

Grundvand

- konsekvens ved nedsivning,
øget nedbør og højere
grundvandsstand

v/ René K. Juhler

GEUS

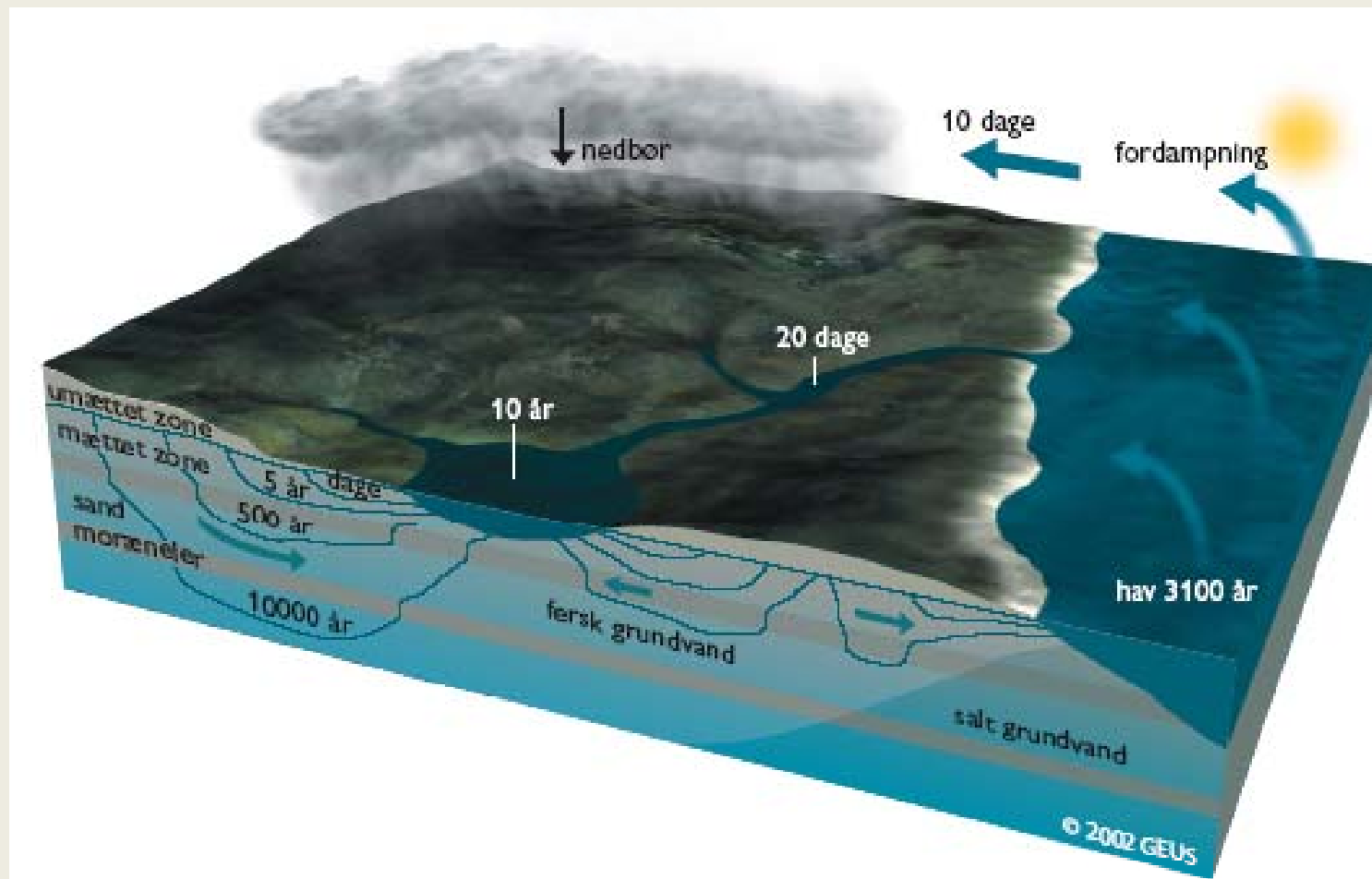
*"Du er ikke nede på rampen, vel lille skat?
Prøv og hør her. Det bliver regnvejr lige
om lidt og du ved godt hvordan vådt træ
spredt SARS!"*

Beate, Terkels mor – "Terkel i knibe"

To sider af samme udfordring

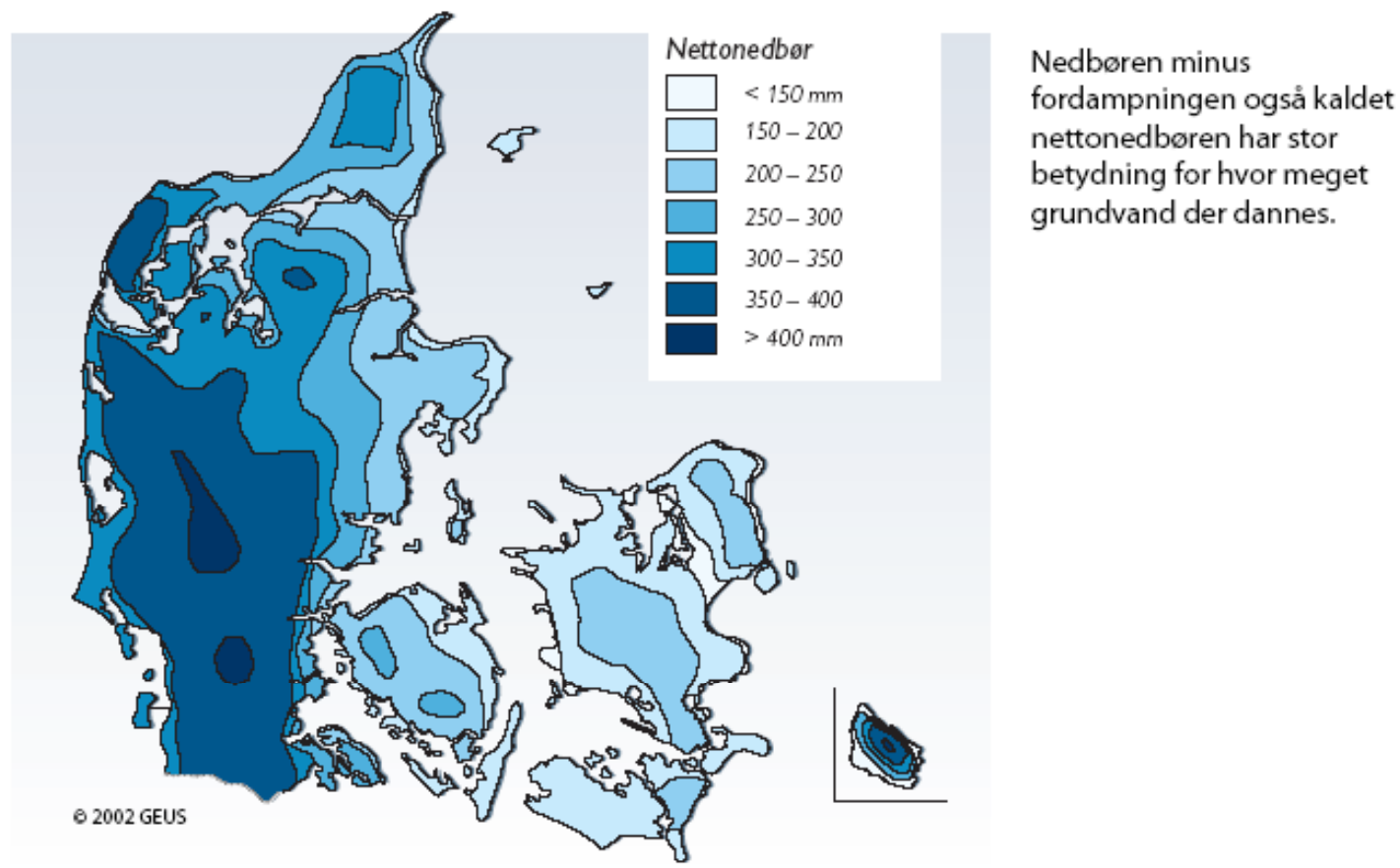
- Nedsivning af regnvand og afstrømmende vand
 - Aspekter: Kvantitet og kvalitet
- Betydning af ændret nedbør (frekvens, intensitet og varighed) for mulighederne for at nedsive spildevand
 - Hvor kan vi nedsive i fremtiden?
 - Hvad er de potentielle risici?
 - Kan vi satse på nedsivning som en løsning?

