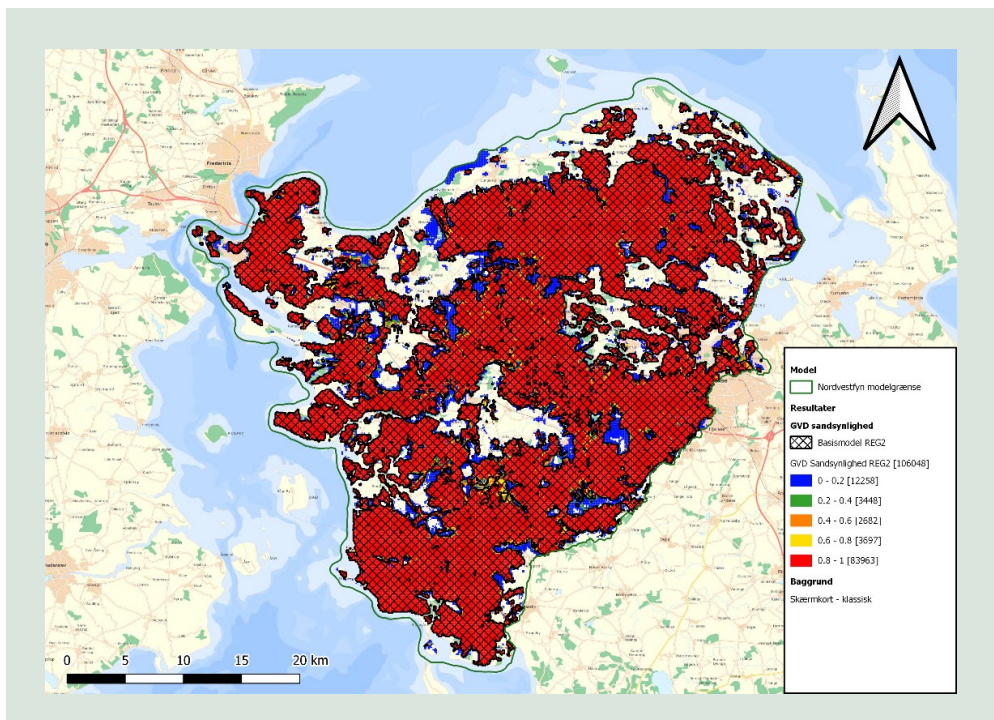
FIGUR 6. Standardafvigelse på grundvanddannelsen for NVFyn-modellen.

4.3 Transporttid til magasiner

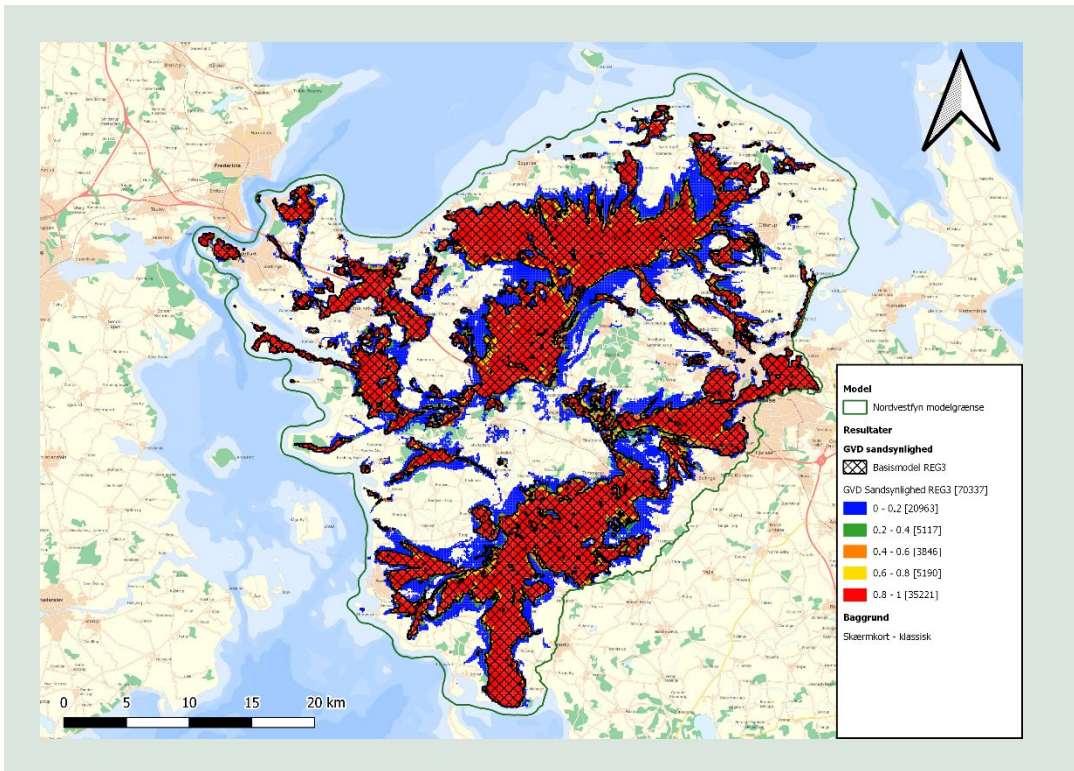
Baseret på de 79 modelsimuleringer er der beregnet en sandsynlighed for grundvandsdannelse til fire registreringszoner (kvartært sand 1, 2 og 3 samt kalken) i de enkelte beregningsceller. Dette er vist på FIGUR 7 til FIGUR 10.



