

Transportprocesser i umættet zone



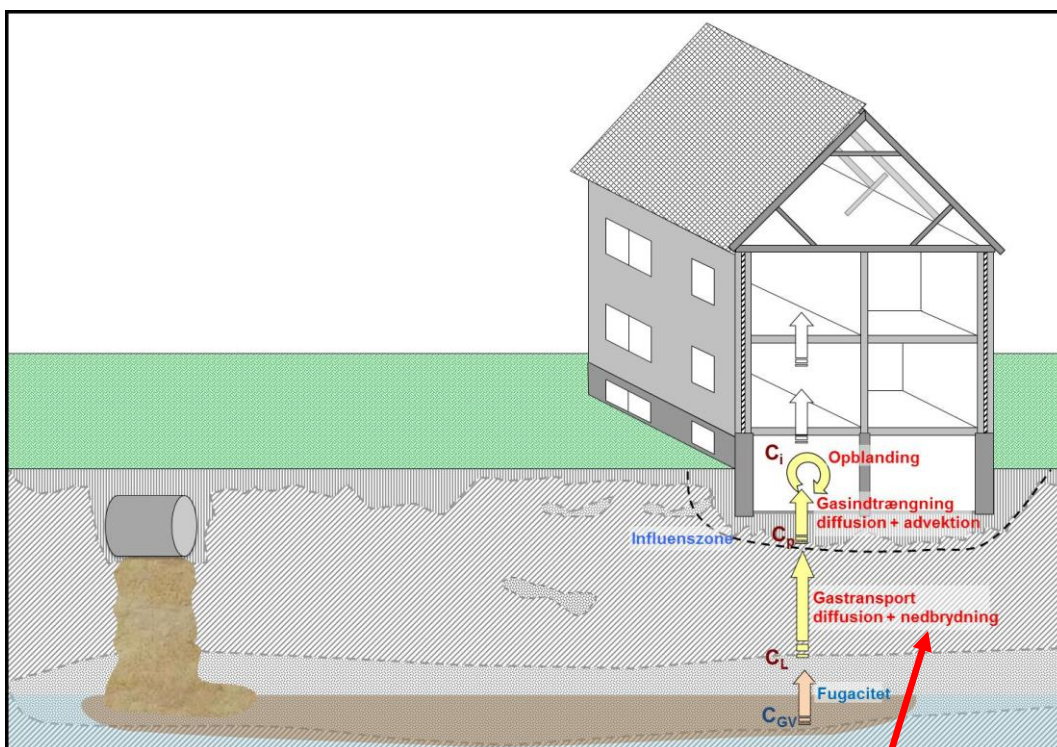
Temadag Vintermøde 2018: Grundvand til indeklima - hvor konservativ (korrekt) er vores risikovurdering?

Thomas H. Larsen



JAGGS tilgang

Det kan da ikke være så kompliceret ;-)



Figur: Tage Bote, COWI

Godt gemt

Beregning af indeklimakoncentration i bygning med terrændæk

Influenszone og membrer Indtast data for evt. membrer og kapillærbrydende lag og for jordlag mellem grundpladespejdet og bygningen.

Membran	Jordlag/Membran	Jordlag Dybde fra m. over	Jordlag Dybde til m. under	Lag tykkelse (m)	Permeabilitet (m/s)	Vandindhold (%)	Samlet permeabilitet af jordlaget (m/s)	Volumen af jordlaget (m³)	Materialkonstant (m/s)
Egen lase	0			0			0	1	0.0000
kapillærbrydende lag	0			0	0	0	0	1	0.0000

Jordparametre

Jordtype	Jordlag Dybde fra m. over	Jordlag Dybde til m. under	Lag tykkelse (m)	Permeabilitet (m/s)	Vandindhold (%)	Samlet permeabilitet af jordlaget (m/s)	Volumen af jordlaget (m³)	Materialkonstant (m/s)
Egen lase			0			0	1	0.0000
Egen lase			0			0	1	0.0000
Egen lase			0			0	1	0.0000
Egen lase			0			0	1	0.0000

Samlet lagtykkelse: 0 m. Samlet materialkonstant: 0.0000

Bygningsdata Vælg type af terrændæk, eller indtast egne data

Terrændæk

Bygningsdata Indtast bygnings data **Beregne bygningsdata** Aarskad beregnede bygningsdata, eller indtast målte data

Forurening Data for forurening er overført fra fugacitetsmodul

Indtast baggrundskoncentration

Stofnavn	Tetrachlorætylen	Trichlorætylen	di-12-Dichlorætylen	Wyclohexid
Højdepunkt				
Dato	09/13/2018	31/13/2018	12/14/2018	13/14/2018
Permeabilitetskoncentration	0.013407187	311.1344914	162.7649127	1131.412462
Turt af andre værdier				
Bioproduktionskoncentration				
Diffusionskoefficient (m²/s)	6.31E-04	7.17E-04	8.39E-04	1.04E-03