Regn - en del af vandets kredsløb tidsskala og opholdstider



Kvantitative aspekter

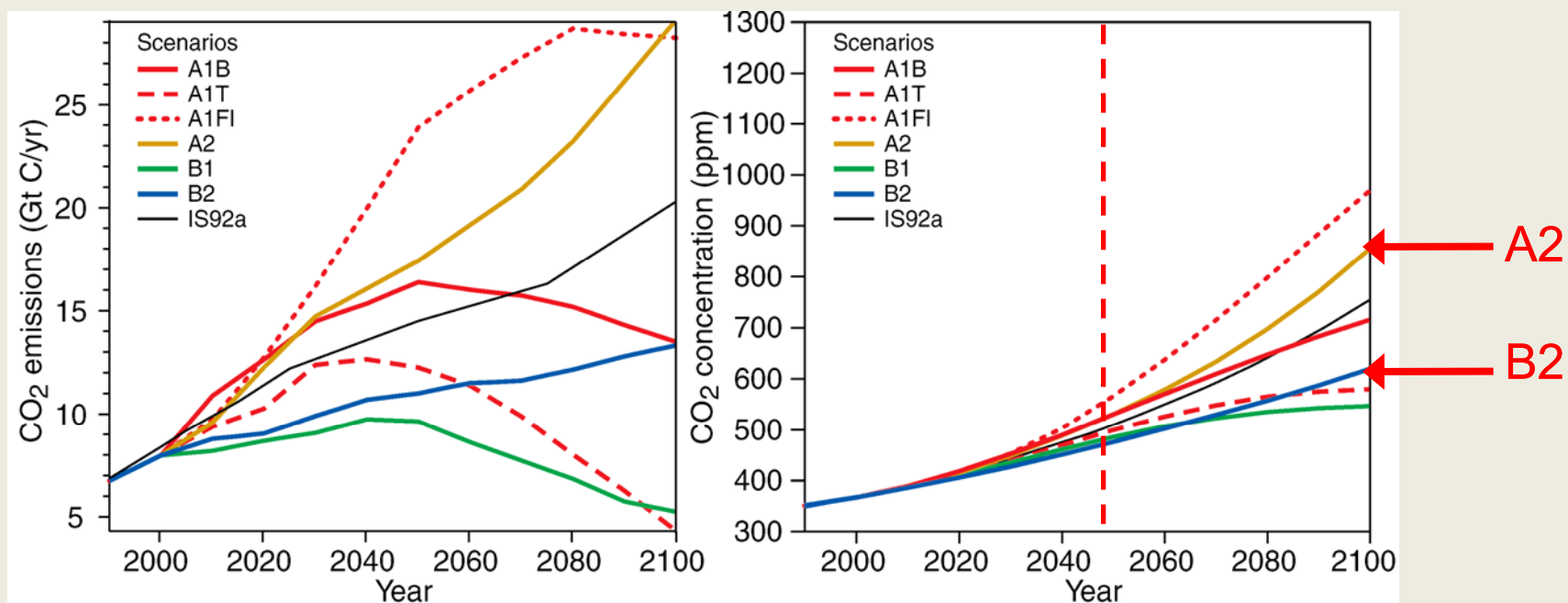
Nedbøren minus fordampningen i Danmark



Fremtidens regn - Klima-scenarier

IPCC

(Intergovernmental Panel on Climate Change - FN)



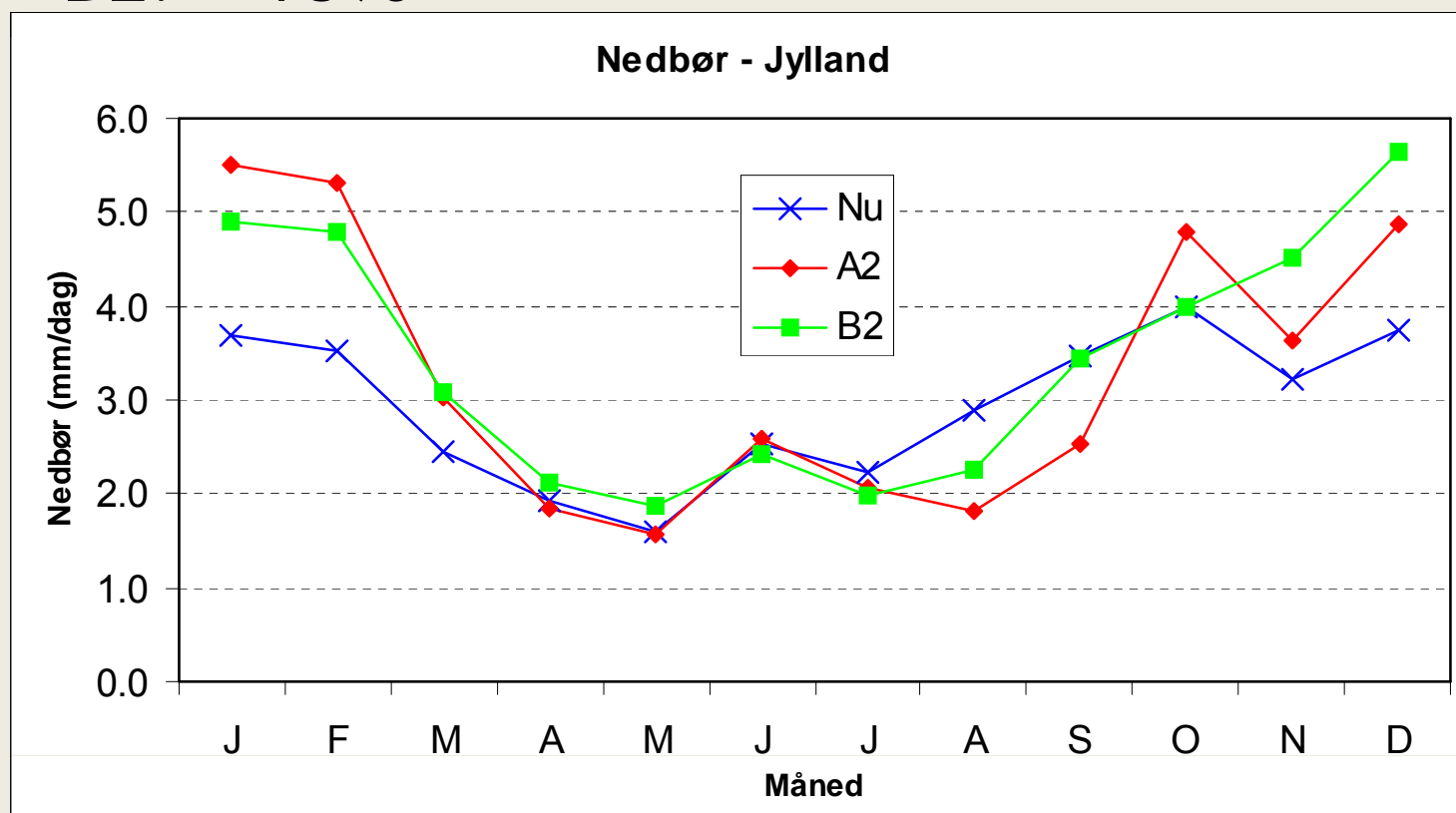
2071-2100:

A2: $\Delta T = 3.1 \text{ }^{\circ}\text{C}$

B2: $\Delta T = 2.2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Nedbør - Danmark

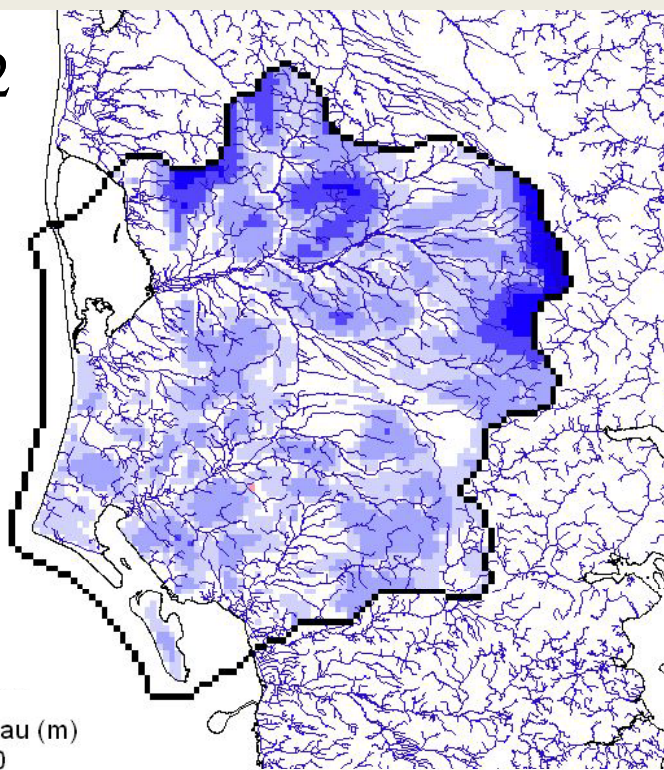
- Ændring i årlig nedbør, jysk modelområde:
 - A2: +12%
 - B2: +16%



