

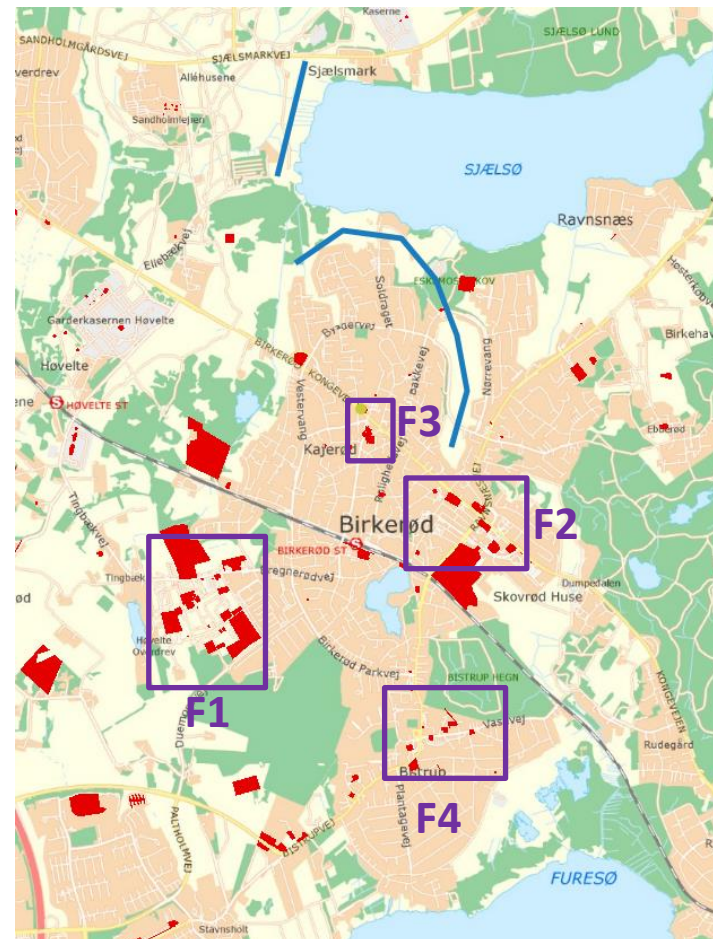
Transportmodellering på oplandsskala

Mads Troldborg (James Hutton Institute), Allan Køtter (RH), Anna Toft (RH), Jesper Damgaard (COWI), Lars Larsen, Jens Asger Andersen, Bertil Carlson, Thomas H. Larsen, alle Orbicon.



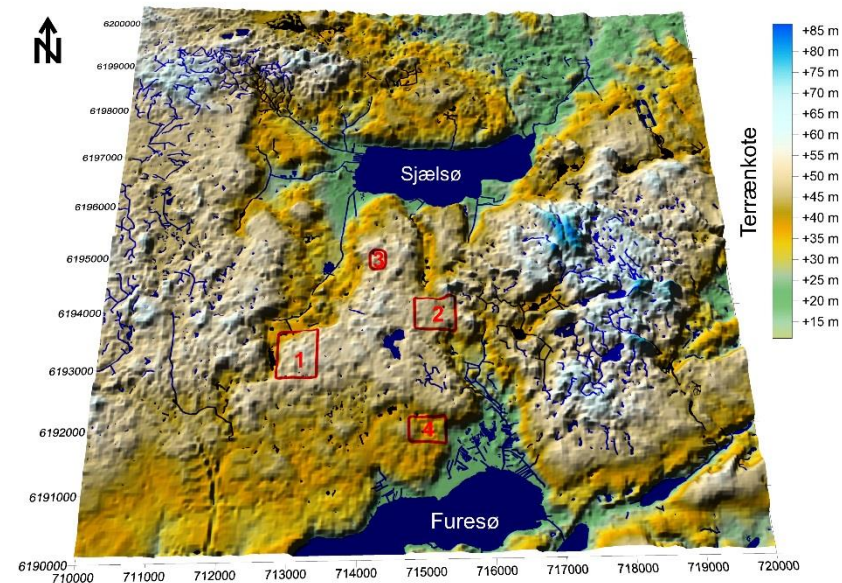
En fælles udfordring for Region H og vandforsyningerne

- Mange kilder med chlorerede opløsningsmidler (MTBE, Cr⁶⁺)
- Store vandforsyninger i nærheden
 - Birkerød VV ca. 1,3 mill m³/år
 - Sandholm Kildeplads ca. 2,8 mill m³/år
 - Nebbegård og Mortenstrup ca. 1,7 mill m³/år (ikke vist på figur)
 - Holte (mod SØ) ca. 0,7 mill m³/år
- RH skal prioritere. Har alle kilderne en potentiel risiko mod forsyningerne, hvilke er værst og hvornår sker påvirkningen?

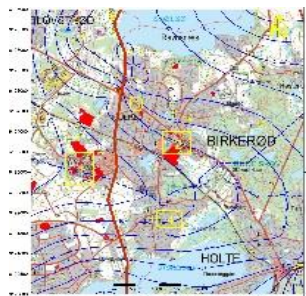
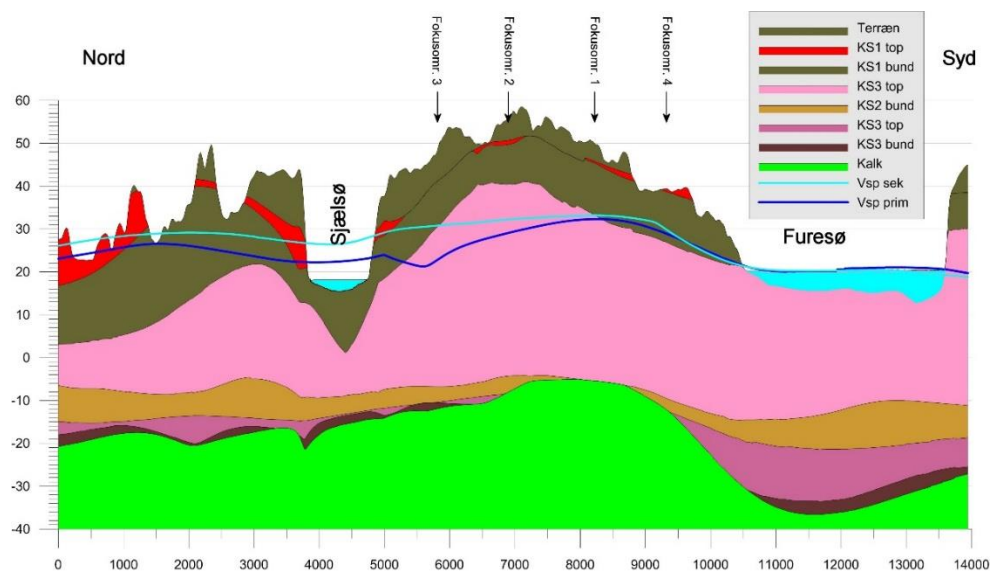


Anvendt fremgangsmåde

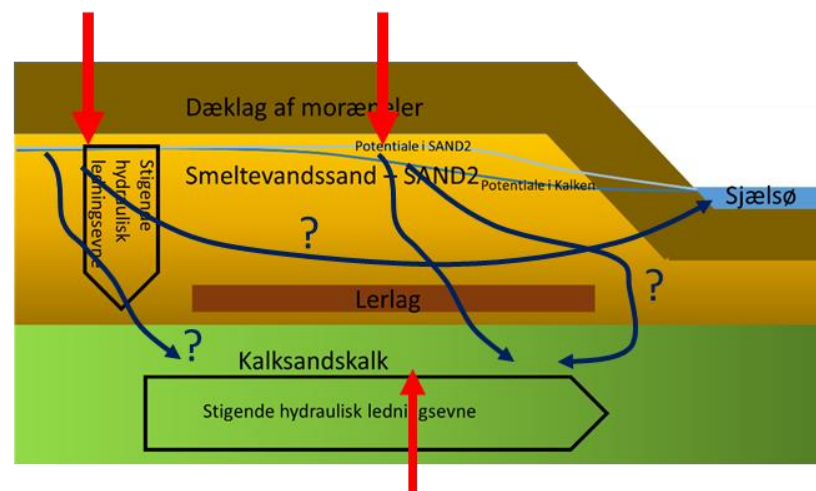
- Revideret konceptuel model for geologi og hydrostratigrafi
- Opstilling af ny hydrostratigrafisk model/tilretning af eksisterende model
- Opstilling og kalibrering/validering af strømningsmodel
- Karakterisering af kildestyrker (21 stk.)
- Opstilling af stoftransportmodel
- Scenarieløbsler
- Rapportering/Digital aflevering