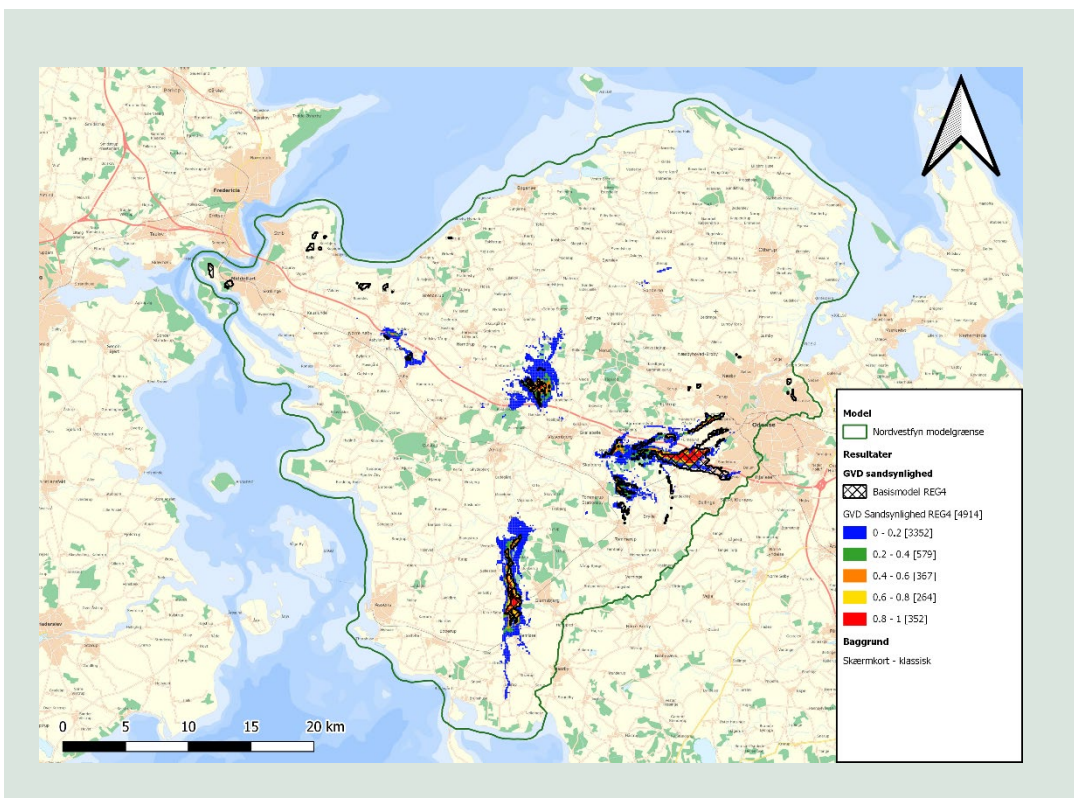
FIGUR 7. Beregningsceller med grundvandsdannelse til kvartært Sand1.



FIGUR 8. Beregningsceller med grundvandsdannelse til kvartært Sand2.



FIGUR 9. Beregningsceller med grundvandsdannelse til kvartært Sand3.



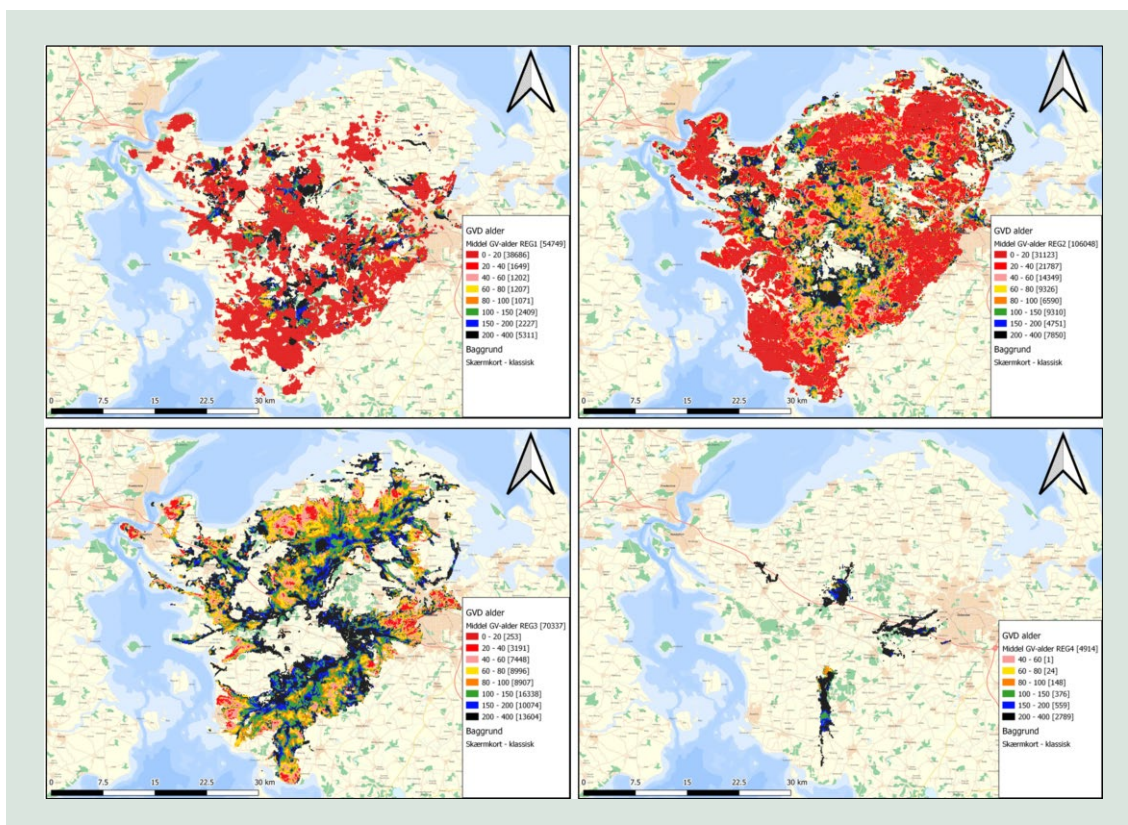
FIGUR 10. Beregningsceller med grundvandsdannelse til kalken.

På figurerne ovenfor er desuden vist grundvandsdannelsen for basismodellen, dvs. reference-simuleringen med den kalibrerede model. Dette er vist med skraveret markering.

På FIGUR 11 og FIGUR 12 ses middeltransporttiden og spredningen på transporttiden til de fire magasiner.