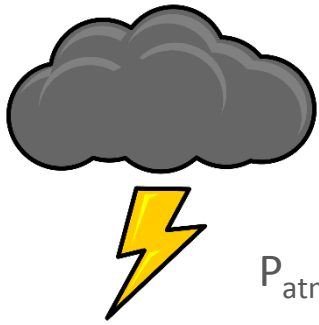
Beregning: Indeklima

Stoffegennemstrømning	J	#VERDI	#VERDI	#VERDI	#VERDI	m³/(m²·m)
Permeabilitetsværdi ved C _i		#VERDI	#VERDI	#VERDI	#VERDI	m³/m²
Diffusionsbidrag til indtast		#VERDI	#VERDI	#VERDI	#VERDI	m³/m²
Tæthedsbidrag til indtast		#VERDI	#VERDI	#VERDI	#VERDI	m³/m²
Afkomingskapacitet	0.006	0.001	0.4	0.00004		m³/m²
Overskudsrate af bioprodukt	#VERDI	#VERDI	#VERDI	#VERDI		g/m²
Aarskad Bioprodukt	Nej	Nej	Nej	Nej		g/m²

Kort sammenligning – JAGG vs ”den virkelige verden”

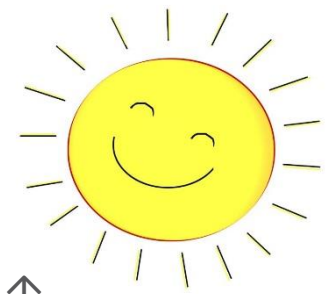


- JAGG
 - Stationært system
 - 1-dimensionalt
 - Semi-homogent
 - Normalt ingen nedbrydning
 - Ingen trykpåvirkning
 - Ingen temperaturafhængighed (Standardparametre ved 25°C)
- Den virkelige verden
 - Relativt dynamisk system
 - 3-dimensionalt – dvs. ting udbreder sig i alle retninger
 - Inhomogent (både mht. til geologi, vandindhold og meget andet)
 - Potentielt nedbrydning for nogle stoffer i dele af matricen (eller i den hele)
 - Varierende atmosfæretryk og temperatur i jorden



$P_{atm} \downarrow$

Et overblik – eller i det mindste et forsøg 😊



$P_{atm} \uparrow$



Prop ▾



Porestørrelsesfordeling
Permeabilitet

Lokalt vandindhold

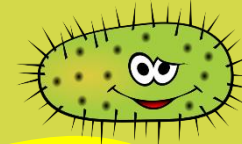
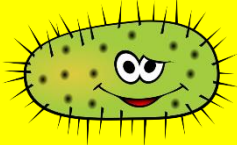
Indhold af organisk stof

Redoxforhold

Næringsalte

**Stofegenskaber (D_a ,
 K_{ow} , S , nedbrydelighed)**

....