Konceptuel forståelse og geologisk fortolkning

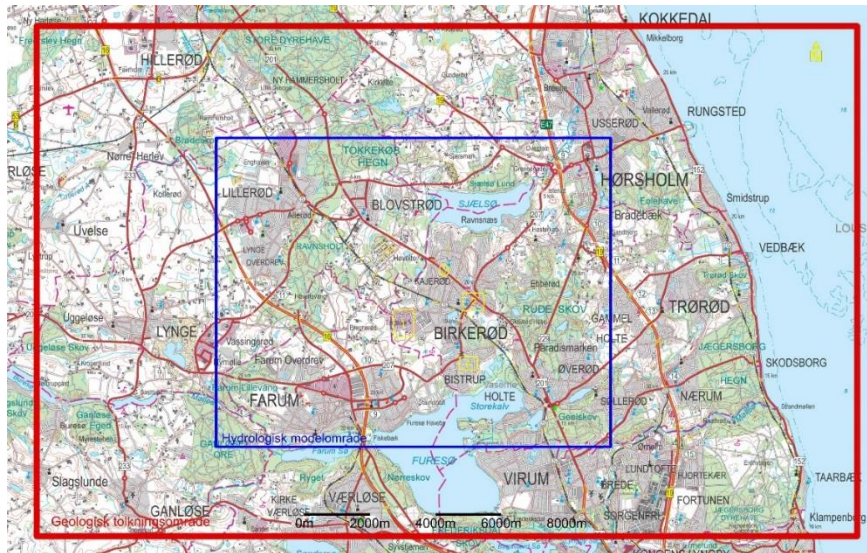


Fokusområde 1 Fokusområde 2 Fokusområde 3

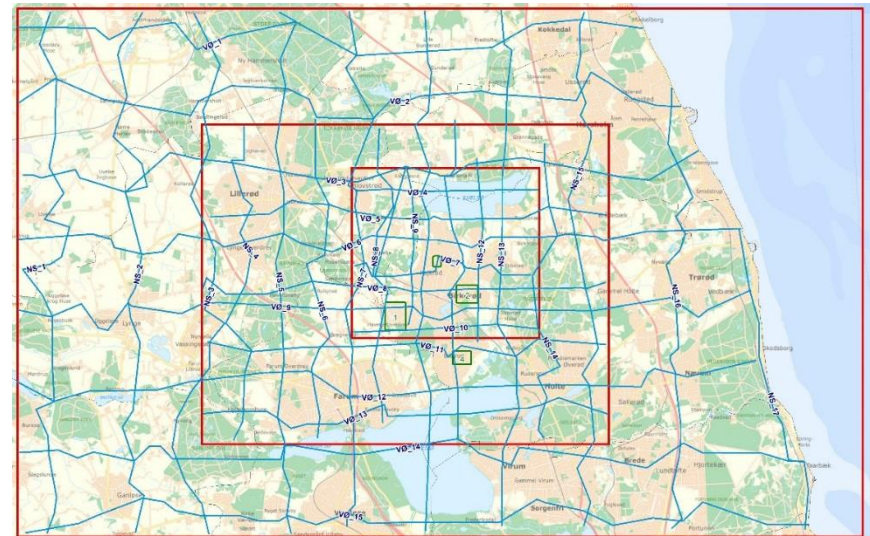


Hovedparten af indvindingen

Geologisk model – revideret pba. Øresundsmodellen



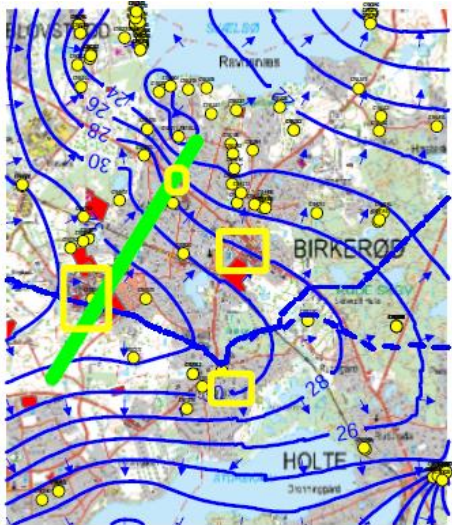
Geologisk modelområde: Rød ramme
Hydrologisk modelområde: Blå ramme



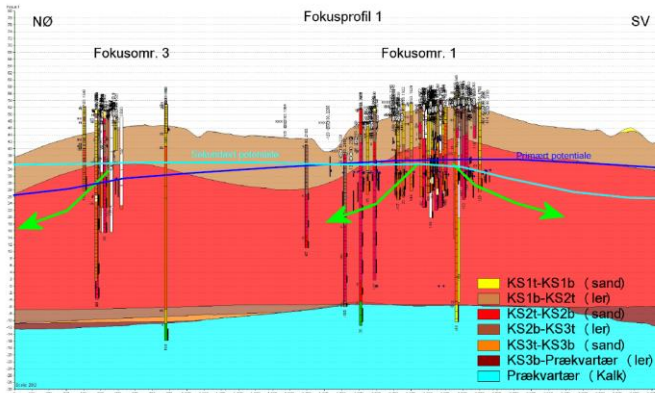
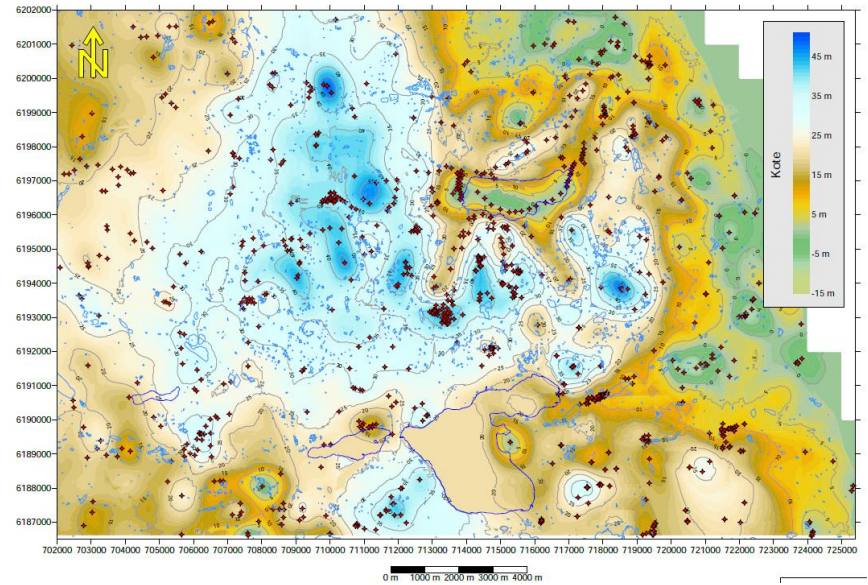
Tolkning langs 17 S-N gående profillinier
Tolkning langs 15 Ø-V gående profillinier

Endelige lagflader bestemt ved interpolation i Surfer i borepunkter i et 20•20 m grid med tolket semi-variogram for den enkelte flade. Geofysik ikke brugbart i området til formålet