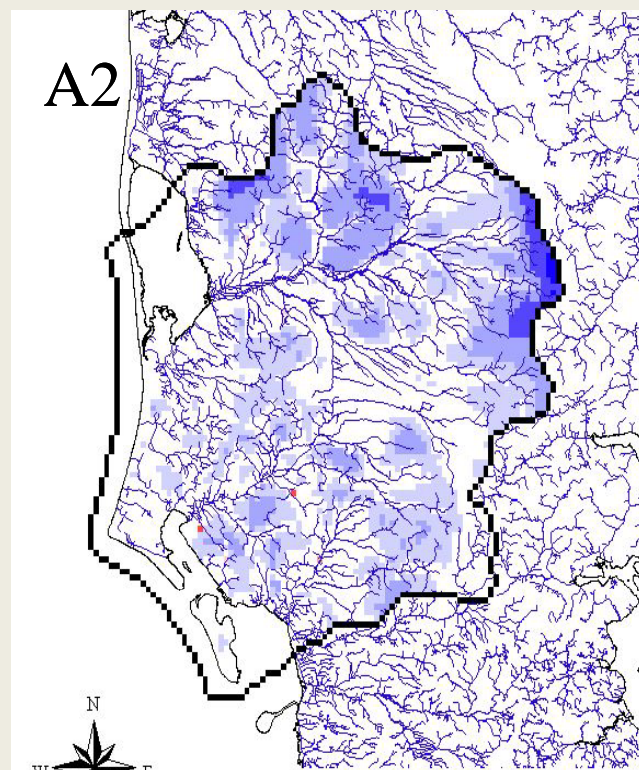
Sonnenborg, GEUS

Grundvandsstand (trykændring)

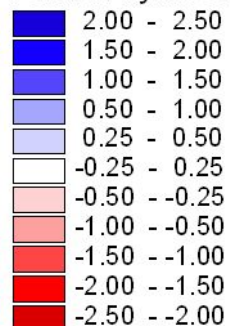
B2



A2



Forskel i trykniveau (m)



2071-2100:
B2: $\Delta T = 2.2 \text{ }^\circ\text{C}$

2071-2100:
A2: $\Delta T = 3.1 \text{ }^\circ\text{C}$

Sonnenborg, GEUS

Udfordring I: Øget behov for at nedsive regnvand

- Forskellige strategier
 - Tilbageholdelse
 - Forsinkelse
 - Reduktion af regnvandsmængder
- Teknologiske løsninger
 - Bassiner
 - Faskiner
 - Wadier.....



Strategi for tilpasning af klimaet

Regeringen marts 2008

- *Behov for*
 - Integrerede løsninger
 - Informationsinitiativer
 - Forskningskoordinering
 - *Ad hoc* tilpasning
 - hvorved **myndigheder, virksomheder og privatpersoner på eget initiativ reagerer** på konsekvenserne af klimaændringer i tide inden for de givne lovgivningsmæssige, økonomiske



”Det overvejes, om betalingsreglerne kan ændres, så de i højere grad ansporer grundejerne til alternativ afledning af overfladevand, fx nedsivning”

Klarer grundvandet sig?

- Flere forsyninger arbejder målrettet med separering og nedsivning af regnvand og spildevand både i byområder og på landet.
Kan vi beholde vores rene grundvand trods denne nedsivning?
- Nedsivning af spildevand i det åbne land er godt i gang, men **kender vi konsekvensen på den lange bane?**

Den geologiske tilgangsvinkel

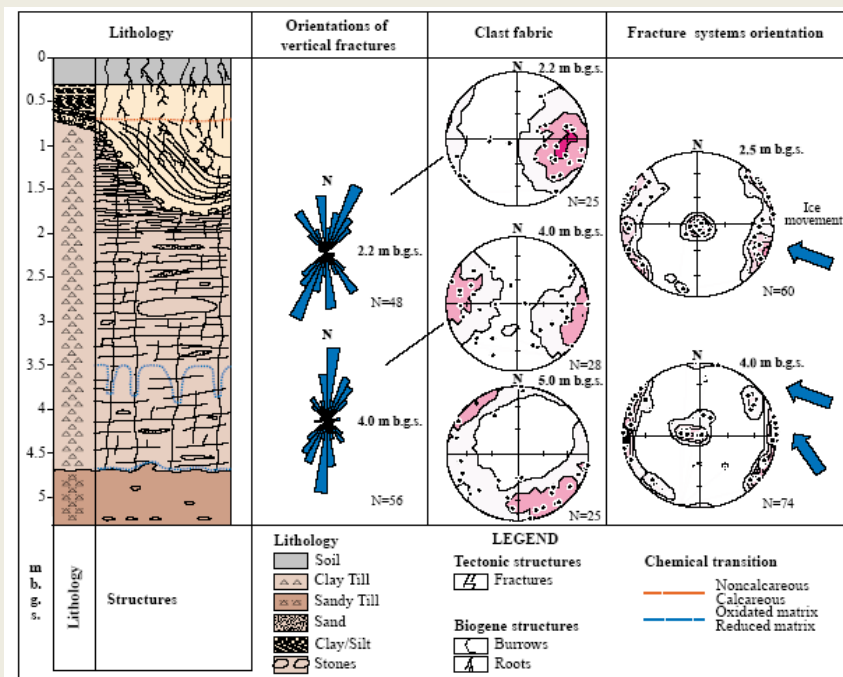


Figure A6.9. Lithology, fracture orientation, clast fabric data and interpreted ice movement direction.

Lindhardt et al 2001 VAP etablering

Er det en lerjord eller sandjord?
 Tekstur i øvrigt?
 Er der sprækkesystemer?
 Er der jernoxider?
 Hvor tykt er humuslaget?
 Karakterisering af horisontale lag
 Er der sandlinser i lerjorden?



Den hydrologiske tilgangsvinkel

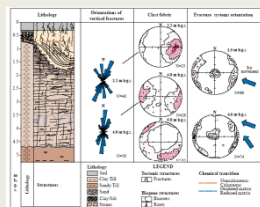


Figure 4.8 Lithology, fracture orientation, clay fabric data and interpreted ice movement directions

Hvilken model er bedst egnet?

Hvad er de væsentligste flowveje?

Matrix flow eller makropore flow – fordeling?

Hvilken skala?

Hvordan håndteres skaleringsproblematikken?

Kan vi arbejde i 3D?

Er der datagrundlag for de nødvendige parametre?

...

4.1. Rain pressure

For $t > \bar{t}$ we have to study a problem defined into two time-varying domains:

- $s(t) < z \leq Z$, saturated domain, $\theta = n$.
- $0 \leq z \leq s(t)$, unsaturated domain, $\theta < n$.

The saturation front $z = s(t)$, where $\theta(s(t), t) = n$, is a priori unknown.

In the saturated region mass conservation and Darcy's law yield

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[K_{\text{sat}} \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] = 0$$

I. Borsi et al. / Nonlinear Analysis: Real World Applications 5 (2004) 763

Den kemiske tilgangsvinkel

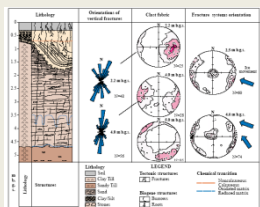


Figure A8.8 Lithology, fracture orientation, clay fabric data and interpreted ice movement directions

4.1. Rain pressure

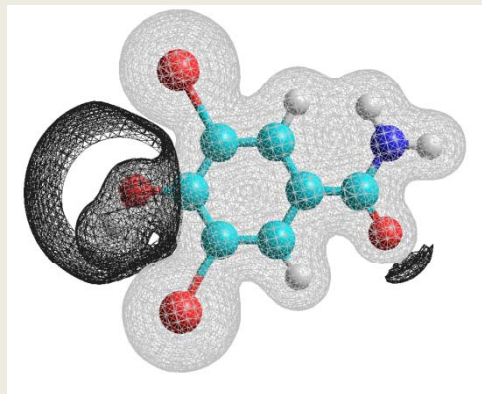
For $t > \bar{t}$ we have to study a problem defined into two time-varying domains:

- $s(t) < z \leq Z$, saturated domain, $\theta = n$.
- $0 \leq z \leq s(t)$, unsaturated domain, $\theta < n$.