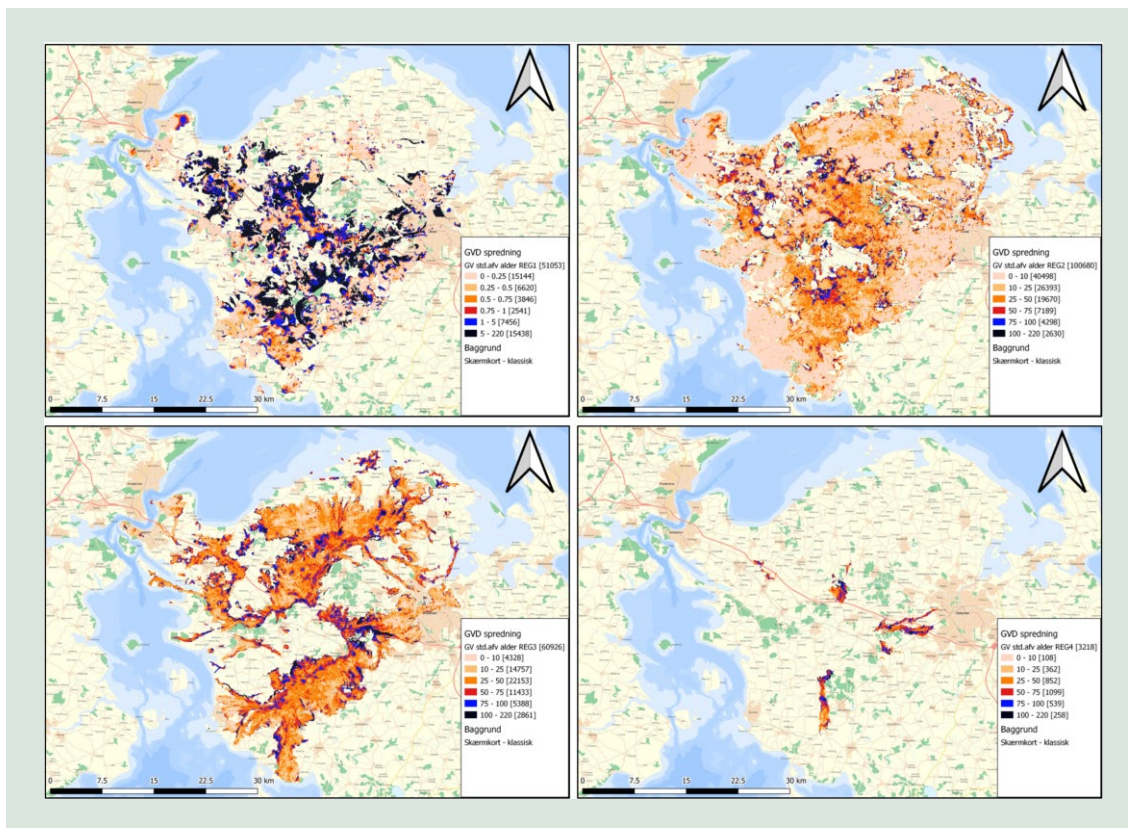
For hver af de 79 modelkørsler er der for alle celler med initiale placeringer af partikler beregnet *middel alder*, *median alder*, *standard afvigelse af alder*, *min* og *max* alder af partikler, som når magasinet. Alderen er transporttiden fra startplacering af partiklen til partiklen bliver registreret.

Herefter beregnes middellaldren og standardafvigelse, som henholdsvis *middel alder* og *standard afvigelse* af de individuelle 79 modelkørslers middellaldre. Der beregnes ligeledes max og min alder af de individuelle 79 modelkørslers middellaldre. Det er således alene middellaldre fra de individuelle 79 modelkørsler, som anvendes til at beregne de statistiske størrelser. Se evt. /3/ for detaljer.



FIGUR 11. Middeltransporttid til magasiner.

Som det fremgår af FIGUR 11 er transporttiden – ikke overraskende – kort for de øvre magasiner Sand1 og Sand2 og lang for Sand3 og kalken.

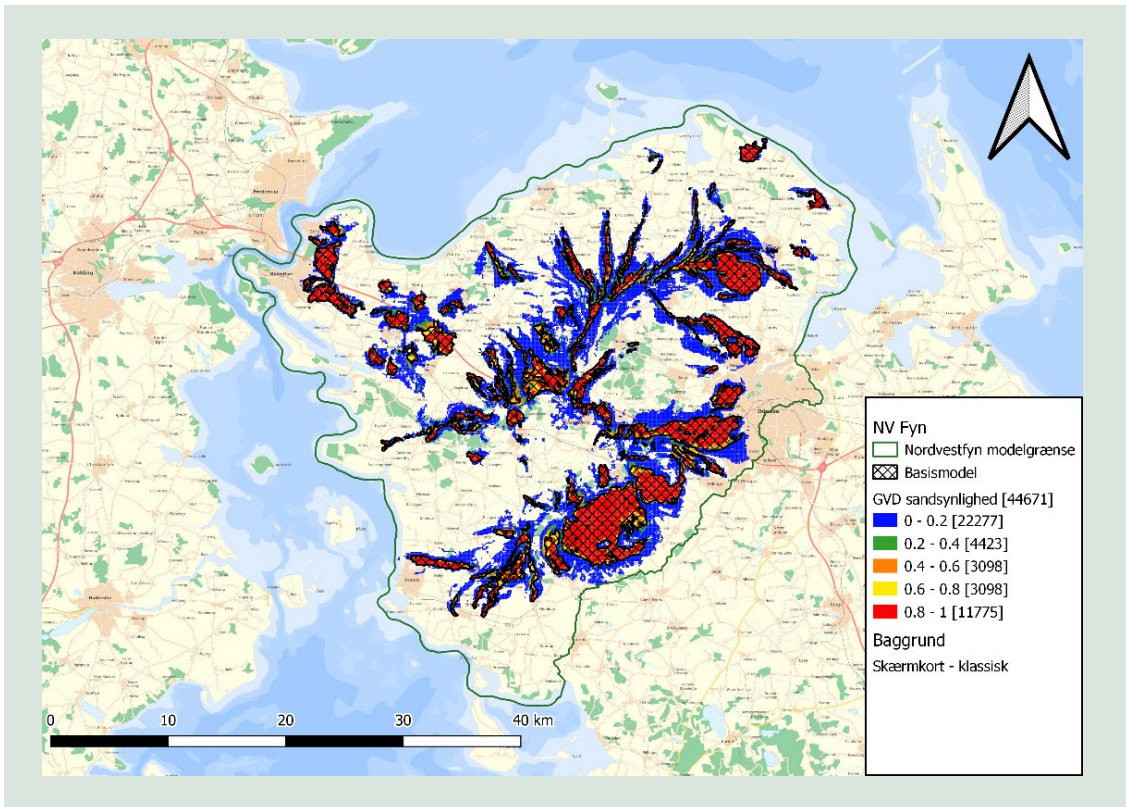


FIGUR 12. Spredning på transporttid til magasiner.