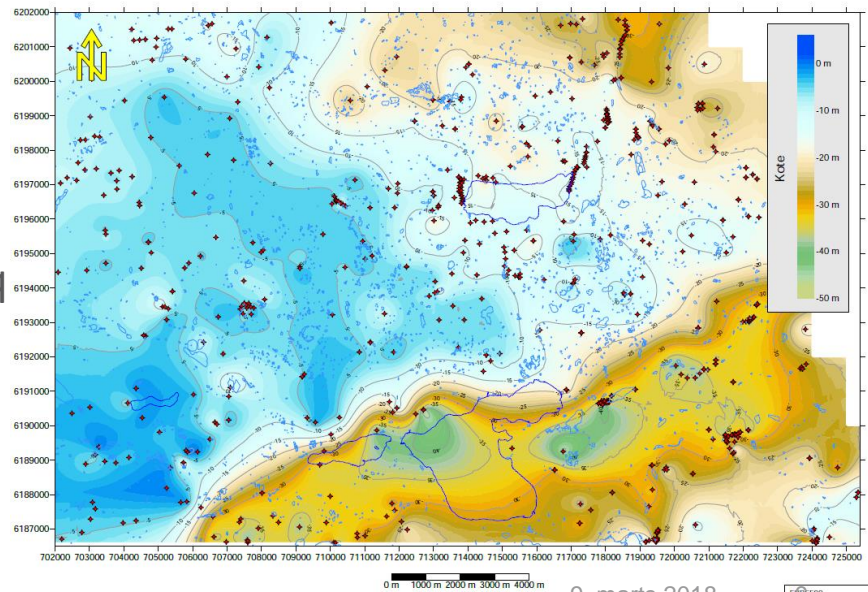
Geologisk model - flader



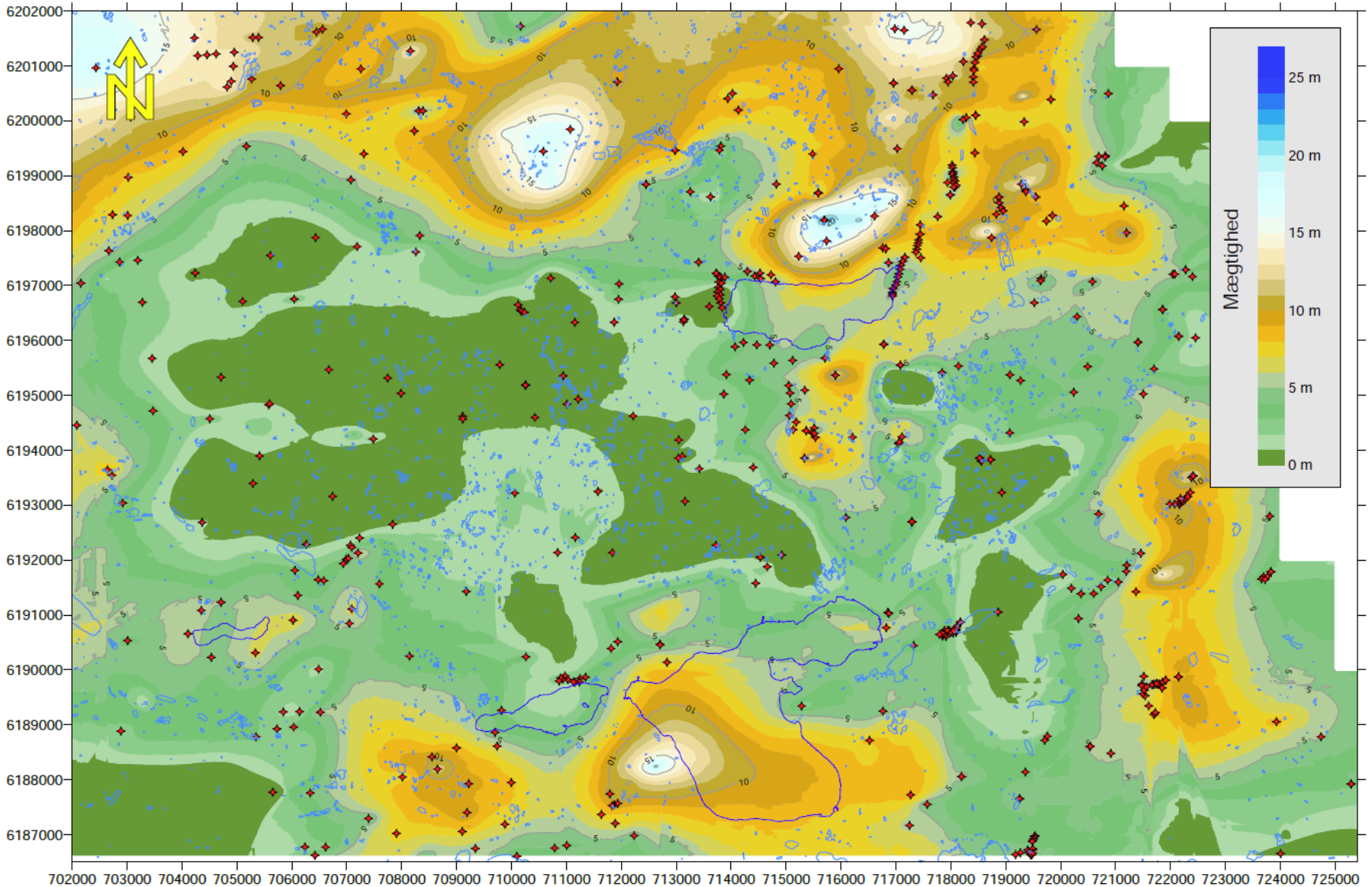
Top of KS2



Top of Præg



Tykkelsen af nedre lerlag



Strømningsmodel og partikelbaner

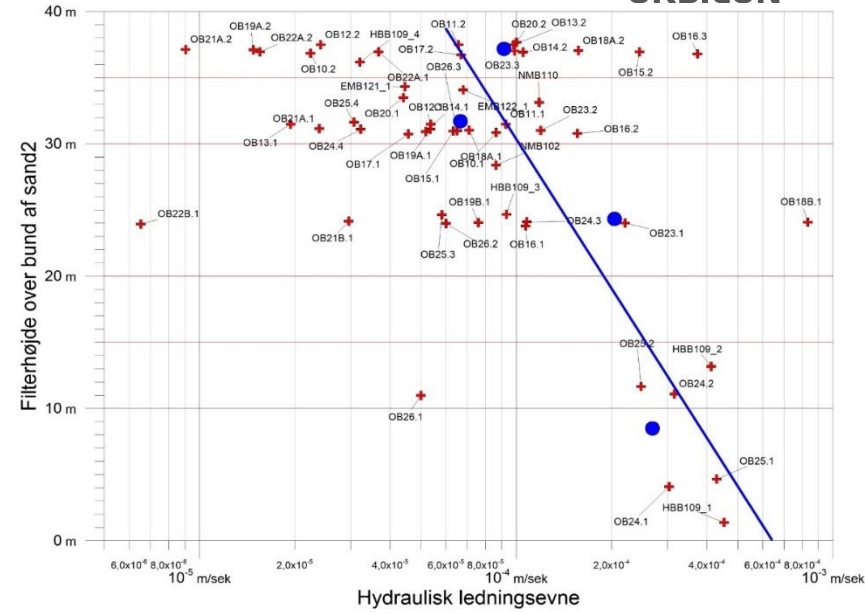
- Opsat i MODFLOW2000 & MODPATH med GMS som brugerflade. USG (UnStructured Grid) og LGR (Local Grid Refinement) blev overvejet, men forkastet.
- Modelområde 12.000•10.000 m
 - 387•363 celler i XY, i alt 1,3 mill. beregningsceller
 - 3 gridstørrelser
 - 10•10 m ved fokusområderne
 - 25•25 m omkring indvindingsboringer
 - 100•100 m ud mod randene
 - 9 vertikale beregningslag
- Stationær model (tidsserieanalyse af VSP og indvindinger viser lille forskel på gradienter)
- Randbetingelser
 - Fastholdt tryk ved randen af modellen, værdier fra udarbejdede potentialekort og Øresundsmodellen
 - Fastholdt vandspejl i Furesø, Sjælsø og Farum sø.
- Pumpeydeler på alle indvindingsboringer og afløb fra Sjælsø + Furesø