The saturation front $z = s(t)$, where $\theta(s(t), t) = n$, is a priori unknown.

In the saturated region mass conservation and Darcy's law yield

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[K_{sat} \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] = 0$$



(d) IAM

Surface Area	373 Å ²
Volume	590 Å ³
Log <i>P</i>	3.11
Refractivity	61.1 Å ³
Polarizability	24.4 Å ³
Dipole moment	2.81 D
Mass	388.9 amu

Nielsen et al. 2007 Pest Manag Sci 63:141

Er stoffet

En uorganisk / uorganisk forbindelse?

En ion?

Syre-base egenskaber eller neutral?

Halogeneret forbindelse?

Er stoffet stabilt – TP'er sandsynlige?

Vandopløselighed, Log Kow?

Kan vi analysere og kvantificere?

Den mikrobiologiske tilgangsvinkel

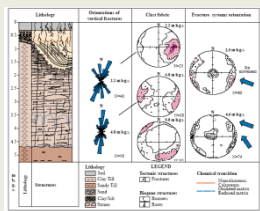


Figure A8.8 Lithology, fracture orientation, cleat fabric data and interpreted ice movement direction.

4.1. Rain pressure

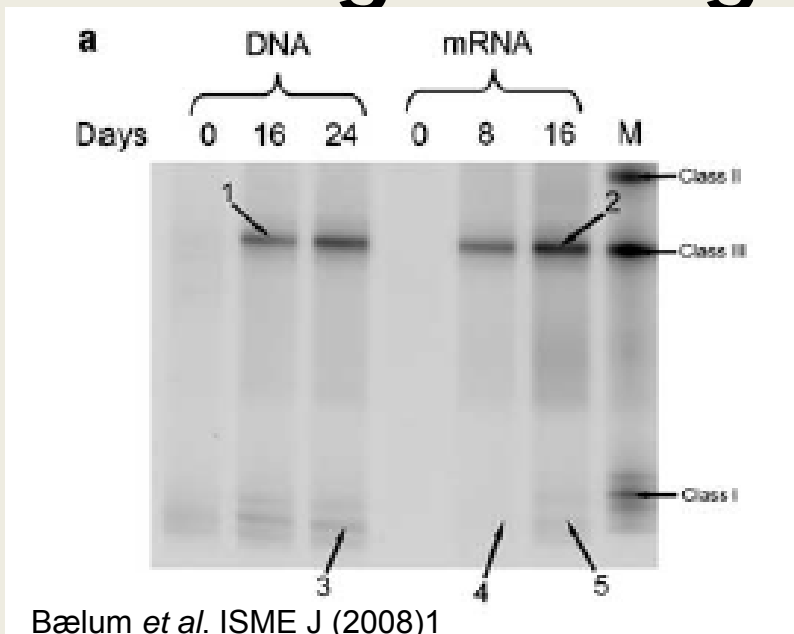
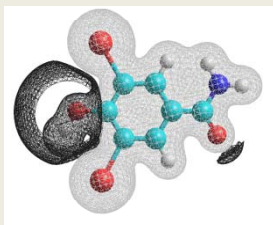
For $t > \bar{t}$ we have to study a problem defined into two time-varying domains:

- $s(t) < z \leq Z$, saturated domain, $\theta = n$.
- $0 \leq z \leq s(t)$, unsaturated domain, $\theta < n$.

The saturation front $z = s(t)$, where $\theta(s(t), t) = n$, is a priori unknown.

In the saturated region mass conservation and Darcy's law yield

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[K_{sat} \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] = 0$$



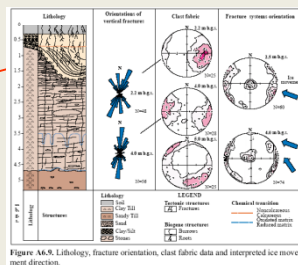
Bælum *et al.* ISME J (2008)1

- Nedbrydes stoffet metabolisk eller cometabolisk?
- Er det en specifik eller udbredt nedbrydning?
- Kender vi nedbryderorganismer – kan de dyrkes?
- Dannes der nedbrydningsprodukter?
- Kinetik – og hvad regulerer?
- Er stoffet tilgængeligt?
- Er generne identificeret – og aktive?

Er det et grundvandsproblem om 30 år?

Erhverv & økonomi

Teknologier & planer



4.1. Rain pressure

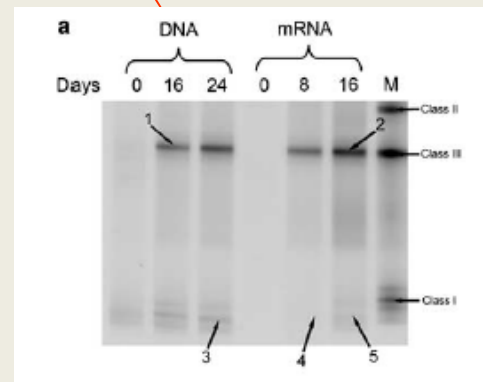
For $t > \bar{t}$ we have to study a problem defined into two time-varying domains:

- $s(t) < z \leq Z$, saturated domain, $\theta = n$.
- $0 \leq z \leq s(t)$, unsaturated domain, $\theta < n$.

The saturation front $z = s(t)$, where $\theta(s(t), t) = n$, is a priori unknown.

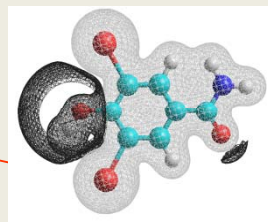
In the saturated region mass conservation and Darcy's law yield

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[K_{\text{sat}} \left(\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] = 0$$



Lovgivning & forvaltning

Kultur, værdier & politik



Kvalitative vs. Kvantitative aspekter

- En del danskere er bekymrede for at få regnvand i kælderen
- Knapt så mange bekymrer sig om tungmetalindholdet i oversvømmelsen
- Akut vs langsigtet effekt
- "Synlighed"



Regn er.....

- Hvor er regnen fra den falder til den når jorden
 - Overflader - befæstede arealer mm.
 - Hurtigt ind i et lukket rør
 - Løber langs en træstamme
- Udløb fra tage
 - Zinktage, tagpap, kobber
- Afstrømning fra (motor)veje
 - Organiske stoffer, nanomaterialer, tungmetaller, salt og tømidler
- Overløb i kloak
 - intensiv regn
 - ⇒ susp. stof, kemi, mikrober



Hvad ved vi om regnens indhold af stoffer



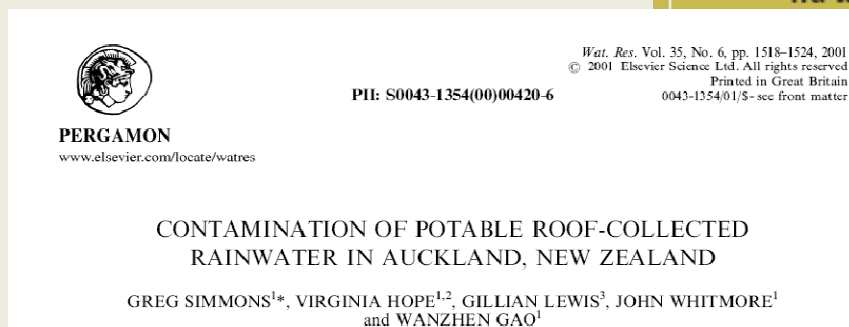
13:40

Regnvand er ikke det rene vand

Life-treasure projekterne gennemført i Silkeborg, Odense og Århus er netop afrapporteret. På temadagen vil der sætte fokus på resultatet af projektet Brøndrapportering?

Professor Emeritus Thorkild Hvitved-Jacobsen, Aalborg Universitet

Brug af regnvand opsamlet fra tage og befæstede arealer



Risiko - Typer af konsekvenser

Effekter af regnbetingede udledninger

TABEL 3.1 TYPER AF EFFEKTER, OPSTILLET BL.A. PÅ GRUNDLAG AF LIJKLEMA ET AL. (1993) OG LARSEN (2002).

	Effekt	Underinddeling	
→	I. Fysiske ændringer	A. Oversvømmelse i urbane og rurale områder B. Erosion C. Aflejring af sedimenter	Akkut / langsigtet
	II. Æstetisk forurening	A. Hygiejnebind, kondomer mv. B. Sedimenter på brinker, strande	
	III. Eutrofiering	A. Organisk stof B. Næringssalte	
	IV. Hygiejnisk forurening	A. Sygdomme hos mennesker B. Sygdomme hos dyr	
	V. Iltsvind i vandløb		
→	VI. Giftige og/eller miljøfremmede stoffer.	A. Giftighed B. Nedbrydelighed C. Bioakkumulerbarhed	primært langsigtet
	VII. Ændring i økologisk status over lang tidsskala		

Krav til regnbetingede udledninger i forhold til Vandrammedirektivet

Karsten Arnbjerg-Nielsen og Niels Bent Johansen

April 2002

Hvad sker der med stoffer i jorden?