Diffusion

Advektion

Fordeling mellem faser

Nedbrydning

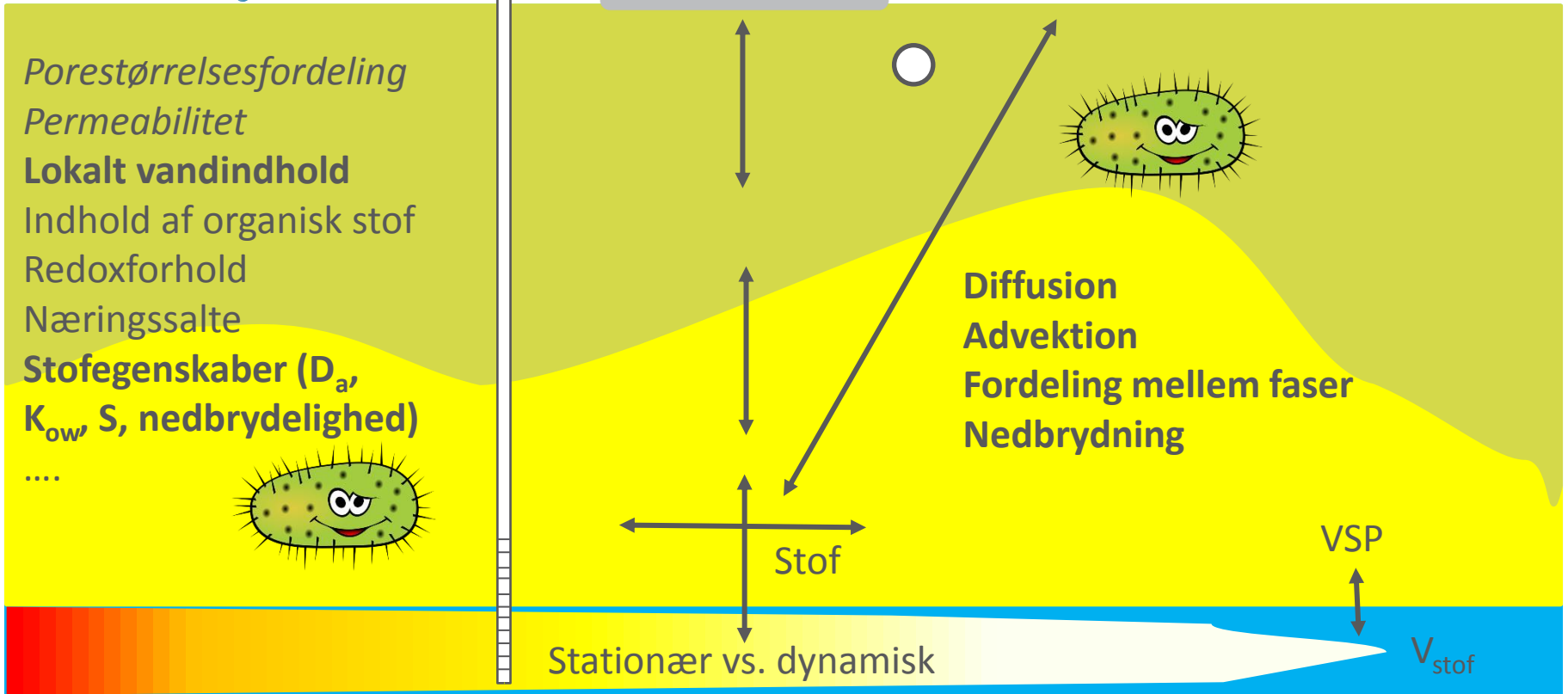


Stof

VSP

V_{stof}

Stationær vs. dynamisk



Fordeling (fugacitet) & temperatur

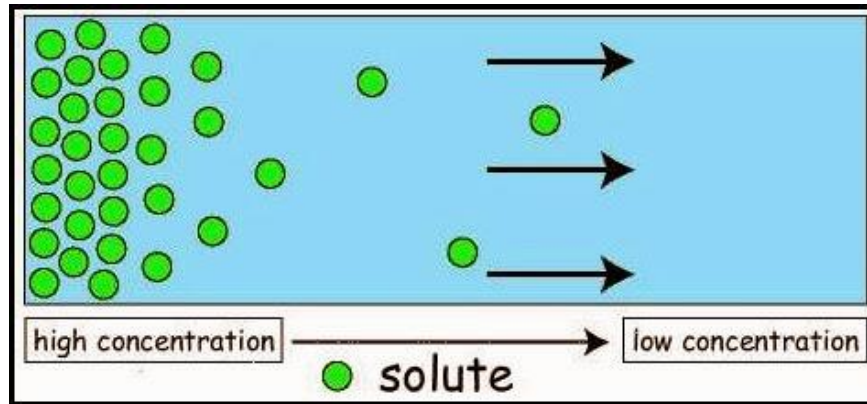
- Totalindhold i jorden
 - Opløst i poreluften (damptryk, Henrys lov konstant voldsomt temperaturafhængigt)
 - Opløst i vandet (opløseligheden, stort set temperaturuafhængigt i normalområdet, Henrys lov konstant stærkt temperaturafhængigt)
 - Sorberet til jorden (Fordelingskoefficienten stort set temperaturuafhængig i normal området)
 - Fri fase som immobile ”dråber” eller sammenhængende – ser vi bort fra i dag

JAGGs standardjord : sand

Effekt af temperatur på fordeling af vinylchlorid (VC), trichlorethylen (TCE) og benzen

Temp	Stof	Vand	Luft	Total
		mg/l	mg/m ³	mg/kg
25°	VC	1	1139	0,34
9°	VC	1	682	0,25
25°	TCE	1	381	0,23
9°	TCE	1	162	0,18
25°	Benzen	1	223	0,17
9°	Benzen	1	102	0,15

Diffusion



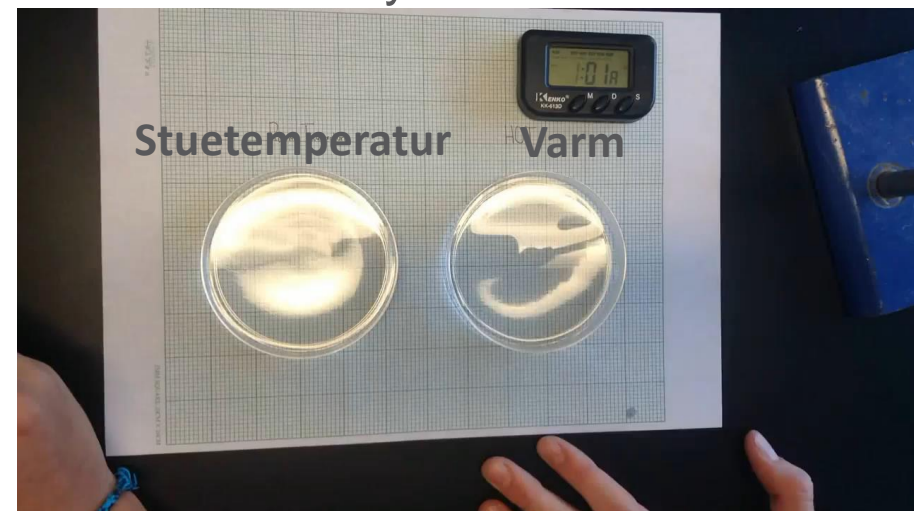
$$J = A \times D \times \frac{\partial C}{\partial x}$$