Ledningsevner og transmissivitet

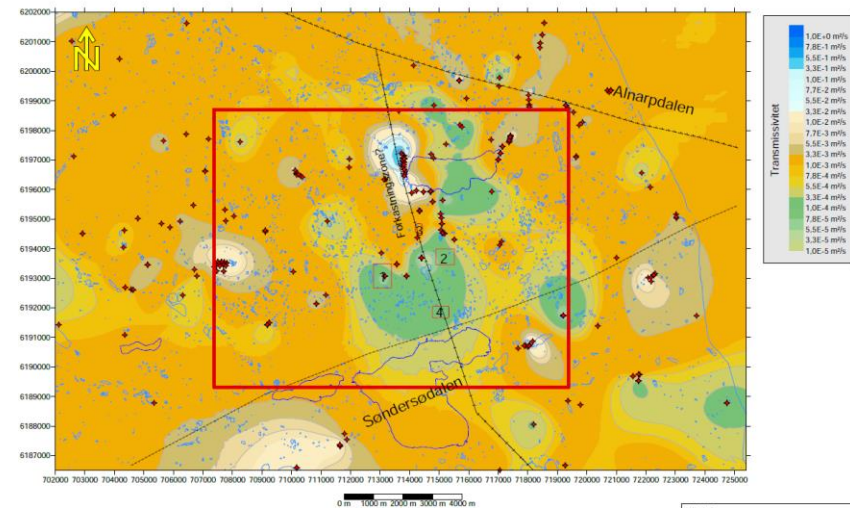


Mod el lag	Geologisk lag	Lag tykkelse (m)	K (m/s)	Kh/Kv
1	Ler 1	3 (0-46)	HK100: 5.0e-8 – 5.0e-6	3 – 20
	Sand 1	2 (0-40)	HK110: 1.0e-6 – 1.0e-4	
	Ler 2	10 (0-38)		
2	Sand 2	31 (4-58)	HK200: 8.0e-6 – 1.0e-4	5 – 30
3			HK210: 1.0e-5 – 5.0e-4	
4			HK300: 2.0e-5 – 5.0e-4	
5			HK310: 5.0e-5 – 8.0e-4	
6			HK400: 2.0e-5 – 1.0e-3	
7			HK410: 5.0e-5 – 3.0e-3	
8	Ler 3	4 (0-24)	HK500: 1.0e-9 – 1.0e-7	3 – 20
9	Sand 3	3 (0-27)	HK600: 1.0e-5 – 1.0e-3	5 – 30
10	Ler 4	1 (0-18)	HK700: 1.0e-9 – 1.0e-7	3 – 20
11	Opsprækket kalk	10	HK800: 5.0e-5 – 5.0e-3	3 – 10
12			HK810: 1.0e-6 – 1.0e-4	
13	Kalk	30	HK900: 1.0e-6 – 1.0e-4	3 – 10
14			HK910: 5.0e-7 – 1.0e-5	

K_h i KS2



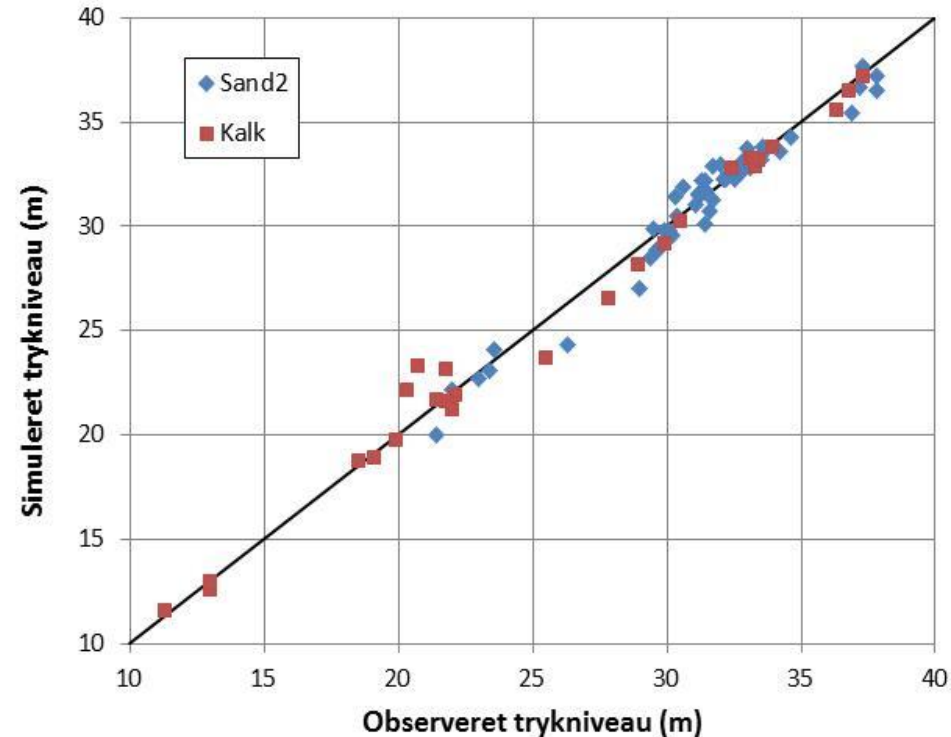
T i Preq



Kalibrering



- 31 kalibreringsparametre
 - 17 hydrauliske ledningsevner
 - 9 anisotropiværdier
 - 5 konduktanser (grundvand/overfladevand)
- Både automatisk og manuel kalibrering

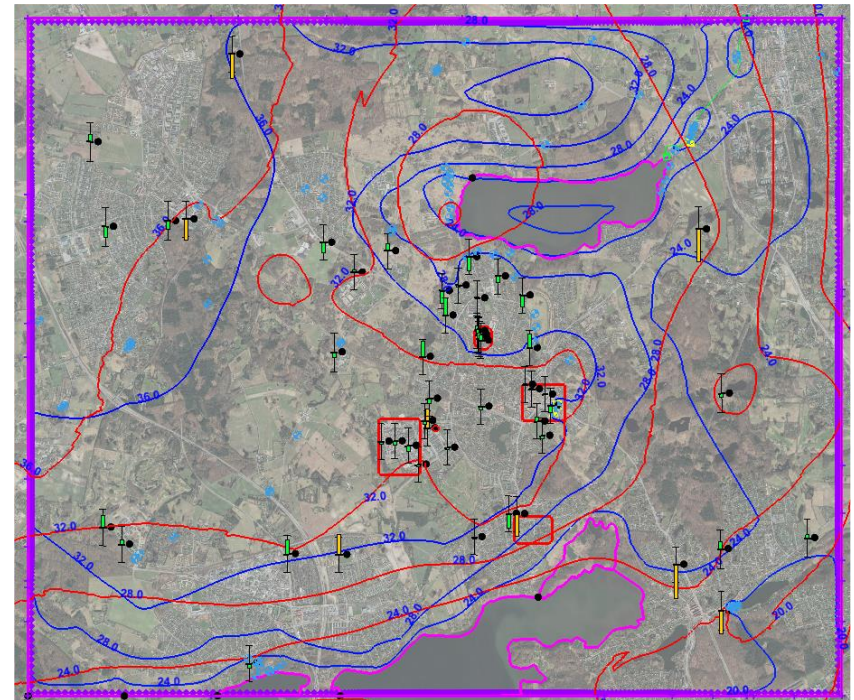


For nørderne:

Kriterium	Konservativ	High fidelity	Kalibrering
$ME/\Delta h_{\max} \leq \beta_1$	0.025	0.01	0.0043
$RMS/s_{\text{obs}} \leq \beta_2$	2	1.65	1.34
$SE \leq \beta_2$	2	1.65	1.41
$RMS/\Delta h_{\max} \leq \beta_3$	0.1	0.05	0.029
$ F_{\text{bal}} \leq \beta_6$	0.2	0.1	0.086