Fordampning & aerosoler

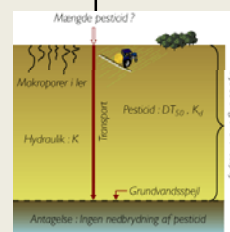
Fotonedbrydning

Optagelse i organismer

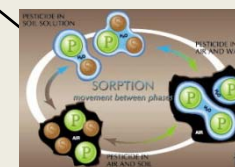
Afstrømning
overflade



Nedbrydning
og
metabolitter



Transport til grundvand
(Evt til dræn)

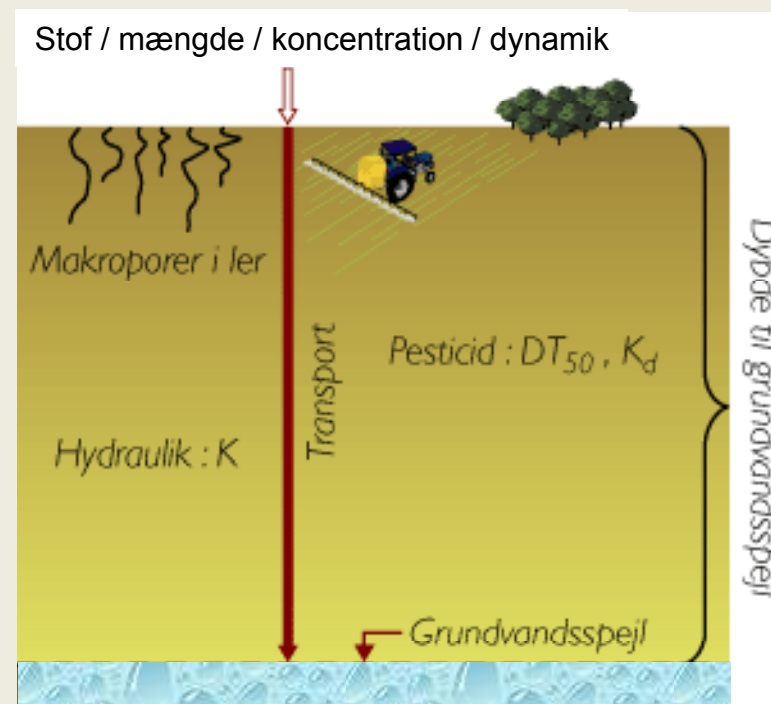


Ophobning
og binding
i jorden

Omdannelse, tilbageholdelse & udvaskning

Vigtige parametre i.f.t. retentionstid i jorden:

- Dybde til grundvandet
- Hydrologeologisk konduktivitet
- Binding til jordkomponenter:
 - sorption (K_d)
 - desorption (K_{des})
- Forsvindingsrate (DT_{50}) & Mineraliseringsrate ("total" nedbrydning)



Mikrobiologiske forureninger - risiko



- Mikrobiologi skal inddrages i overvejelser om risiko og konsekvenser
- Især relevant i.f.t.
 - Regnvand og bassiner som et element i byer – børns leg
 - Hygiejne afstandskrav for nedsivningsanlæg til husspildevand
- Transport og skæbne af mikroorganismer i jord undersøges p.t. i en række projekter
- Mikrober er også "allierede" i.f.t. nedbrydning

Udfordring II: Spildevand i det åbne land

- Folketinget vedtog i 1997 lov om
 - ændring af miljøbeskyttelsesloven
 - lov om betalingsregler for spildevandsanlæg m.v
- Formål: at sikre forbedret spildevandsrensning i det åbne land
 - Ca. 90.000 ejendomme i det åbne land at skulle forbedre deres spildevandsrensning som følge af denne lovændring
- MST bekendtgørelse (nr. 501 af 21. juni 1999) lagde op til at spildevand fra hustande m.m. i det åbne land nedsives
 - **Forventet antal anlæg: 35.000**
- **Siden da: Fokuspunkt i vandplanerne**
- Vidensbehov for vurdering af mulige miljømæssige konsekvenser,
 - særligt i.f.t. de miljøfremmede stoffers omsætning og transport under nedsivningsanlæggene og den nære fane

Bekendtgørelse af lov om betalingsregler for spildevandsanlæg m.v. for spildevandsanlæg m.v.

Herved bekendtgøres lov om betalingsregler for spildevandsanlæg m.v., jf. lovbekendtgørelse nr. 644 af 21. juli 1997, med de ændringer, der følger af lov nr. 325 af 14. maj 1997.

Offentlige spildevandsanlæg

§ 1. Kommunalbestyrelsen forestår udførelse, drift og vedligeholdelse af offentlige anlæg til afledning og behandling af spildevand fra ejendomme i kommunen.

Kommunalbestyrelsen forestår endvidere udførelse, drift og vedligeholdelse af de i § 7a nævnte anlæg.

2§. 2. Udgiftene til udførelse, drift og vedligeholdelse af spildevandsanlæg, der er omfattet af en spildevandsplan, berøres udgifter til ejendomsforvalter og rådighedsindskrænkninger, afholdes gennem bidrag fra de berørte ejere af fast ejendom. Dette gælder også de i medfør af § 7a afholdte udgifter. Til udgifterne henregnes også udgifterne til driftsmæssige afskrivninger samt henlægges til udførelse eller modernisering af spildevandsanlægget.

2§. 3. Bidragene består af et tilslutningsbidrag og årlige bidrag, der dækker udgifterne til anlæg og drift, jf. § 2.

2§. 4. Lovten inden tilsvarende anvendes på faste anlæg, som er etableret med tilladelse efter § 11, stk. 1 og 2, i den tidligere miljøbeskyttelseslov, jf. lovbekendtgørelse nr. 68 af 24. januar 1989, eller etableret med tilladelse efter § 19, stk. 1 og 2, i lov nr. 358 af 6. juni 1991 om miljøbeskyttelse.

§ 2. Der kan ikke påkræves tilslutningsbidrag fra ejendomme, der er tilsluttet eller har været tilslutningsbidrag til et offentligt spildevandsanlæg, jf. § 3, stk. 3.

2§. 7. De årlige bidrag til anlæg og drift kan ikke påkræves fra ejendomme, der er tilsluttet spildevandsanlægget.

2§. 8. Bidragene efter stk. 2 fastsættes for boligbeholdere efter et skønnet vandforbrug på ikke over 170 m³. Hver vandmåler kræves, fastsættes bidragene efter det faktiske vandforbrug. Kommunalbestyrelsen kan give adgang til, at bidrag fastsættes efter målere også uden krav herom.

2§. 9. For erhvervsjendomme fastsættes det årlige bidrag til anlæg og drift efter stk. 2 efter vandforbruget, dog med fradrag af vand, der medgår i produktionen eller af anden grund ikke tilslides kloaksystemet.

Status - "i praksis"

Eksempel - vejledning

Esbjerg Kommune web:

Anlægstype	Renseklasse SOP	Renseklasse SO	Renseklasse OP	Renseklasse O
Pileanlæg	+	+	+	+
Nedsivningsanlæg	+	+	+	+
Minirensesanlæg	+	+	+	+
Samletanke	+	+	+	+
Biologiske sandfiltre	÷	+	÷	+
Rodzoneanlæg	÷	÷	÷	+

BLST - FAQ om vandplanerne:
Hvor mange husstande i Danmark er ikke kloakeret?
Ca. 360.000 ejendomme er ikke på offentlig kloak, men har forskellige grader af rensning, nedsivning mm.

Stofreduktionskrav til forskellige rensklasser:

SOP: Skærpede krav til reduktion af organisk stof og fosfor samt nitrifikation

SO: Skærpede krav til reduktion af organisk stof samt nitrifikation

OP: Reduktion af organisk stof og total fosfor

O: Reduktion af organisk stof

Renseklasse	BI5	Total fosfor	Nitrifikation
SOP	95%	90%	90%
SO	95%		90%
OP	90%	90%	
O	90%		

Skæbne i jord

Infiltration under overjorden

- Processer i overjorden er væsentlig for omsætningen af mange potentielle problemstoffer
- Nedsivningsanlæg - særlige vidensbehov
 - Iltforhold
 - Temperaturforhold
 - Transport og omsætning
 - Ændring i anlæggets funktion over tid
 - flowveje, adaptation, selektion..
- Referencemålinger fra renseanlæg evt. med slambehandling.... ikke simpelt at overføre viden
- Eksempel på iltforholdenes betydning:
LAS nonylphenol og DEHP: aerob nedbrydning



“Fortyndes det?”