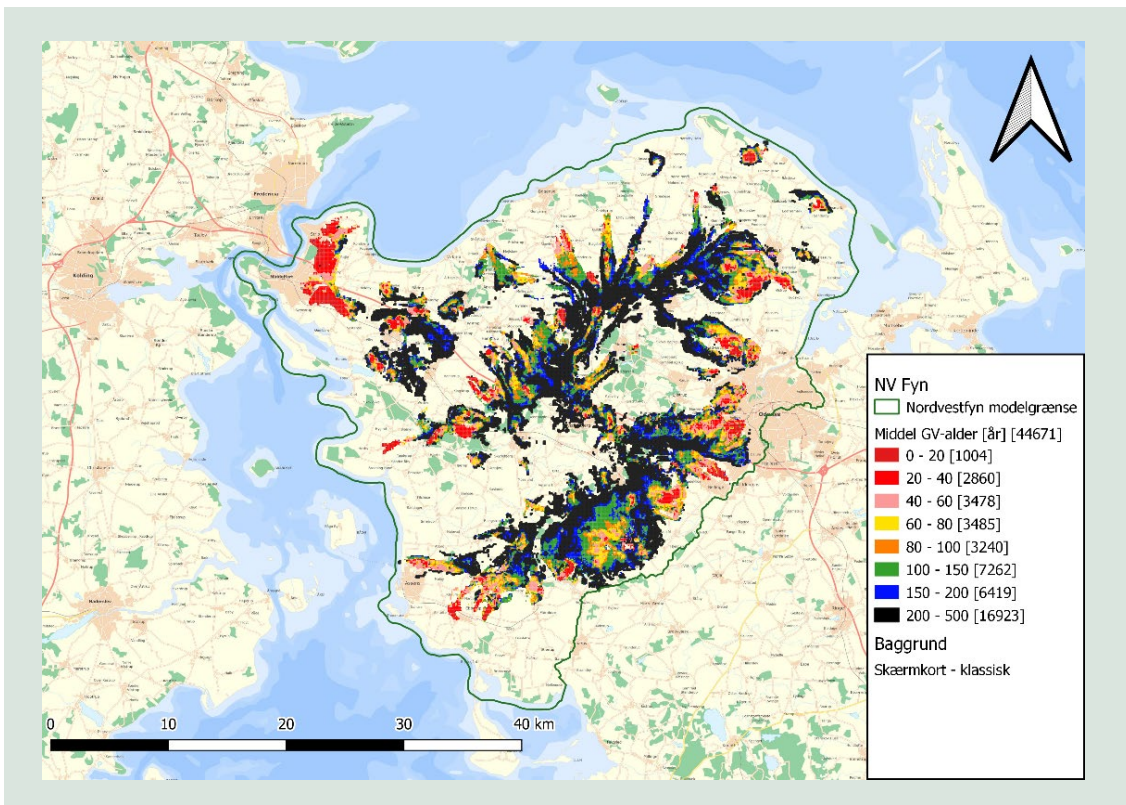
4.4 Transporttid til kildepladser

Sandsynligheden for områder med grundvandsdannelse til kildepladser er vist på FIGUR 13. På samme måde som for registreringszonerne (magasinerne) er der beregnet en middeltransporttid og spredning på middeltransporttid for kildepladserne. Dette er vist på FIGUR 14 og FIGUR 15.

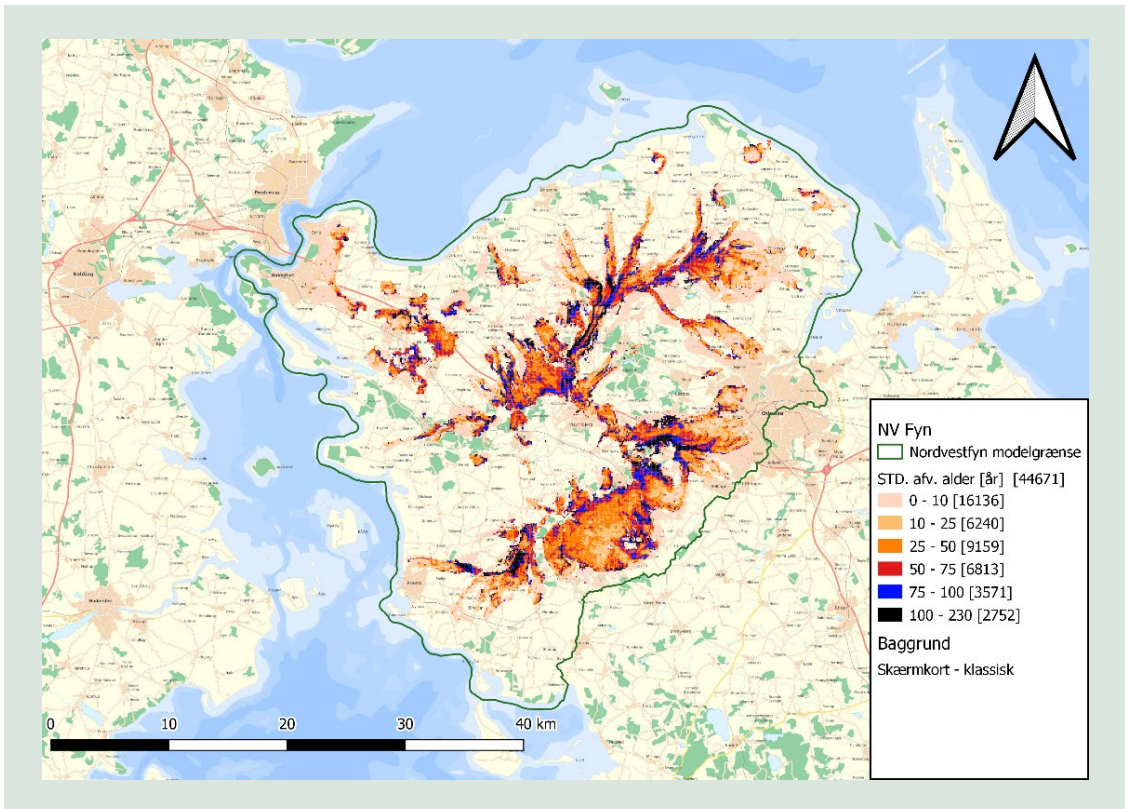
Beregningen er overordnet tilsvarende som for magasiner, dog lidt mere omfattende. Først beregnes der for hver af de 79 modelkørsler *middel alder*, *median alder*, *standard afvigelse* af alder, *min* og *max* alder af partikler, som bliver indfanget af kildepladserne. Der dannes således en fil for hver kildeplads (32 stk.) for hver modelkørsel (79 stk.), hvilket giver 2528 resultat filer. Herefter beregnes *middelalderen* for hver modelkørsel baseret på gennemsnittet af *middelalder* på celleniveau for hver kildeplads. Til sidst beregnes *middelalderen* og *standard afvigelse af middelalder baseret på middelalderen* for hver modelkørsel. Se evt. /3/ for detaljer.



FIGUR 13. Grundvandsdannelse til kildepladser.