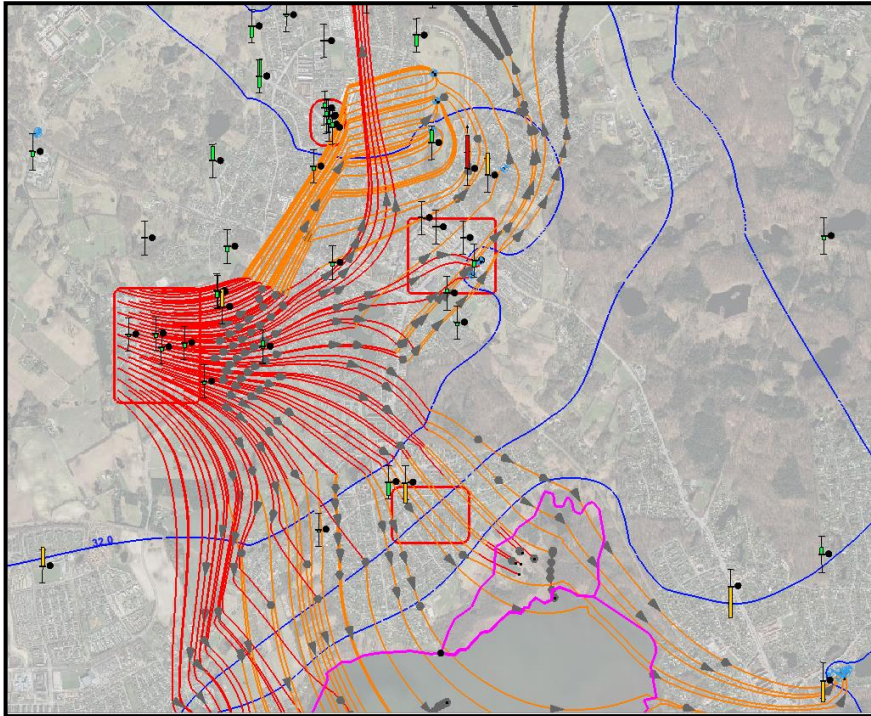
Usikkerheder

- Konceptuelle model
 - Placering af grænsen horisontalt af nedre lerlag (Ler3)
 - Zoneringen af K værdier
- Variabilitet i nettonedbøren over området
- Usikkerhed på observationsdata (vandføring, pejlinger)
- Ingen validering (manglende sammenhængende data fra eks. 1980 eller anden periode med kendt indvinding)

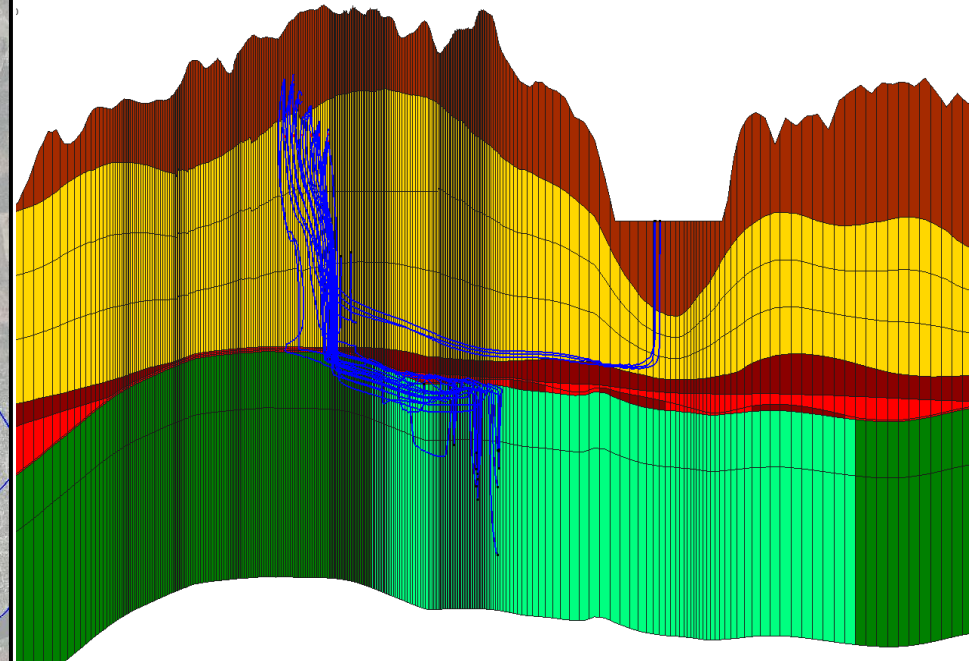


Simuleret og Interpoleret potentiale i Sand 2
Rød: Interpoleret; blå: modelleret

Partikelbaner - forlæns



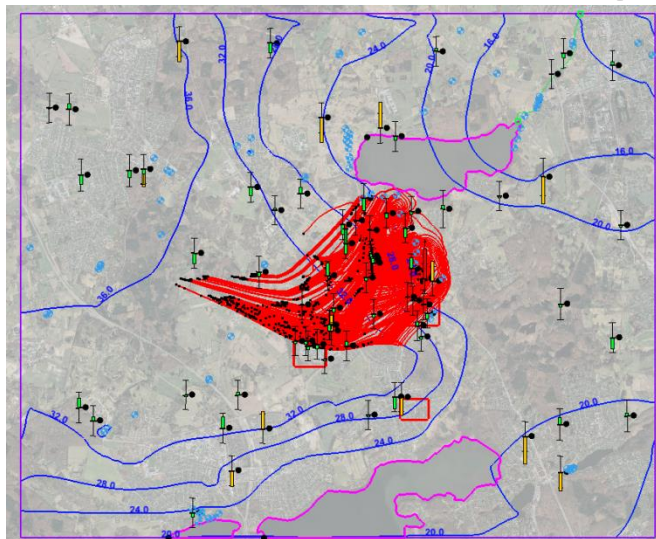
Fokusområde 1
Rød er partikler i Sand 2
Orange er i kalken