- vanskeligheder ved lokalisering af forureningsfaner

- Infiltration under over-jorden
 - betydning for nedbrydning + hydrologi
- Århus Amt og Hydrogeolog udtalelsen - Påpeger vanskelighederne ved at lokalisere spildevandsfanen:
 - *“Det er vanskeligt at se under jorden”* - Århus Amt



Århus Amt – opfølgende undersøgelse m. Georadar - grundvandsspejlets hældning

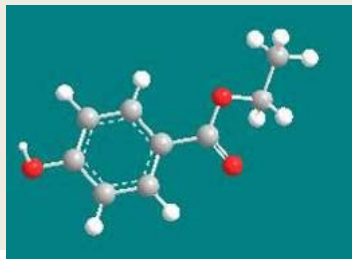
Nedsivningsprojekt GEUS/DHI

Fokuspunkter

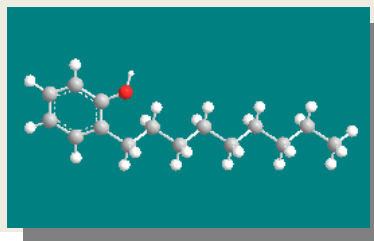
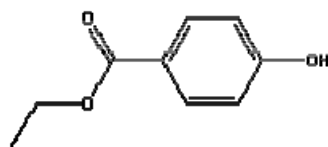
- At etablere baggrund for at kunne vurdere en eventuel **kvalitetspåvirkning af grundvandsressourcen** fra nedsivningsanlæg.
- Hovedvægten ligger i at etablere en **forståelse af processerne i og under nedsivningsanlæg** baseret på et sammenhængende datagrundlag og procesindsigt –
 - Fokus: Anlægget og den "nære fane" (<50m)
- Projektet skal således medvirke til afklaring af potentielle risici ved brugen af nedsivningsanlæg til bortskaffelse af spildevand fra **private husstande (<30 PE)** i det åbne land.
- Særlig vægt lægges på de **miljøfremmede stoffers** koncentrationsniveau og mobilitet under hensyntagen til:
 - a) stofs specifikke forhold
 - b) geologisk specifikke forhold
 - c) anlægsspecifikke forhold

Potentielle problemstoffer

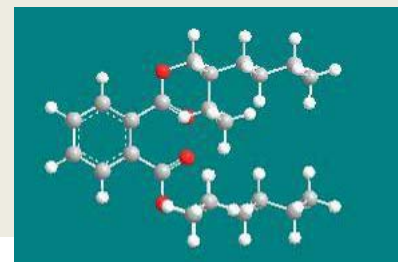
eksempler - organiske forbindelser



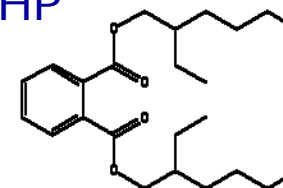
Ethylparaben



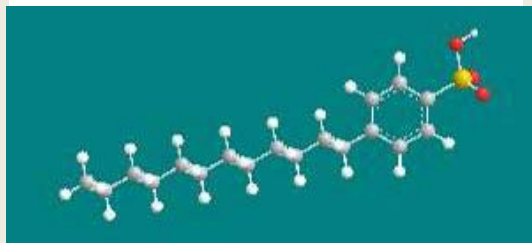
nonylphenol



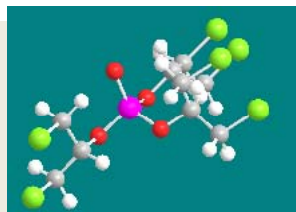
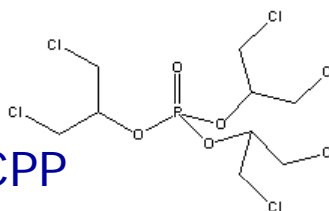
DEHP



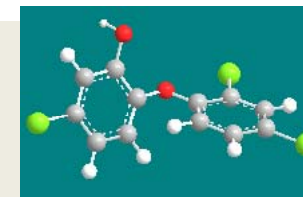
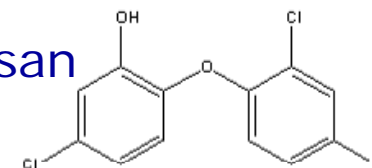
LAS