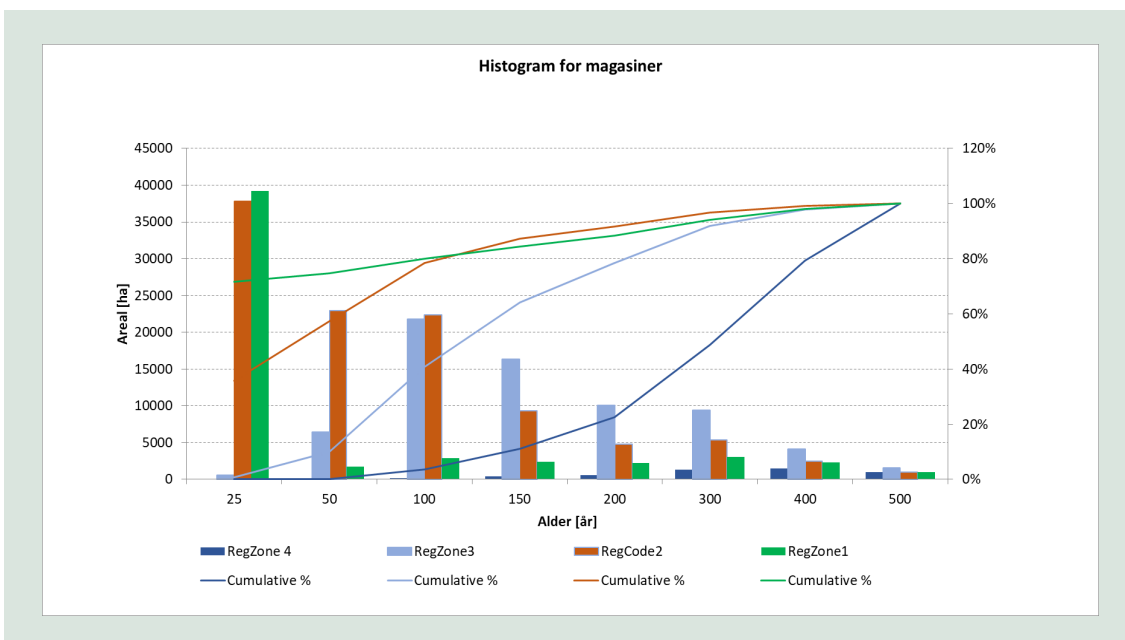
FIGUR 14. Middeltransporttid til kildepladser.



FIGUR 15. Spredning på transporttid til kildepladser.

4.5 Aldersfordeling på magasinniveau

Aldersfordelingen på magasinniveau er vist på FIGUR 16. Data er udtrukket fra GIS-filerne og viser statistikken for de fire registreringszoner



FIGUR 16. Spredning på transporttid til registreringszoner med et histogram.

De statistiske størrelser for hver registreringszone i TABEL 5 er beregnet på de middelaldrer, som er vist på FIGUR 11.

For registreringszone 1 (RegZone1) er der en betydelig forskel mellem middelalder og medianalder, hvor medianalder er kun 1,2 år. Dvs. halvdelen af de celler, som bidrager med grundvandsdannelse til registreringszonen, har en transporttid på op til 1,2 år. Middeltransporttid er 55,2 år, hvilket viser en betydelig skævhed i aldersfordelingen. Det er således en meget hurtig transport til registreringszone 1.

For registreringszone 2 og 3 er medianalder ligeledes lavere end middelalderen, mens det modsatte er tilfældet for registreringszone 4. For registreringszone 4 skyldes det, at modellen ikke er kørt længe nok. Der er således ikke registreret så mange partikler, hvilket medfører at de beregnede arealer, som bidrager til magasinet, er beskeden sammenholdt med de andre magasiner.

TABEL 5. Aldersfordeling [år] på magasiniveau.

Magasin	Middelalder [år]	Medianalder [år]	25 % [år]	75 % [år]	Maks [år]	Areal [ha]
RegZone 1	55,2	1,2	0,2	52,2	500,0	54.749
RegZone 2	55,2	1,2	0,2	52,2	500,0	54.749
RegZone 3	55,2	1,2	0,2	52,2	500,0	54.749
RegZone 4	55,2	1,2	0,2	52,2	500,0	54.749

5. Fyn-modellen

I forlængelse af pilotprojektet, hvor der er benyttet en model for den nordvestlige del af Fyn, er der kørt tilsvarende simuleringer for hele Fyn. Der er foretaget et par ændringer baseret på erfaringerne for NVFyn-modellen:

- Partikler placeres nu i bunden af lag 1 (fraktion 0,05 fra bunden) i stedet for toppen af lag 2.
- Der udvælges de ti mest følsomme parametre i den stokastiske analyse for hele Fyn mod 16 i modellen for Nordvestfyn. Desuden inkluderes faktoren, der ganges på de hydrauliske ledningsevner i kalken. Denne parameter er muligvis følsom pga. højtliggende kalk i den sydøstlige del af Fyn, hvilket ikke var relevant i NVFyn-modellen. Dette betyder, at der er 11 parametre, der indgår i den stokastiske analyse, se TABEL 6, hvilket resulterer i 33 forskellige modevalueringer.
- Parameterspændet i den stokastiske analyse er en +/- ½ dekade omkring defaultværdien, dvs. et større spænd end for NVFyn-modellen, hvor de fleste parametre blev varieret en ¼ dekade. Dette blev gjort for at øge udfaldsrummet for de stokastiske beregninger.
- Desuden er der kørt fire klimascenarier, hvor der simuleret en fjern fremtid (2071-2100) mht. nedbør, potentiel fordampning og temperatur og havvandstandsstigning. Klimainputtet er taget fra HIP-modellen, hvor de fire klimamodeller er:
 - Klimamodel 3 (RCP4.5)
 - Klimamodel 5 (RCP8.5)
 - Klimamodel 12 (RCP8.5)
 - Klimamodel 21 (RCP8.5)
- Der er således i alt kørt 38 modevalueringer med Fyn-modellen. Partikelbaneberegningerne er udført for 500 år, og der udtrækkes grundvandsdannelse til de fire registreringszoner som i NVFyn-modellen, dvs. Sand 1, Sand 2, Sand 3 og kalken samt de 167 kildepladser på Fyn, der indgår i modellen.

TABEL 6. Parametre anvendt i den stokastiske analyse for Fyn-modellen.

