

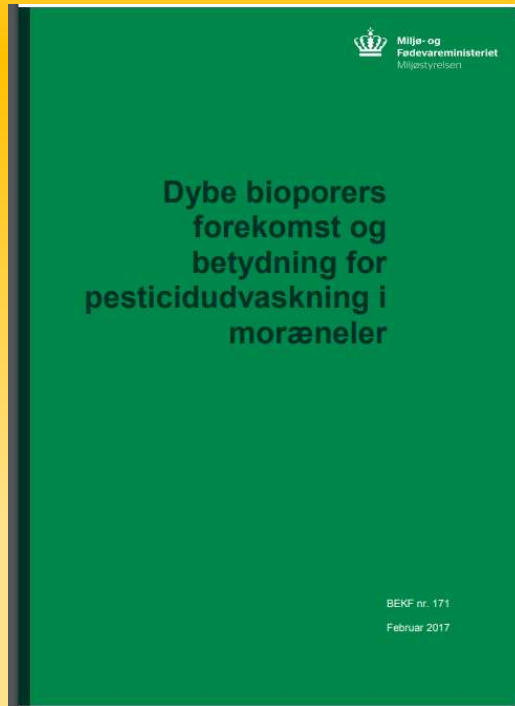
Nye strømningsveje og pesticidesårbarhed i moræneområder

Peter R. Jørgensen

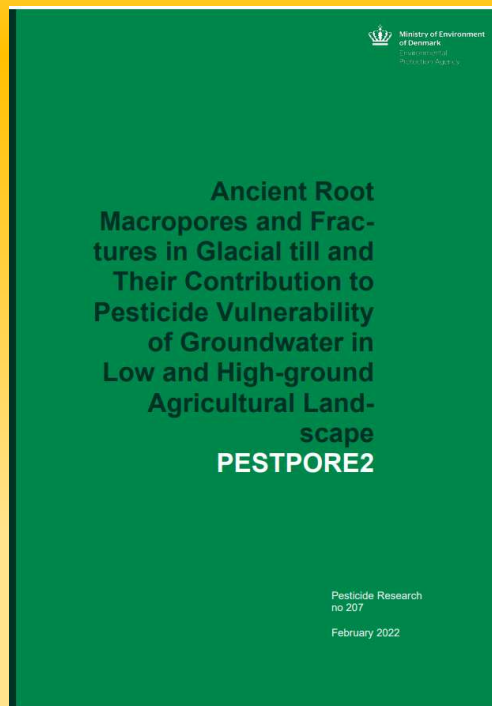


ATV Jord og Grundvand og Danske Vandværker om Pesticidforurening
– status, ny forskning og handlemuligheder
Kolding 29. Marts 2022

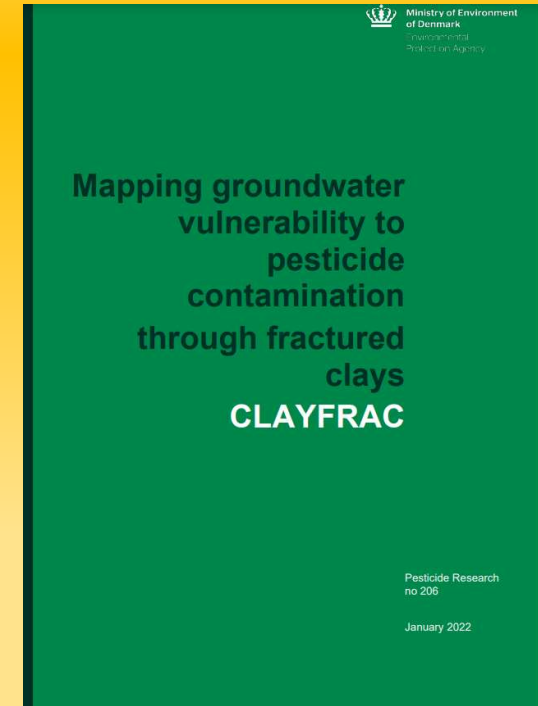
Miljøstyrelsens Pesticidforskningsprogram 2011-2021



Peter R. Jørgensen (PJBluetech/MECHolding ApS),
Paul Henning Krogh (AU Silkeborg)
Carsten T. Petersen (KU)
Søren Hansen (KU)
Marie- Haberkost-Nielsen KU)
Niels Henrik Spliid (AAU Flakkebjerg)



Peter R. Jørgensen (PJBluetech/MECHolding ApS),
Paul Henning Krogh (AU Silkeborg), Jiayi Qin (AU Silkeborg), Luca Modesti (PJB), Ida Broman Nielsen, Frederik Seersholm, A. J. Hansen (KU, Globe), Natascha Wagner (Univ. Göttingen, Tyskland), Jesper Olsen (AU Aarhus), Bjarne Strobel, Carsten T. Petersen, Søren Hansen, Jacob Gudbjerg (KU, PLEN), Marine Lacoste, Isabelle Cousin (INRAe Orlean, Frankrig) Evelyn Keaveney, Gerard Barrett (Queen's University Belfast, Ireland)