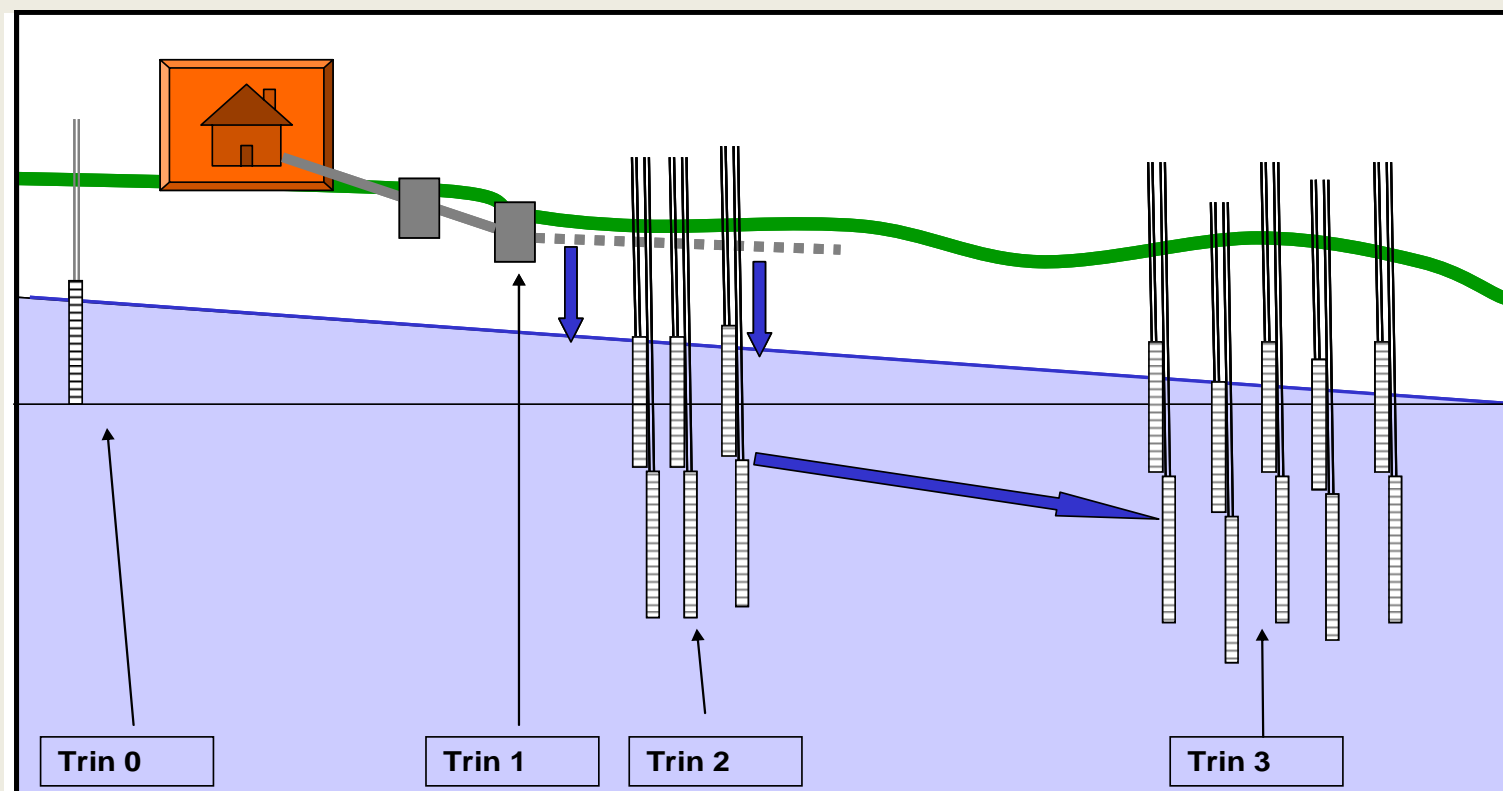
TCPP



Triclosan



Vertikal plan - monitoring



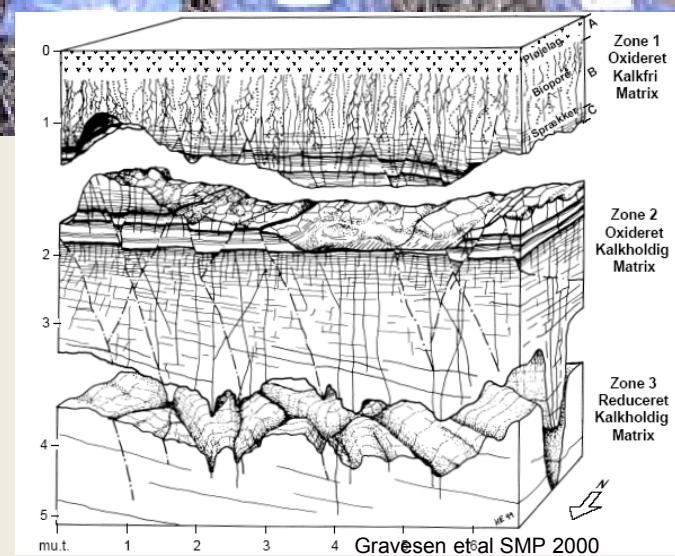
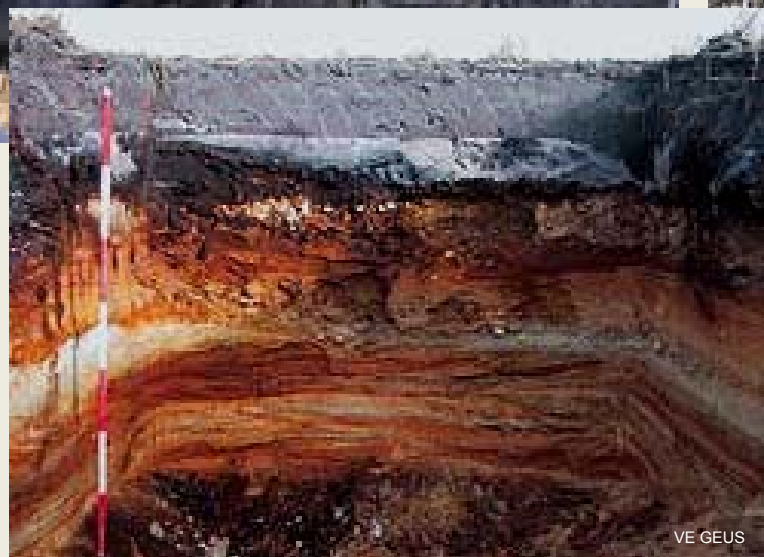
75 punktfiltre, 17 1m filtre, 5 3x1m filtre

2 profiler m TDR

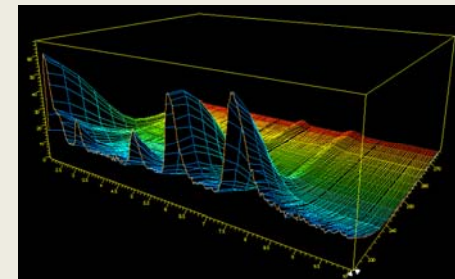
Klimastation

4 grundvandsloggere m. temperatur

Heterogenitet & variabilitet Jordprøver



Processer og metoder i værktøjskassen



Processer og håndtag

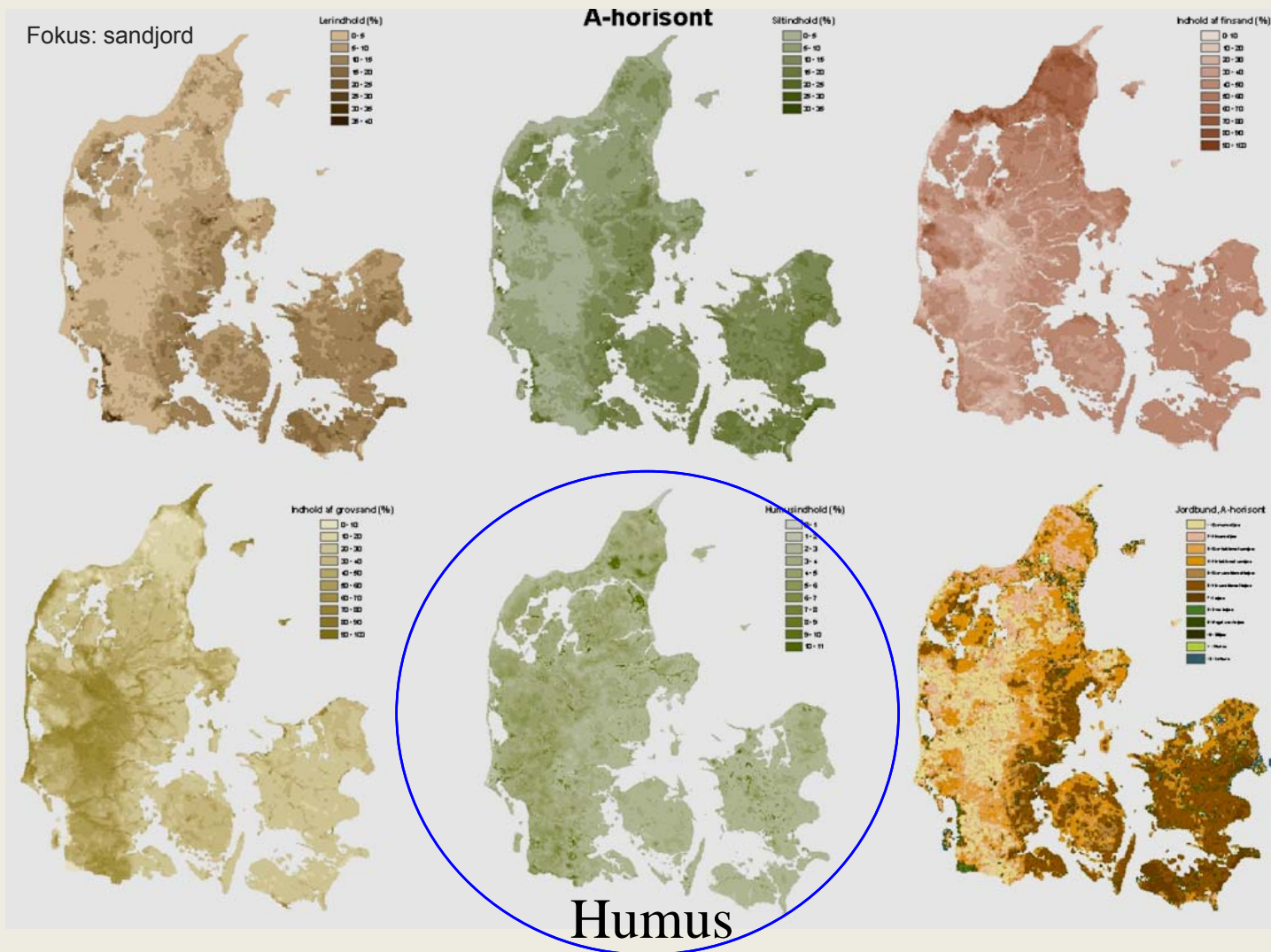
- Data – geologi og grundvand
- Hydrologiske modeller
- Stof forekomster – data - statistik & litteratur
- Kemisk analyse af stoffer og TP'er
- Undersøgelser og monitorering
 - laboratorie/mark/nationalt niveau
 - design af overvågning og forsøg
- Forsvinding og sorption - DT_{50} / K_d / K_{ow}
 - Bindingkarakteristik (f.eks humus og mineraler)
- Det mikrobielle samfund i jorden
 - Proteomics/genomics / (PCR karakterisering)
 - Måling af mikrobiel chemotaxis/mobilitet (flagel)
- Mineralisering (ofte ^{14}C)

Perspektiver for nedsivning af regn og spildevand

- **En del viden er etableret i forhold til klassiske forureningsscenarier, f.eks.**
 - Transport og omsætning i lodseplads faner
 - Redoxzoner betydning for omsætning af klorerede forbindelser
- **Udfordringer og vidensbehov:**
 - Koncentrationsniveauer og kildetyper
 - Flade / linje / punktkilde
 - Processer og flowkarakterisering
 - Opskalering af proces og transportmodeller
 - "Nedskalering" - fra global klimamodel og DK model til operativ lokal model
 - Hvor effektiv en løsning er nedsivning ift spildevand
- **Hvis det kommer ned:**
 - Langsom kinetik i grundvandsmagasinerne