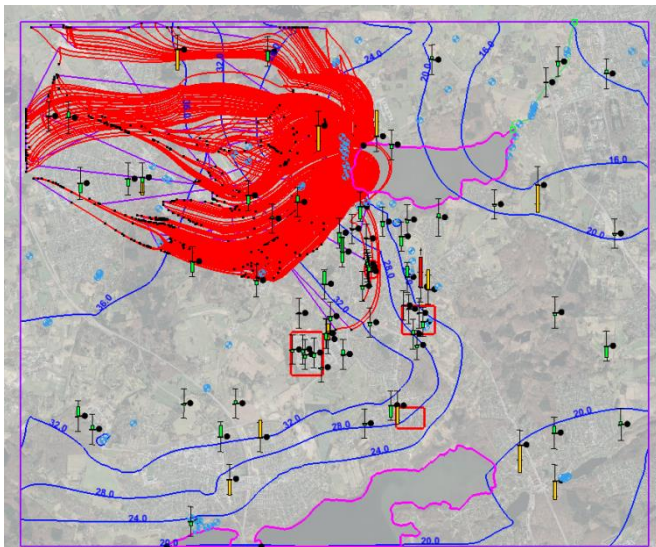
Fokusområde 1
Blå er partikelbaner

Alder på vandet til borerne er 30-70 år

Partikelbaner - baglæns



Birkerød vandværk

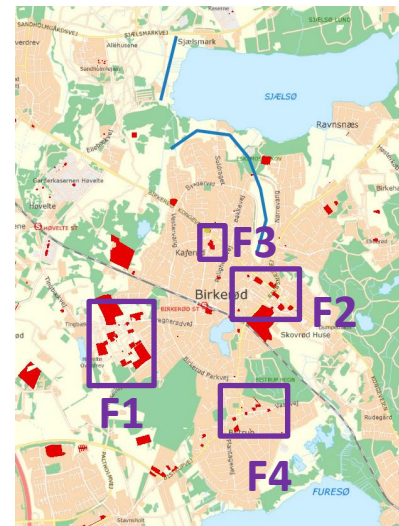


Sandholm kildeplads

Sorte prikker viser hvor grundvandsdannelsen starter

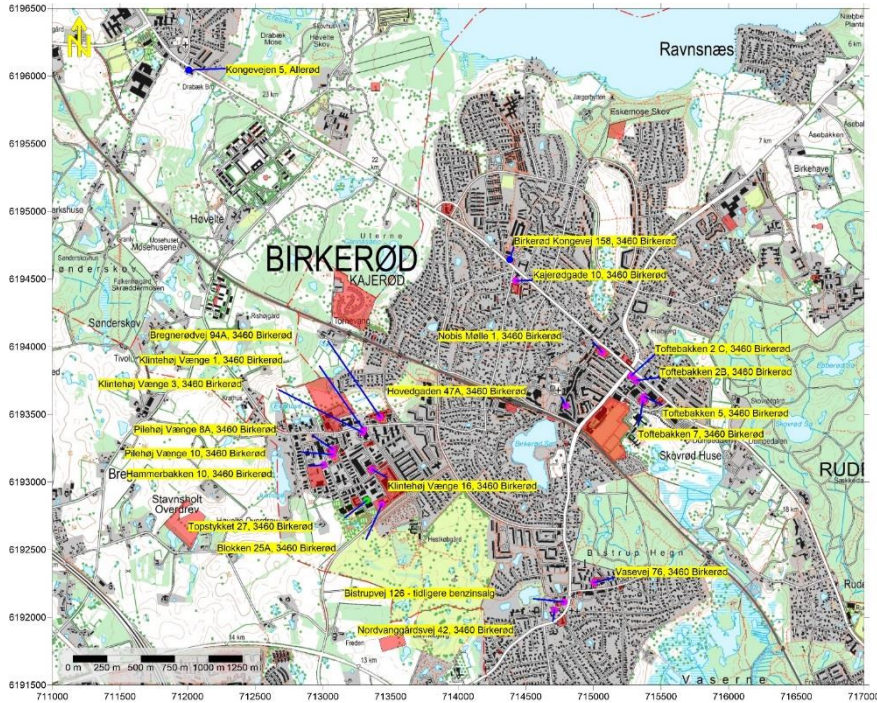
Opsamling på strømning og partikelbanesimulering

- Fokusområde 1:
 - Ligger delvist i oplandet til Birkerød VV
 - Den sydlige del strømmer mod Furesøen
 - En del ender i Sjælsø
 - Få ender i Holte VV og Nebbegård
- Fokusområde 2:
 - Hovedparten ender i Sjælsø (kommer ikke i kalken) eller i eksisterende afværg
 - Noget ender i Sandholm (meget afhængig af størrelsen af hullet i Ler3)
- Fokusområde 3:
 - Hovedparten ender i Sjælsø
 - Få partikler i Sandholm
- Fokusområde 4:
 - Ender i Furesøen, en del via kildevæld i Vaserne



Kilder, massestrømme og varigheder

21 ejendomme = 18 lokaliteter

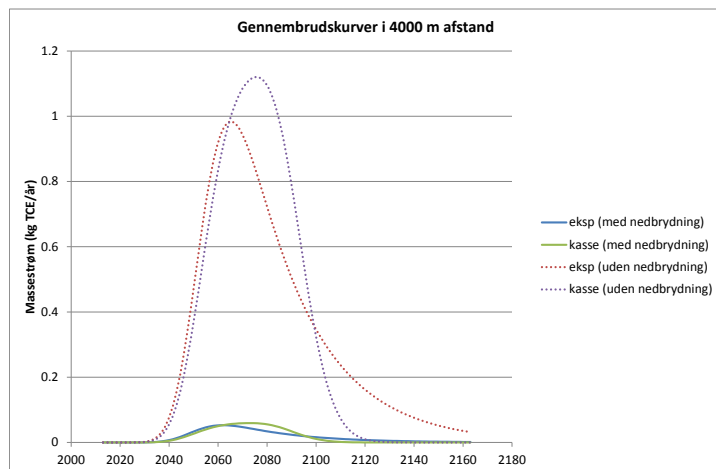
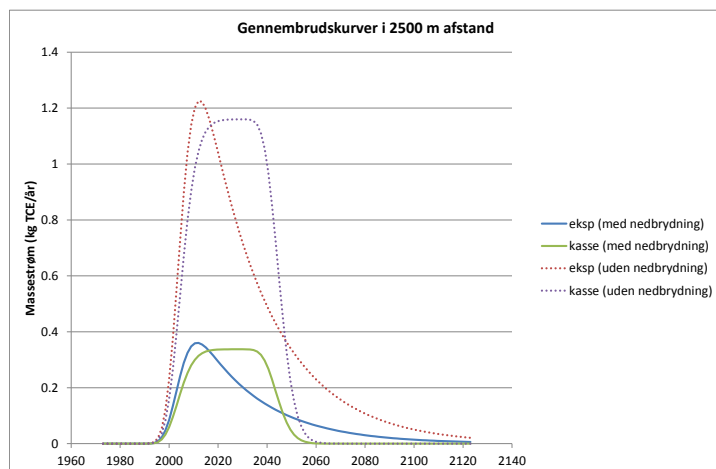


- JAGG2 anvendt til at vurdere den vertikale transporthastighed
- Kassemodel anvendt til beskrivelse af massestrøm
- Evaluering af estimater i tre grupper:
 - 2 "ringe"
 - 6 "middel"
 - 10 "gode"

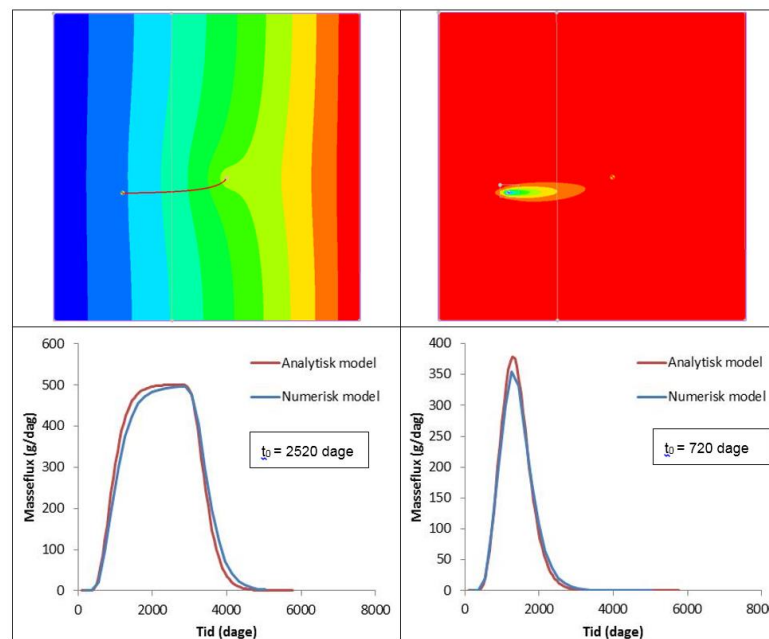
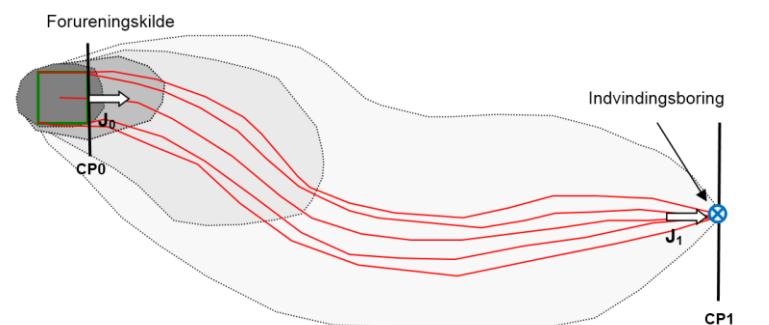
Lokalitet	Stof	Belastnings-periode ¹⁾	Belastning på grundvand ²⁾	Flux ³⁾ (Kg/år)
Bregnerødvej 94A	TCE	1956-1976 20 år	1971-2013 2013-2024	Før afværge: 1,5 Efter afværge: 1,5
Klinthøj Vænge 1	TCA, TCE	1966-1986 20 år	TCA: 1978-2038 TCE: 1978-1983	TCA: 0,149 TCE: 0,062
Klinthøj Vænge 3-5	TCA, TCE	1963-1992 29 år	1.1-DCE: 1978-1980 TCE: 1975->2100	1.1-DCE: 0,043 TCA, TCE: 0,017
Pilehøj Vænge 8-10	TCE	1966-1977 18 år	1984-2015	Før afværge 1,0 Efter afværge 0,01
Hammerbakken 10	TCE	1984-2002 18 år	TCE: 1990-2020	2,0
Klinthøj Vænge 16	TCE	1962-1987 25 år	TCE: 1973->2013 2013-2063	1,5 0,04
Blokken 25A	PCE	1980-2008 28 år	PCE: 1998 - 2115	3,5
Topstykket 27	Chrom ⁶⁺	1968-2005 37 år	??	Horizontal flux 1-4 0 kg/år anvendes i model pga. udfældning i nærområdet
Toftebakken 2B+C	TCE Cis-DCE VC, alt regnes som TCE	1964-1986 22 år	TCE: 1980-2100	TCE: 0,05 kg/år
Toftebakken 5	TCE	1963-1987 24 år	1973-2002	Før afværge 2,5 Efter afværge 0 (fanges i afværgeren)
Toftebakken 7 og 9	TCE	1957-1987 31 år	1973-2002	Før afværge 4,0 Efter afværge 0 (fanges i afværgeren)
Nobis Mølle 1	PCE	1963-1982 19 år	2006-2210	0,05
Hovedgaden 47A	PCE	1964-2017 34 år	1994-2042	0,02 kg/år
Birkerød Kongevej 158	MtBE Benzen	MtBE:1985-1994 9 år Benzen: 1955-2015 60 år	MtBE: 1986-1995 og 1996-2006 Benzen: 1970-1995 og 2008-2065	MtBE: 25 i 1986-1996; 2,5 i 1996-2006 Benzen 10 kg/år 1970-1995 og 2008-2065
Kajerødvej 5B-C	PCE	1960-1977 17 år	1995->2100	0,0025
Bistrupvej 126	MtBE	MtBE: 1985-1989 4 år	MtBE: 1994->2013	MtBE: 1-10
Nordvanggårdsvej 42	PCE	1958-1971 13 år	PCE: 1977-2075	0,3
Vasevej 76	PCE	1965-1981 16 år	PCE 1980-2060	0,3
Kongevejen 5	MtBE	1985-1994 9 år	MtBE:1992-2012	1