Stationær transport
Fick's 1. lov

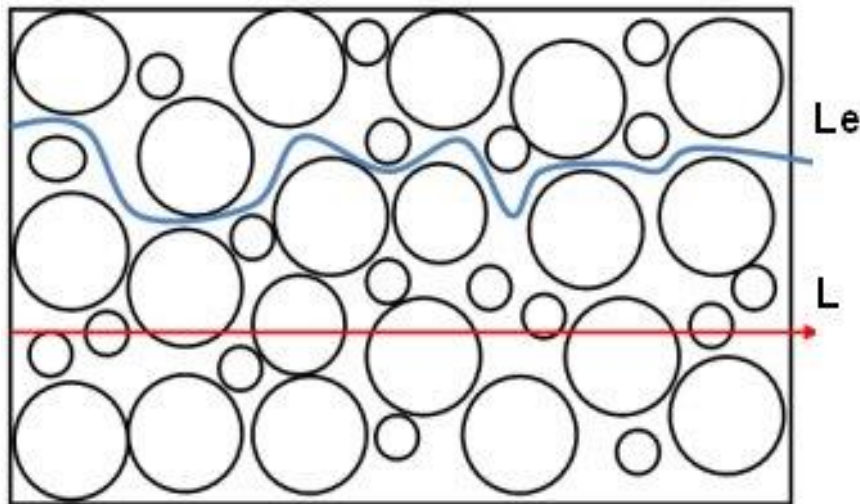
$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \times \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Dynamisk transport
Fick's 2. lov

- D afhænger af stof og medie
- D i vand er ca. 10.000 gange mindre end i luft (tommelfingerregel)
- Temperaturafhængig og stofafhængig
- Høj temperatur = Højere D
- Mindre molekyler = større D



Tortuositet – (snørklethed) i poreluft/porevand



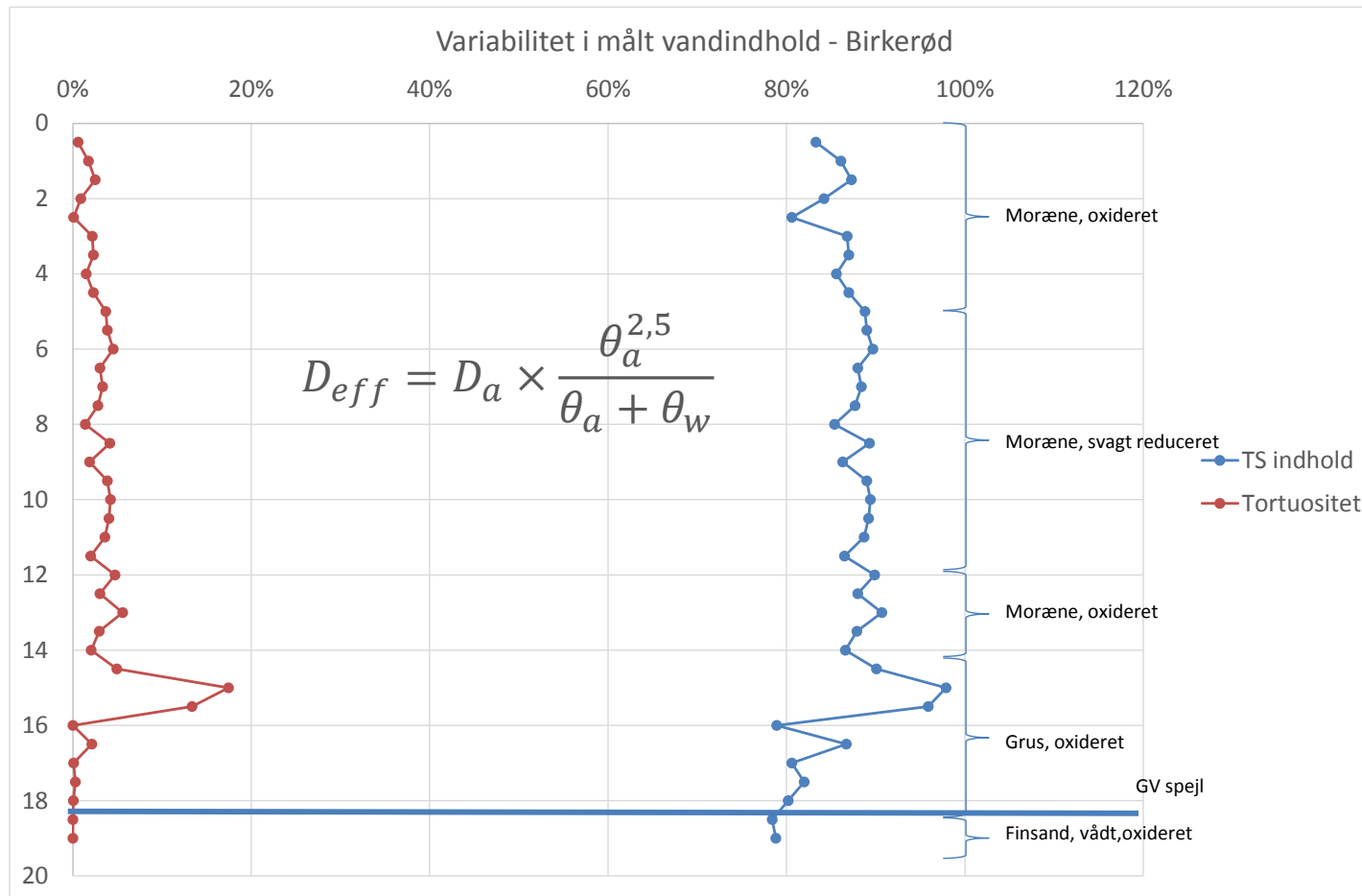
$$J_a = A \times (\theta_a \times \tau) \times D_a \times \frac{\partial C}{\partial x}$$