Top10 + øvre kalk	InitialValue	LowerBound	UpperBound	Enhed
Faktor_OevreKalk	1.00	0.32	3.16	-
Jordart_sand_Kh	3.68E-04	1.16E-04	1.16E-03	m/s
Jordart_ler_Kh	8.00E-05	2.53E-05	2.53E-04	m/s
Lkoef_vloeb	7.43E-06	7.43E-07	7.43E-05	s ⁻¹
Ler_Kz_value1	7.00E-08	2.21E-08	2.21E-07	m/s
Ler_Kz_value2	1.00E-08	3.16E-09	3.16E-08	m/s
Ler_Kz_value3	4.00E-08	1.26E-08	1.26E-07	m/s
Ler_Kz_value4	2.17E-07	6.86E-08	6.86E-07	m/s
Sand_KX_value1	3.68E-04	1.16E-04	1.16E-03	m/s
Sand_KX_value3	3.60E-04	1.14E-04	1.14E-03	m/s
Faktor_sand2	1.00	0.32	3.16	-

5.1 Resultater fra Fyn-modellen

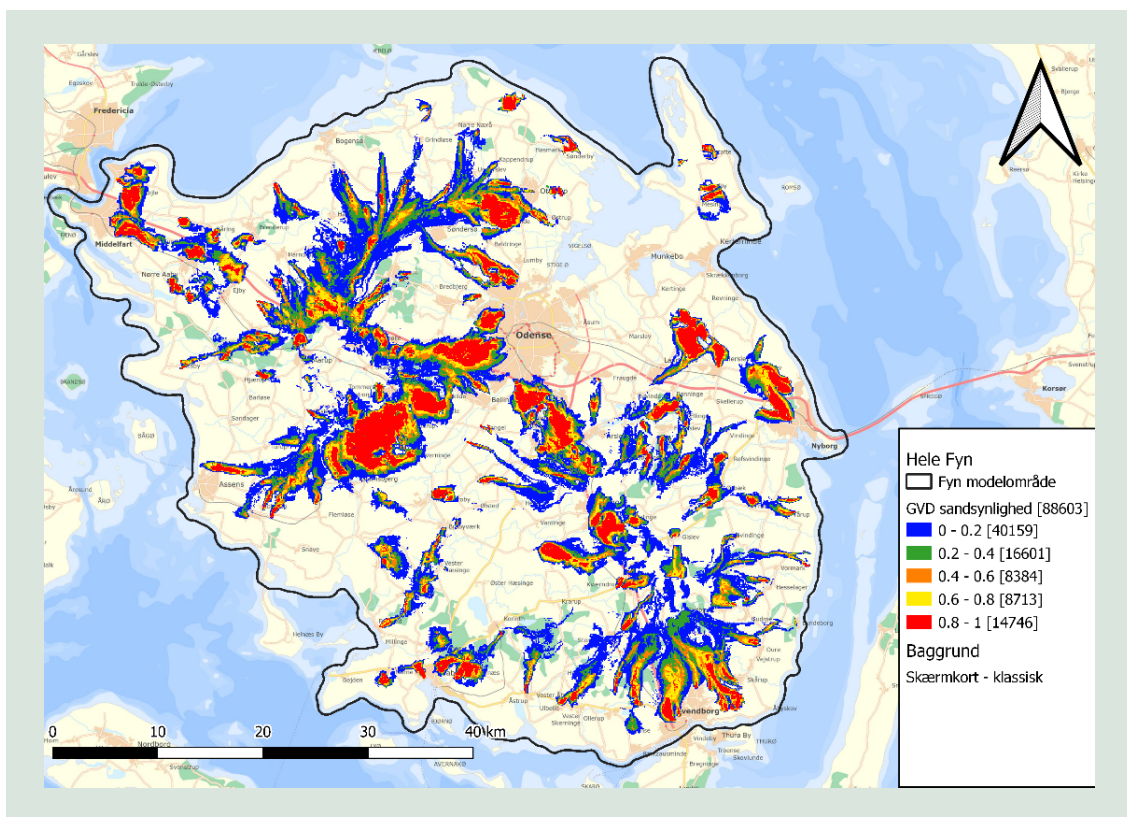
- Ingen partikler til Øksendrup Vandværk i fem modevalueringer (#9, 19, 20, 21 og 33) pga. at transporttiden er mere end 500 år.
- Alle simuleringer indvinder tæt på 100% af den specificerede mængde (>98% i alle tilfælde).

5.2 Stokastisk analyse på magasinniveau

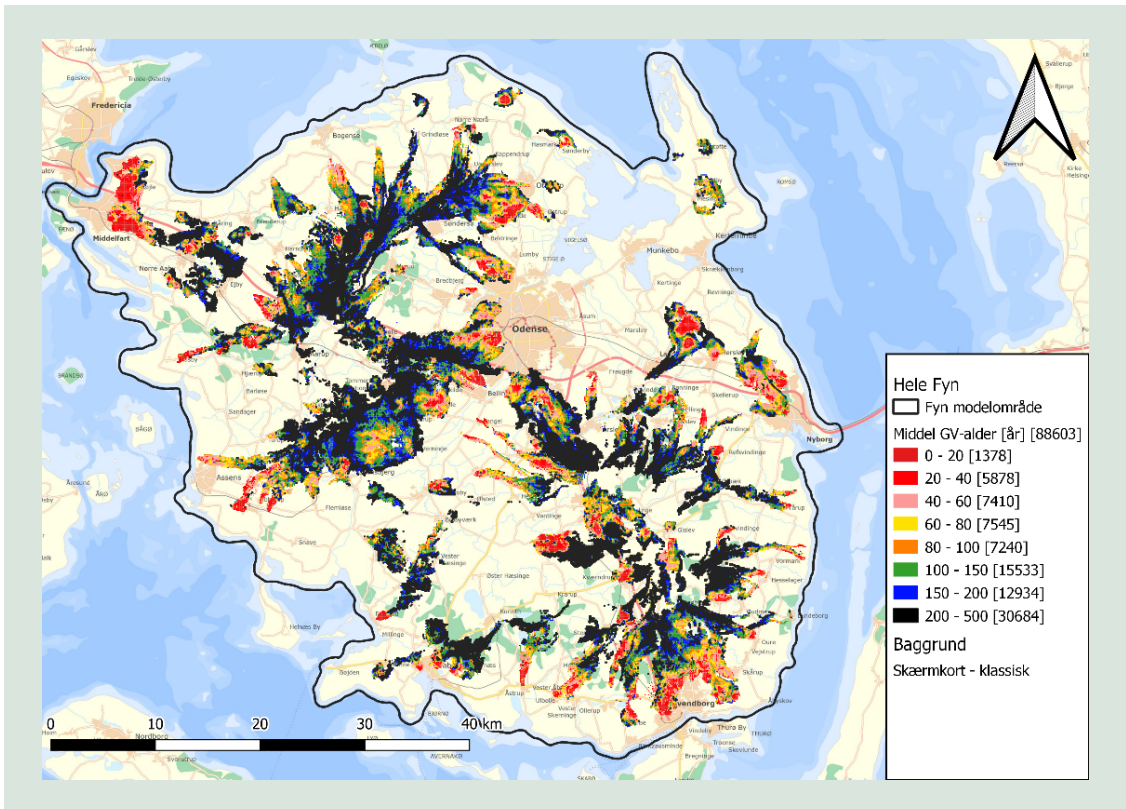
Der er lavet dataleverance på magasinniveau som en del af den digitale aflevering, men resultater er ikke vist i denne rapport. Se i stedet afsnit 5.3.