Stoftransport modellering – anvendelsen af forskellige kunstgreb

Kassefunktion vs. eksponentiel



Numerisk (MT3D) vs Analytisk model (Excel)



Parametre

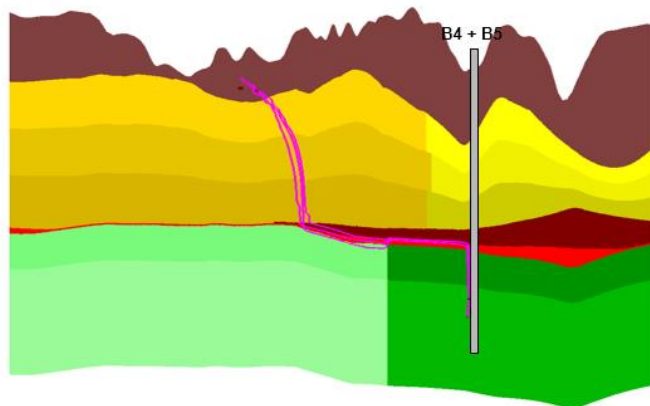
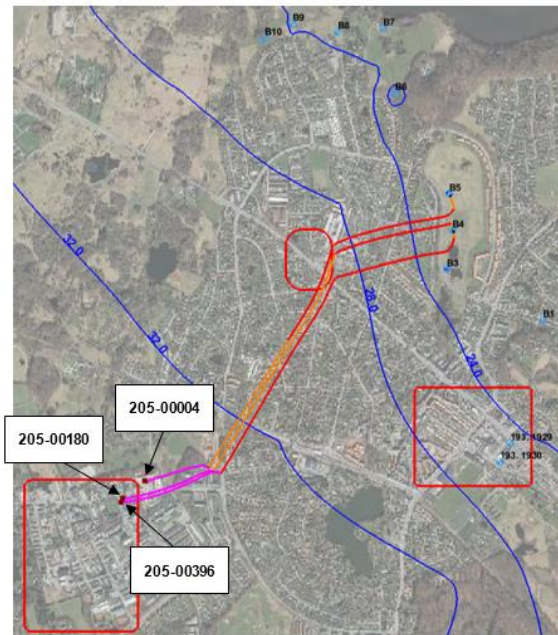
$$R \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} - v \frac{\partial C}{\partial x} - kC$$

$$R = 1 + \frac{\rho_b K_d}{\theta}$$

- Dispersivitet (skalaafhængig), α_L er beregnet ud fra Schulze-Makuch (2005), dog maksimalt 100 m
- Hastighed af vandet (fra GV modellen), gennemsnit
- Nedbrydningsraten
- F_{oc} i sediment
- Massefylde af sediment
- Porøsitet i sedimentet

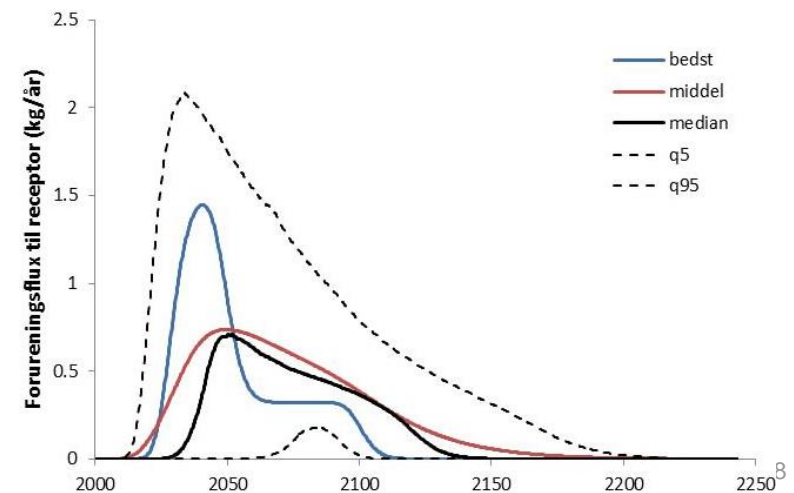
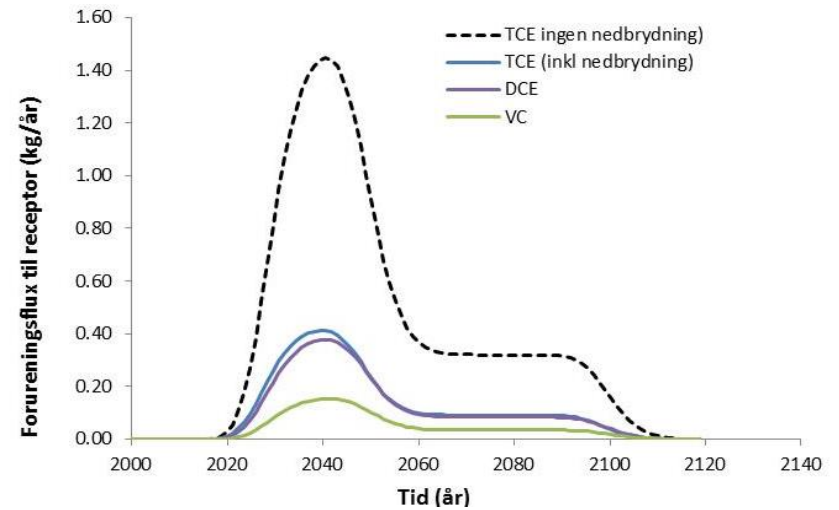
Stof	Log Kow	Log Koc	D_w^*	Mol vægt	k (anaerob)	k (aerob)
			[m ² /dag g]	[g/mol]	[dag ⁻¹]	[dag ⁻¹]
PCE	3.4	2.7 (2.5-3.0)	5.5e-5	165.8	0.0005	0
TCE	2.42	1.7 (1.7-2.2)	6.2e-5	131.4	0.0001	0
cis-DCE	2.13	1.4 (1.4-1.9)	7.2e-5	96.9	0.0001	0
VC	1.62	0.8 (0.8-1.3)	9.0e-5	62.5	0.0004	0.01
TCA	2.49	1.7 (1.7-2.2)	6.2e-5	133.4	0.0005	0.005
MTBE	0.94	0.14 (0.1-1)	7.6e-5	88.1	0.0001	0.001
Benzen	2.13	1.4 (1.4-1.9)	8.0e-5	78.1	0.001	0.01