- Den tortuositet vi normalt bruger i JAGG er en kombination af τ og θ_a for diffusion i poreluft
- Der er mange relationer til bestemmelse af τ , dvs. den er pr. definition en usikker parameter, da den tillemper virkeligheden
- I JAGG 2.1 bruges :

- $$D_{eff} = D_a \times \frac{\theta_a^{2,5}}{\theta_a + \theta_w}$$

$$J_a = A \times D_{eff} \times \frac{\partial C_a}{\partial x}$$

Vandindhold og beregnet tortuositet



Kontrast i beregnet τ er ca. 5.000 ned igennem jordsøjlen med største værdi på 0,17 og mindste på $3,5 \cdot 10^{-5}$. Porøsitet antaget til 0,37 i alle prøver

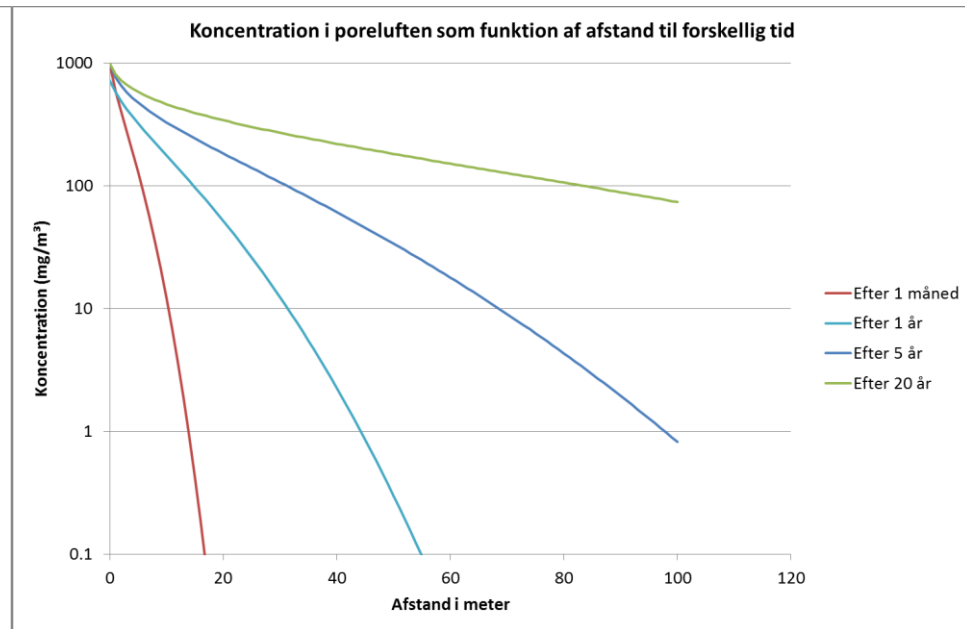
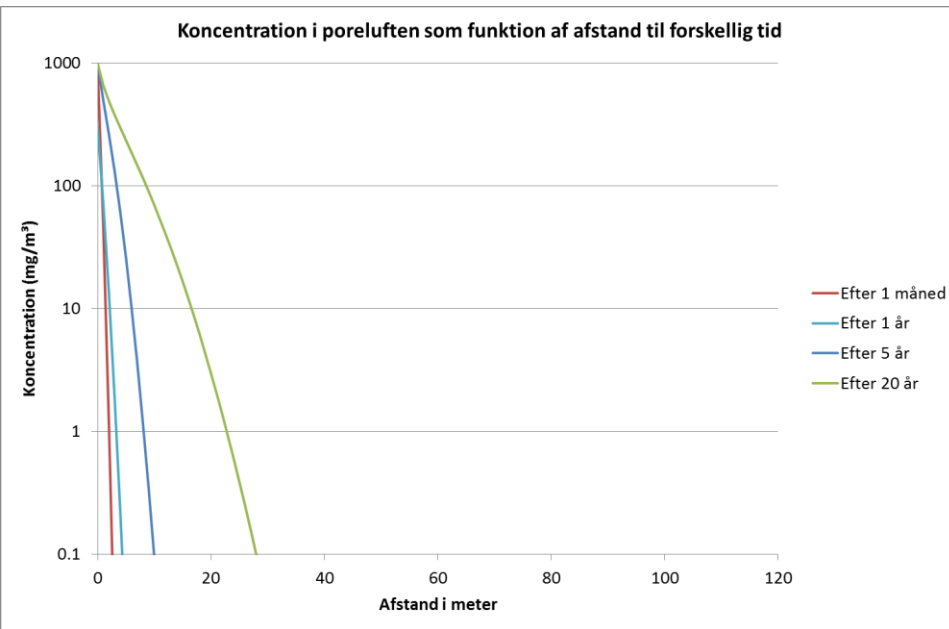
Betydning af høj og lav tortuositet

TCE som eksempel ved 9°C og $f_{oc}=0,1\%$. Cirkulær udbredelse $C_0=1000 \text{ mg/m}^3$
Momentan fordeling mellem porevand, poreluft og sorberet stof er antaget