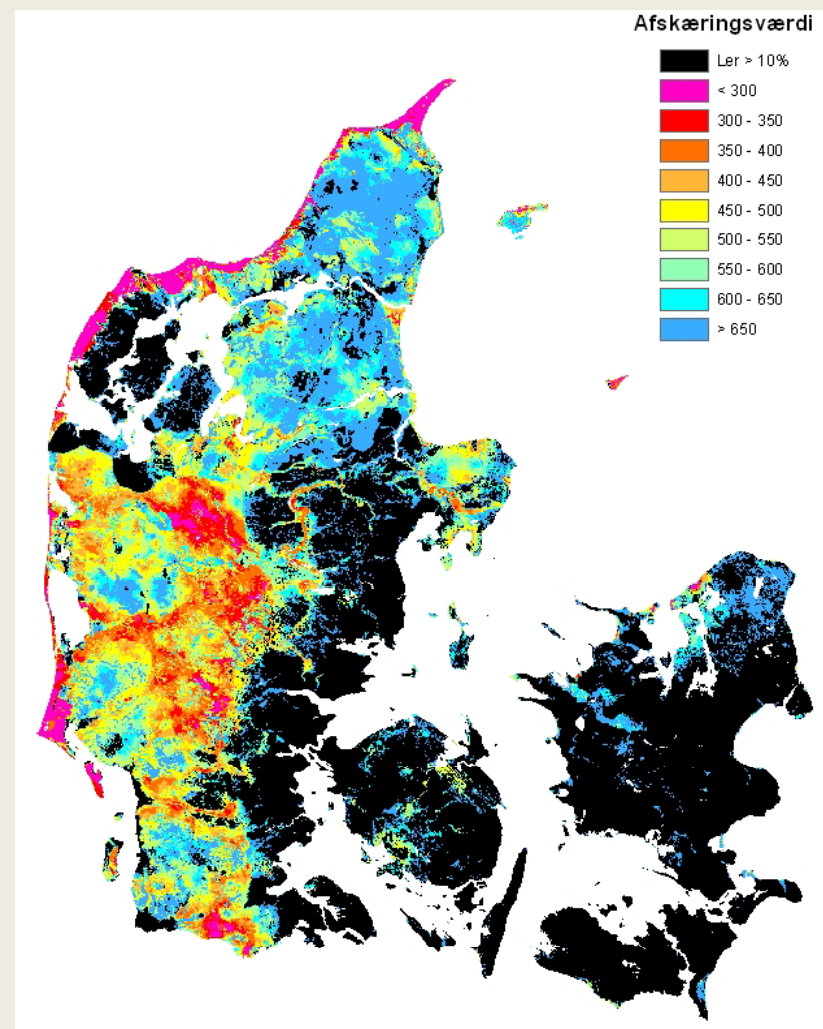
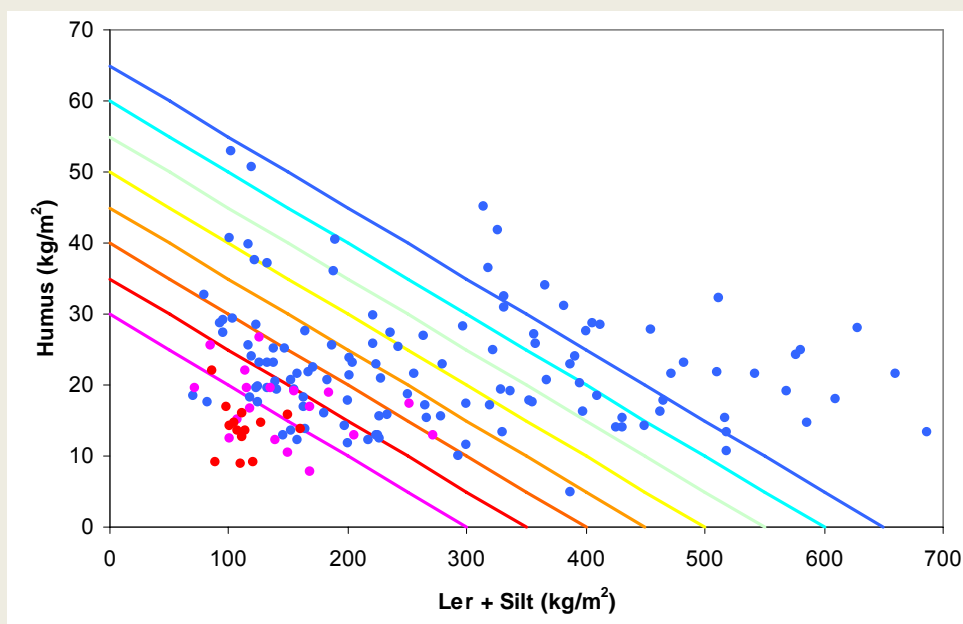


Sårbarhedskortlægning – Pesticider



Kilde: Iversen DJF & Nygaard GEUS

Kategorier af (pesticid)følsomhed



Erfaringsudveksling og netværk - et centralt redskab

- Centrale parametre:
 - **Kvantitativt:**
Regnvandet skal ledes væk , spildevand skal håndteres i det åbne land
 - **Kvalitativt:**
Regnvandet og nedsivningen skal have en tilstrækkelig god kvalitet
 - **Sociokulturelt:**
Mulighederne for et bedre bymiljø skal udnyttes i.f.t. regnvand



Alternativt - Kan problemer fjernes? Rensning, et eksempel: Dobbeltporøs filtrering i Ørestad



Fjerne kilden
VS
Fjerne kontaminanten

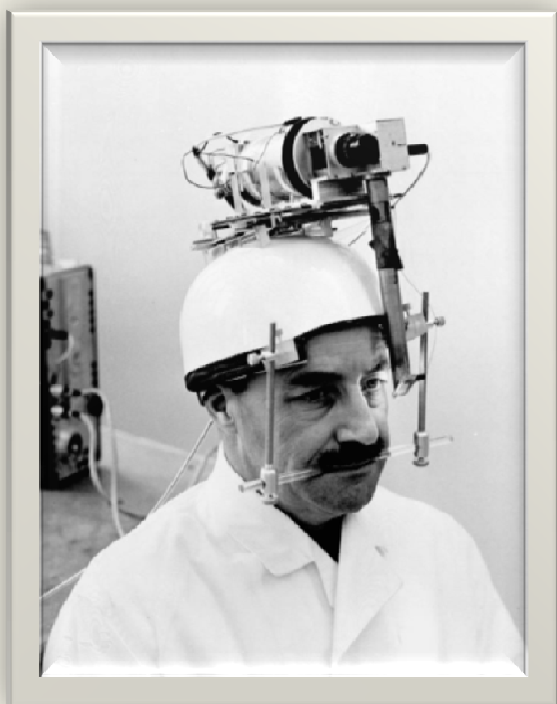
In-situ coating af kalk med humus og jern-oxider

www.sl.life.ku.dk

Nedsivning – opsummering

- Klimaændringerne er alment accepterede
- Der er behov for at finde løsninger på klimaændringernes effekt
 - Nedsivning af regn og afløbsvand
 - Mulighederne for at nedsive spildevand
 - Ændringer i dybden til det øverste grundvandsspejl
- Fokus har i overvejende grad været på de kvantitative aspekter
- Inddragelse af kvalitative betragtninger:
 - Fra sårbarhedsbetragtninger er der udviklet principper som kan tages i anvendes

Nedsivning – opsummering



Take-home-message:
"Der må ikke skabes
kvantitative løsninger som
giver problemer ift kvalitet"



Kan vi beholde vores rene grundvand trods denne nedsivning?

- Ja, når viden og værktøjer danner basis for planer, praksis og reguleringer
 - Fokus på løbende udvikling og forbedring
 - Dimensionering: konsekvens/sandsynligheden/omkostninger
- Kobling af mange aspekter
 - Direktivkrav: vandramme-, grundvands-, habitat-badevand...
 - Fremtidige indvindingsbehov, vand- og naturplaner,...
 - Viden om kildetyper, forureningskomponenter, processer og teknologier
 - Klimaets udvikling
 - Lang tidshorisont
 - +/- aspekter



Nedsivning af spildevand i det åbne land kender vi konsekvensen på den lange bane?

- Vi er godt rustet i forhold til kildetyper og forureningskomponenter
- Baseret på modeller og erfaringer fra sårbarhedskortlægning kan vi "komme i gang" i forhold til udfordringen
- Vedligeholdelse og "levetid" for anlæg
 - konsekvens i.f.t. funktion?
- Vidensgrundlaget for processer i og nær nedsivningsanlæggene er ikke komplet
 - Forudsætning for kvalificeret planlægning og risikovurdering
- Potentiale for vidensgenerering, innovation og teknologiudvikling