5.3 Stokastisk analyse på kildepladsniveau

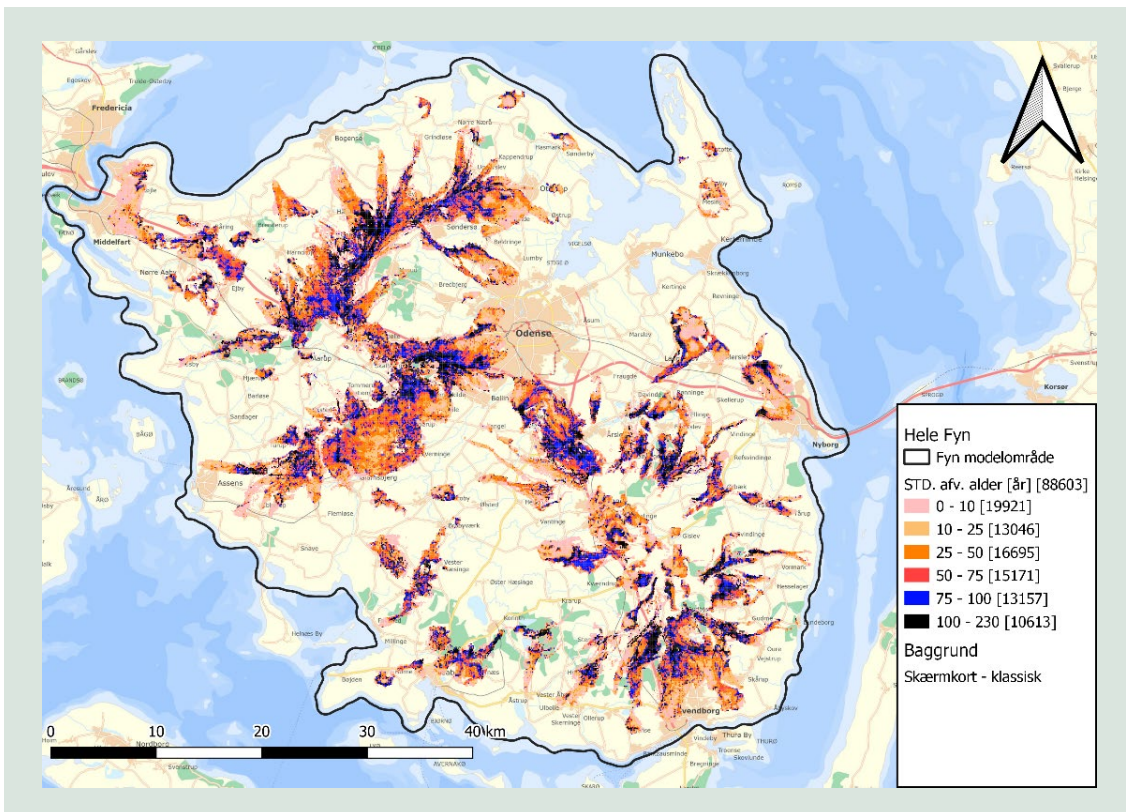
Sandsynligheden for områder med grundvandsdannelse til kildepladser er vist på FIGUR 17. Middeltransporttid og spredning på middeltransporttid for kildepladserne er vist på FIGUR 18 og FIGUR 19.



FIGUR 17. Grundvandsdannelse til kildepladser.



FIGUR 18. Middeltransporttid til kildepladser.