Laveste tortuositet, $\tau = 3,5 \cdot 10^{-5}$

Højeste tortuositet, $\tau = 1,7 \cdot 10^{-1}$



Stationært i JAGG indeklima

- 0,2 m grus
- 1 m ler med lav tortuositet
- 1000 mg/m^3 konstant under dette lag
- JAGGs standarder herudover
- Beregnet bidrag til indeklima: **$0,97 \mu\text{g/m}^3$**

Stationært i JAGG indeklima

- 0,2 m grus
- 1 m ler med høj tortuositet
- 1000 mg/m^3 konstant under dette lag
- JAGGs standarder herudover
- Beregnet bidrag til indeklima: **$2840 \mu\text{g/m}^3$**

Et eksempel fra JAGG – dynamisk vs. stationær ift. vandets strømning og diffusion



- Opbygning: 0,2 m grus, 1 m ML og 1 m sand, standardparametre i JAGG for resten
- Vand med 1 mg/l TCE, VC, benzen af hver komponent

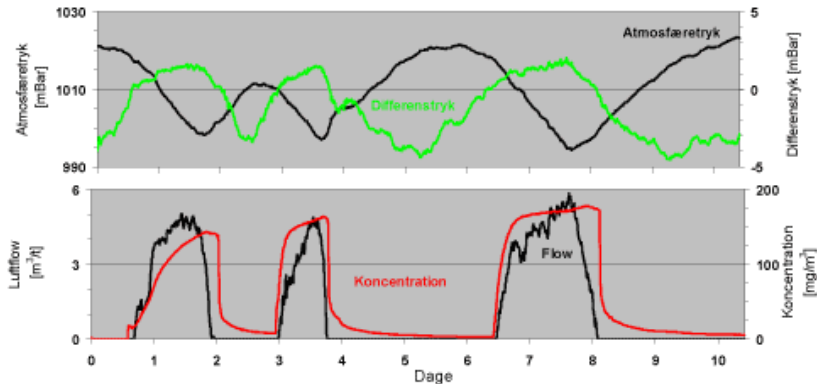
Stof	Indeklimakonc (ug/m ³)	Massestrøm (g/år)
TCE	72	48
VC	412	272
Benzen	96	63

Vpore (m/år)	Højde (m)	Q (m ³ /m ² år)	Massestrøm (g/år)
20	1	5	50
200	0.1	50	50
2000	0.01	500	50

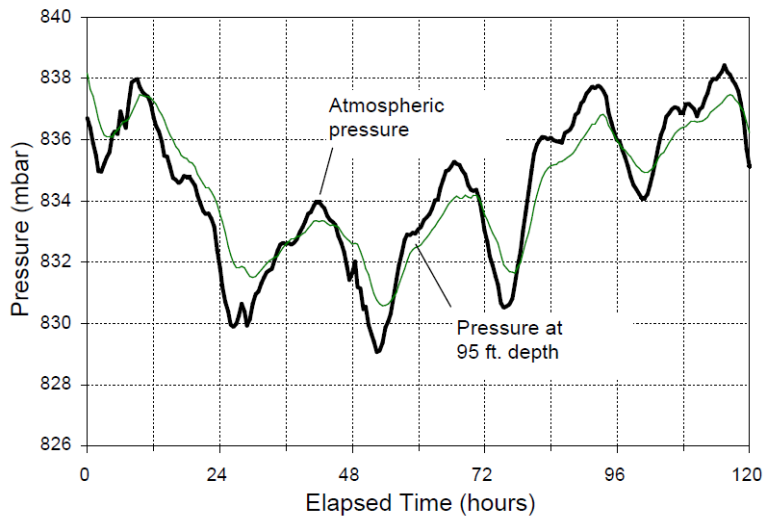
Kan diffusion igennem vandet overhovedet understøtte massestrømmen ind i huset?

NEJ – hvis dybden overstiger 1 cm i vandet..... Diffusionskonstanten i vand er ca. 10.000 gange mindre end i luft