Bregnerødvej som eksempel



5000
Monte
Carlo

Påvirkning af B5

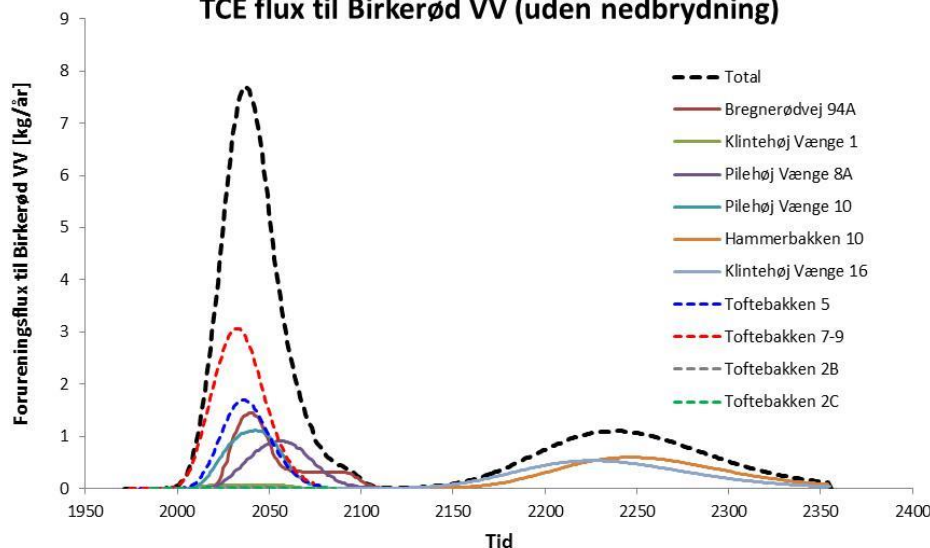


Summeret påvirkning Birkerød VV

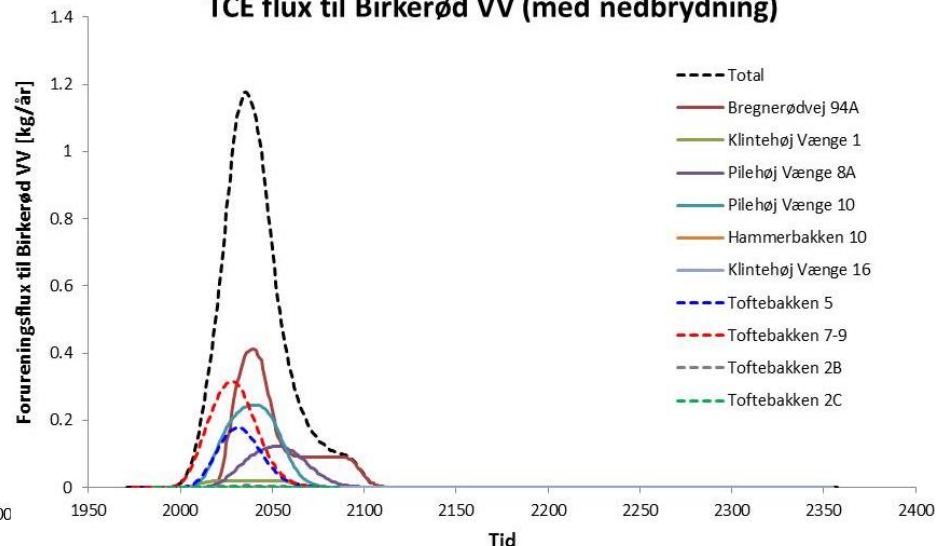
OBS forskellige skalaer



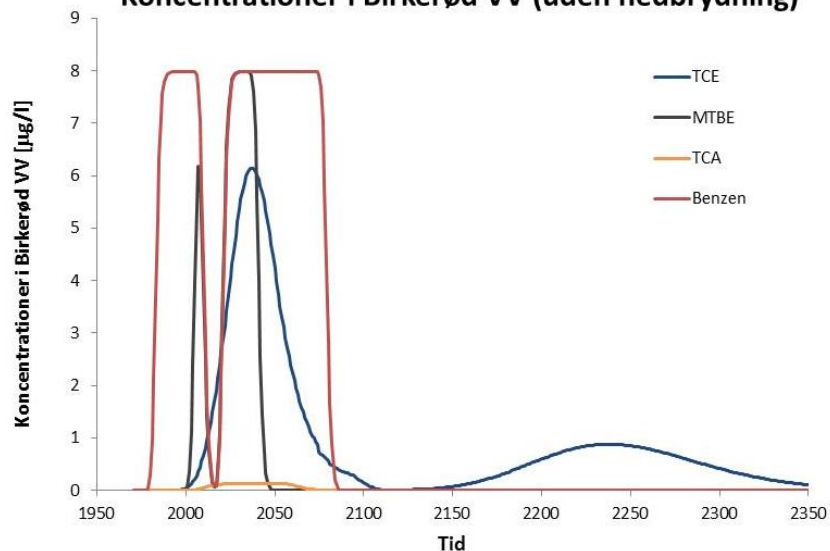
TCE flux til Birkerød VV (uden nedbrydning)



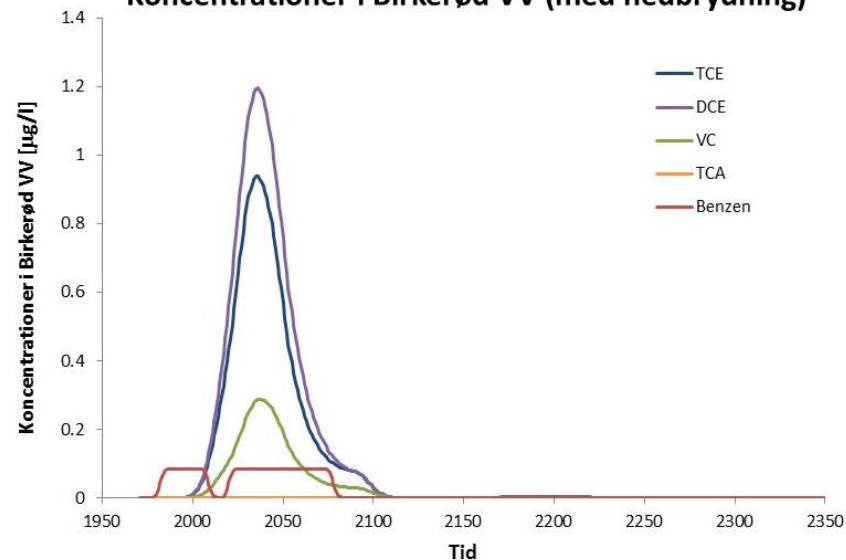
TCE flux til Birkerød VV (med nedbrydning)



Koncentrationer i Birkerød VV (uden nedbrydning)



Koncentrationer i Birkerød VV (med nedbrydning)



Konklusioner

- Overordnet er tankegangen omkring anvendelse af modeller meget dikteret af storskala anvendelse til udpegning af store oplande (vandforsyningstilgang). Disse er ikke velegnede til stoftransport.
- En retolkning, særligt i forhold til fordeling af K værdier kan derfor være nødvendig.
- Usikkerhederne på den geologiske model styrer i høj grad om partiklerne/forureningen potentielt ender det ene eller andet sted.
- Pga af dybde til lag og tykkelse er geofysiske data meget lidt brugbare til denne type af modellering. Også problematisk i byområder.
- Anvendelse af 1. dimensional stoftransport er acceptabel, når det primært er receptorerne, der er de interessante.
- 1. dimensionel analytisk beregning er hurtig og giver mulighed for Monte Carlo analyse.
- Nedbrydning og størrelsen på raten er essentiel i den endelige vurdering af risikoen. Svær at gætte over de store afstande og redoxforhold, der ofte er mellem kendte forhold (kilde og forsyning).