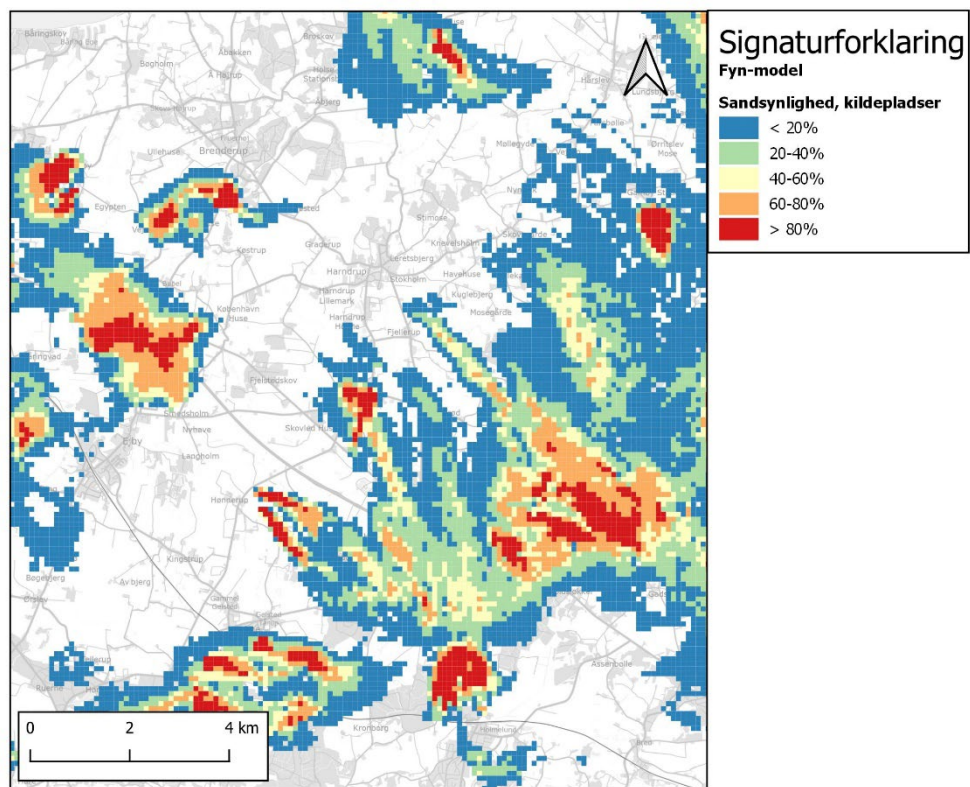
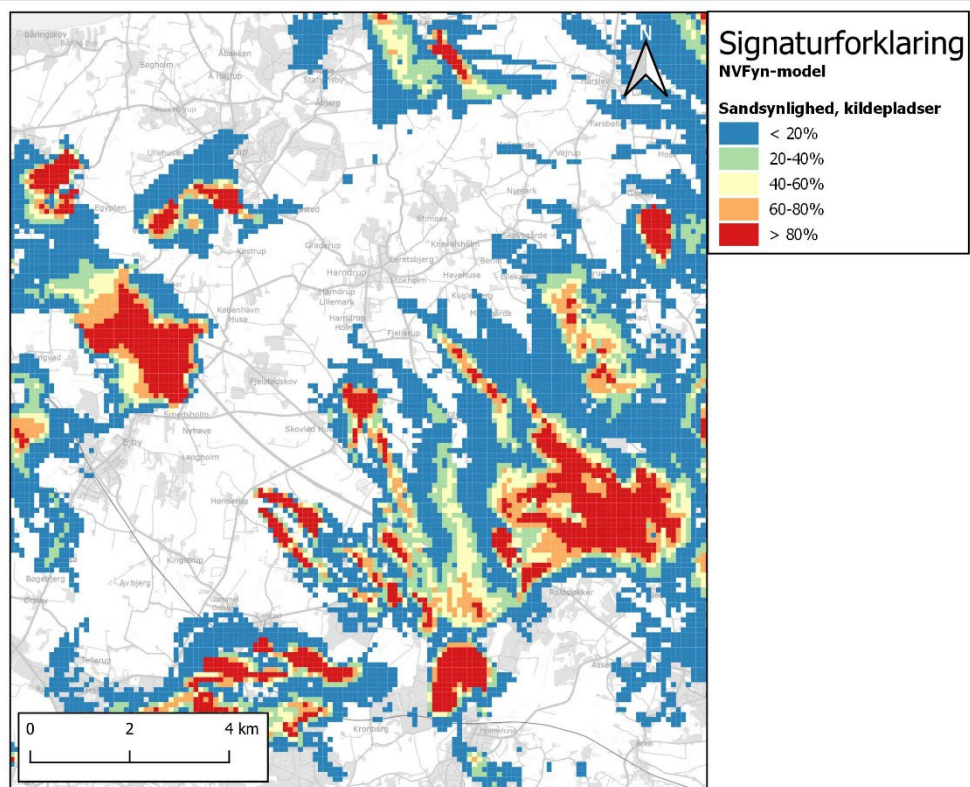


FIGUR 19. Spredning på transporttid til kildepladser.

5.4 Sammenligning af NVFyn- og Fyn-modellen

På er FIGUR 20 den stokastiske analyse (sandsynligheder for grundvandsdannelse på kildepladsniveau) sammenlignet for NVFyn-modellen og Fyn-modellen. Det er således FIGUR 13 og FIGUR 17, der er sammenlignet for et mindre område omkring Harndrup i Nordvestfyn.

Som det fremgår af FIGUR 20 er de to modeller grundlæggende enige om placeringen af de grundvandsdannende områder til kildepladserne, men det større parameterspænd i Fyn-modellen giver lidt mere "udviskede" områder, så f.eks. de områder med 80% sandsynlighed i NVFyn-modellen bliver mindre i Fyn-modellen. De andre forskelle på de to modeller (initiel placering af partikler og antal parametre, der varieres i den stokastiske analyse) vurderes at give en mindre forskel i forhold til parameterspændet. De områder, der kun findes i den ene model, er primært områder med meget lille sandsynlighed (<20%) for grundvandsdannelse til en kildeplads.



FIGUR 20. Udsnit af modellen omkring Harndrup, der viser resultatet af den stokastiske analyse (sandsynligheder for grundvandsdannelse på kildepladsniveau). Øverst: NVFyn-modellen. Nederst: Fyn-modellen.

6. Referencer

- /1/ Rambøll, 2022. Grundvandskortlægning. Hydrologisk model for Fyn – hovedrapport. Rapport udarbejdet for Miljøstyrelsen, april 2022. Rapport ID 95733.
- /2/ Sanchez, S. M. 2011. NOLHdesigns spreadsheet (NOLHDesigns_v5.xls: Generating nearly orthogonal Latin Hypercube designs) Available online via <http://harvest.nps.edu> / under software download <https://nps.edu/web/seed/software-downloads>
- /3/ Notat 2024: Programbeskrivelse af DI_GISMIKE, som er anvendt til at lave resultatudtræk og statistiske beregninger. Notatet opdateres løbende og kan udleveres efter forespørgsel.

Stokastiske partikelbaneberegninger

Pilotprojektet "Grundvandsdannelse" er et samarbejde mellem rådgivere (Rambøll, Niras og COWI/GEO) og Miljøstyrelsen. Formålet er at vurdere usikkerheden på grundvandsdannelse, og denne rapport beskriver de stokastiske analyser og metoder, der er benyttet. Grundvandsdannelsen defineres i denne analyse som den vertikale flux mellem grundvandsmodellens lag 1 og 2. Analysen er udført på både den nordvestlige del af Fyn og for hele Fyn. Med NVFyn-modellen er der udført en følsomhedsanalyse, hvor i alt 75 parametre indgår (hydrauliske ledningsevner, overfladenære parametre mv.). I NVFyn-modellen indgår de 16 mest følsomme parametre i den stokastiske analyse, og der er udført i alt 80 simuleringer. Fyn-modellen anvender de 11 mest følsomme parametre, og med den er der udført i alt 38 simuleringer (heraf fire klimascenarier). Den optimale placering af partikler til estimering af grundvandsdannelse blev vurderet at være i bunden af det øverste beregningslag, hvor 5 x 5 partikler blev placeret. På baggrund af de stokastiske analyser er der beregnet middeltransporttider og standardafvigelse på transporttiden fra det øverste beregningslag til sandmagasiner og kalken samt til indvindingsboringer tilknyttet vandværker.

De to modeller er grundlæggende enige om placeringen af de grundvandsdannende områder, men et større parameterspænd i Fyn-modellen giver mindre områder med 80% sandsynlighed for grundvandsdannelse. Derimod har initial placering af partikler og antallet af parametre i den stokastiske analyse mindre betydning end parameterspændet.



Miljøstyrelsen
Tolderlundsvej 5
5000 Odense C

www.mst.dk