Trykændringer



Data fra NIRAS, Askov passiv ventilering

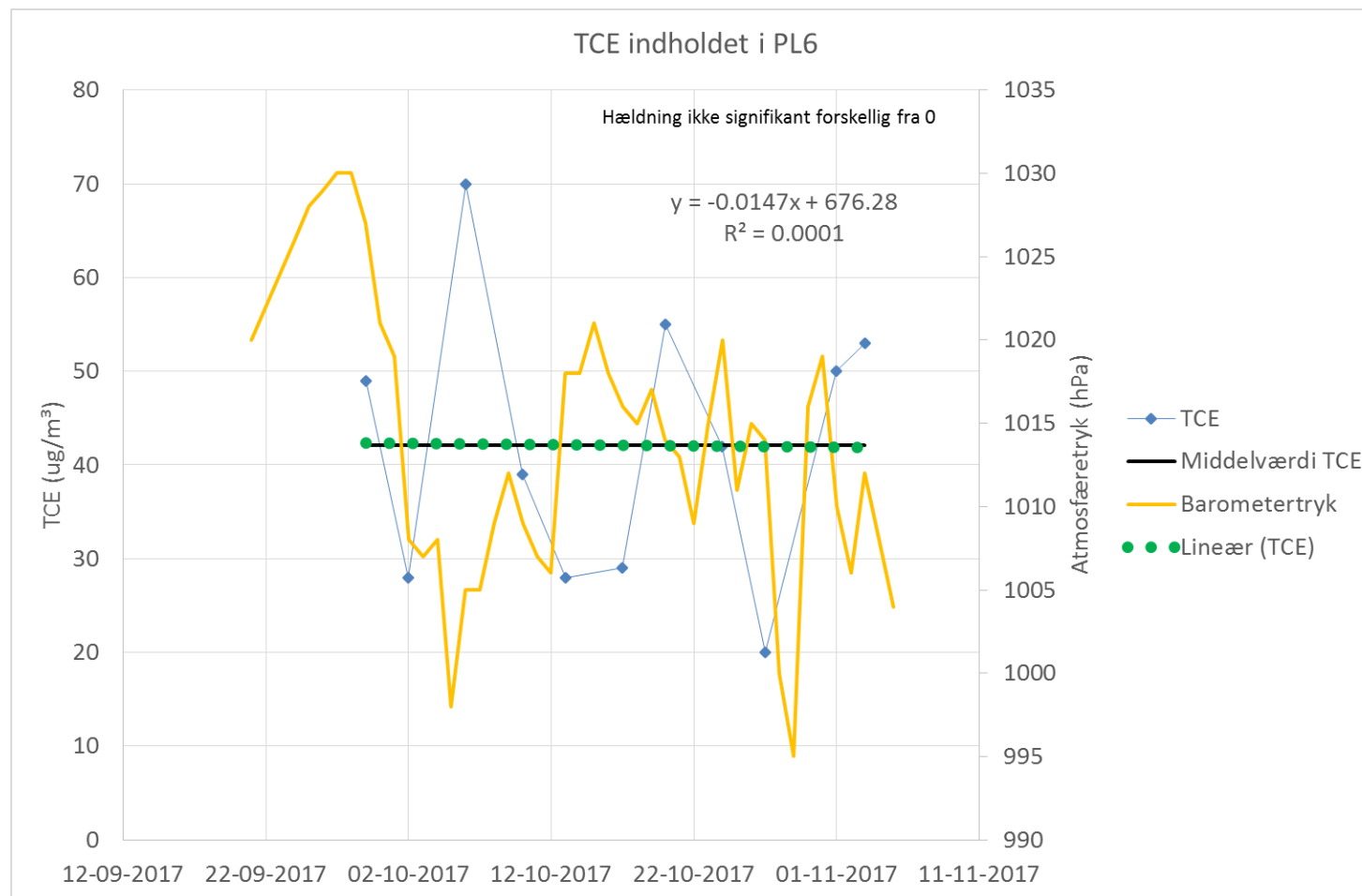


- Trykændringer i atmosfæren dæmpes forskelligt afhængig af den vertikale permeabilitet
- Skaber en lokal harmonikaeffekt, hvor luften bevæges vertikalt, mest tæt på terræn
- Pumper forurening ud og ilt ind i jorden
- Skaber horisontale gradienter
- Flytter masse horisontalt og vertikalt

Det grelle eksempel

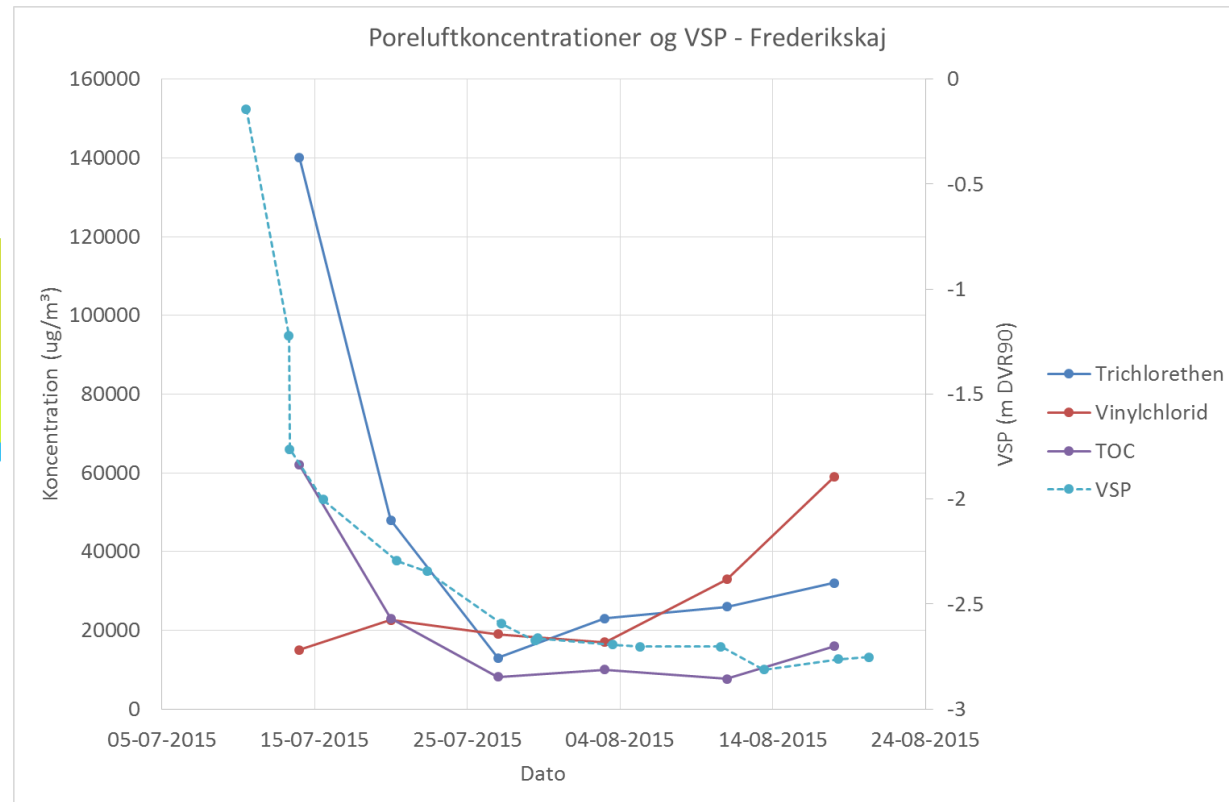
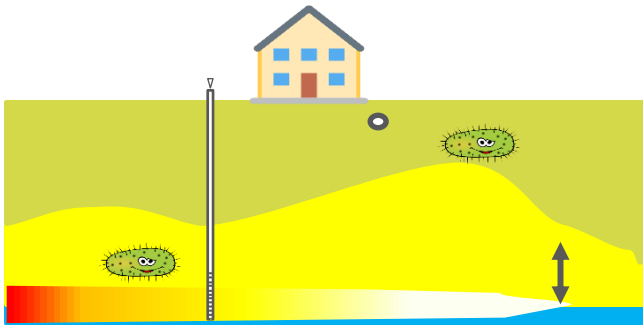


Det mindre grelle eksempel



Ca. en faktor 2 mellem høj og lav koncentration

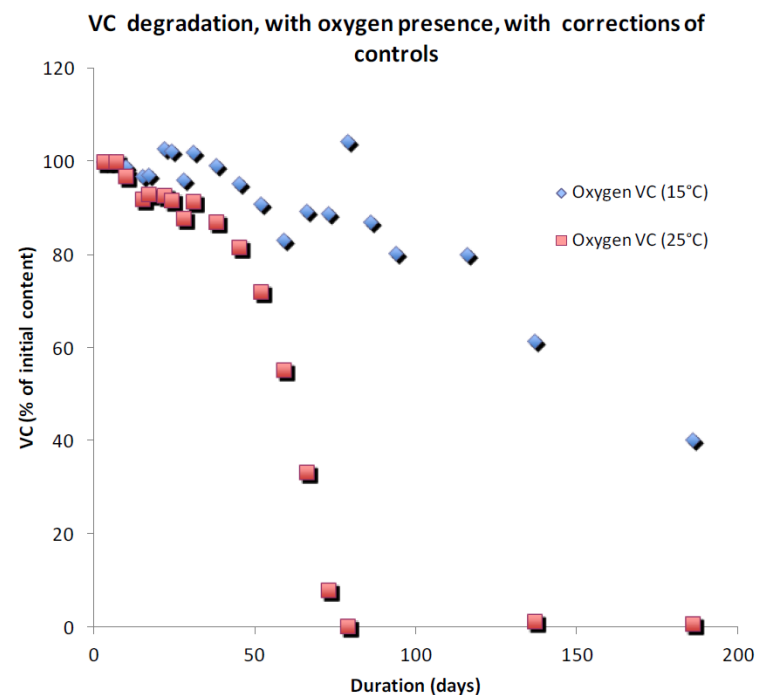
Vandspejlsændringer



Nedbrydning eller ej...

- Typisk stor opholdstid
- Stor effekt af selv lille værdi af nedbrydningskonstanten
- Eksempel med VC til højre
- Gennemsnitlig halveringstid ca. 100 dg ved 15° + lagfase.
- Rate svarer til ca. 0,007 dg⁻¹
- VC i JAGG som på slide 10...

mg/m ³	Uden nedbrydning	Med nedbrydning
C _i	0,4	0,2
C _p	58	28
C _l	1139	1139



Citychlor: Attenuation of the vinyl chloride in the vadose zone

Konklusioner

- Virkeligheden væsentligt mere kompliceret end i JAGG 😊 - Der er dynamik i den virkelige verden....
- Beregnede koncentrationer fra vand til luft overestimeres systematisk i JAGG, typisk omkring en faktor 2.
- Vandindholdet i jorden varierer ganske meget, over korte afstande. Kan betyde flere størrelsesordener på den beregnede massetransport. Brug alle data fra dine undersøgelser. Brug din CSM med omhu.
- Trykforplantninger fra atmosfæren kan drive masse både horisontalt og vertikalt. Kan være meget betydende under bestemte geologiske forhold. Brug din CSM med omhu.
- Vandspejlsændringer flytter luft og kan betyde en del for koncentrationen i poreluften. Brug din CSM med omhu.
- Nedbrydning kan spille endog væsentlig rolle. Diffusion er en langsom proces der giver god tid til nedbrydning.