Jens Aamand (GEUS)
Nora Badawi (GEUS)
Peter Roll Jakobsen (GEUS)
Peter R. Jørgensen (PJBluetech/MECHolding ApS)
Klaus Mosthaf (DTU)
Lars Trolborg (GEUS)
Massimo Rolle (DTU)

Indhold

- Sprækker *versus* dybe rodkanaler som strømningsveje i moræneler
- Oprindelse og udbredelse af dybe rodkanaler
- Ændringer af sprækker og rodkanaler som strømningsveje over tid
- Grundvandssårbarhed

Baggrund og rationale for PESTPORE

- Gennem mange år accepteret at sprækker er højhastighedsveje i moræneler og den væsentligst årsag til grundvandets sårbarhed (Canadisk forskning 20 år forspring)
- Velkendt fra både amerikanske og danske undersøgelser, at der findes dybe paleo-rodkanaler, bl.a. skjult inde i sprækkerne
- Der er ikke tidligere skelnet imellem rodkanalerne og sprækkerne som pesticidudvaskningsveje



(GEUS 2014)



(PESTPORE 2017)



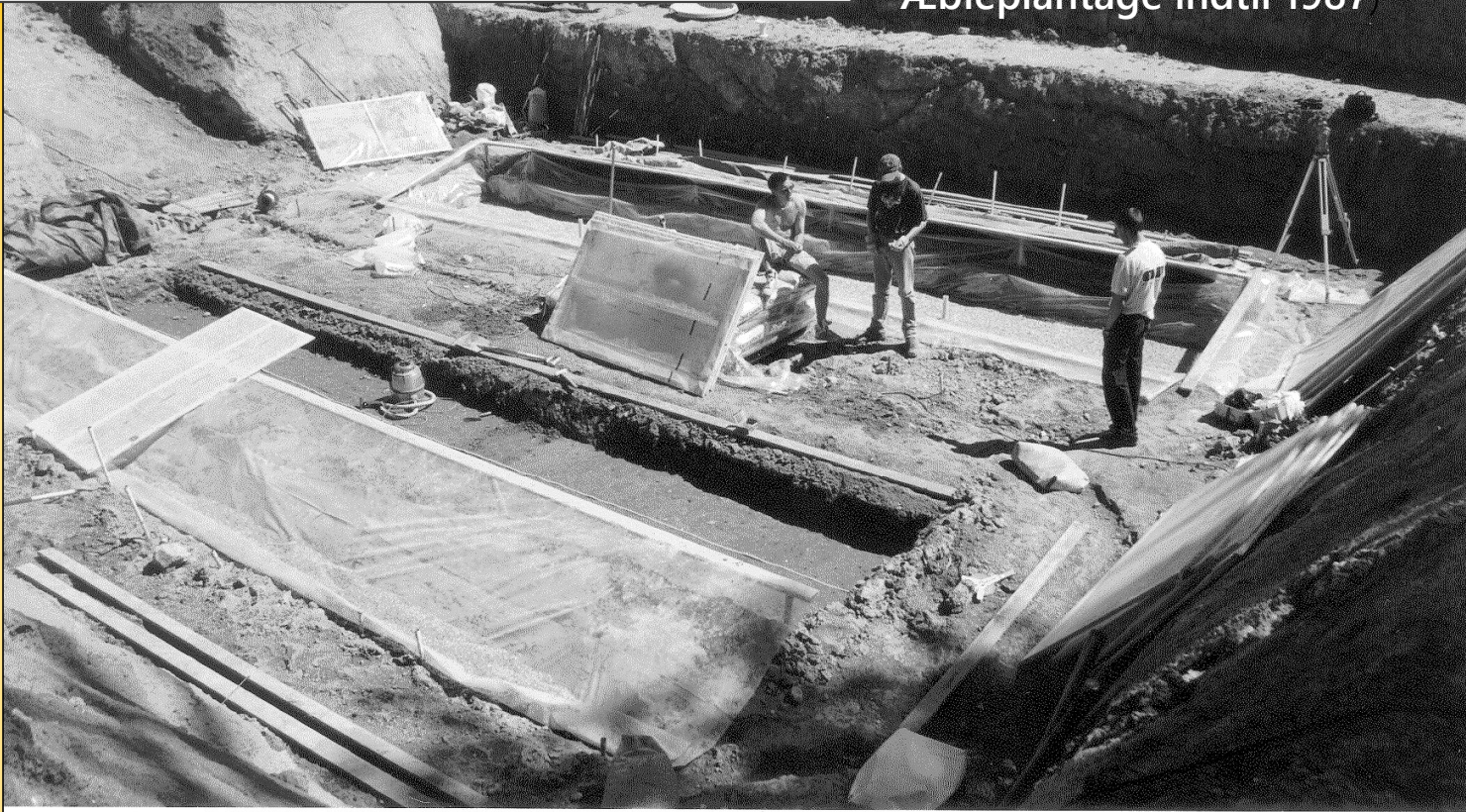
(PESTPORE2 2022)

Hvid elefant i Havdrup? Feltforsøg 1997

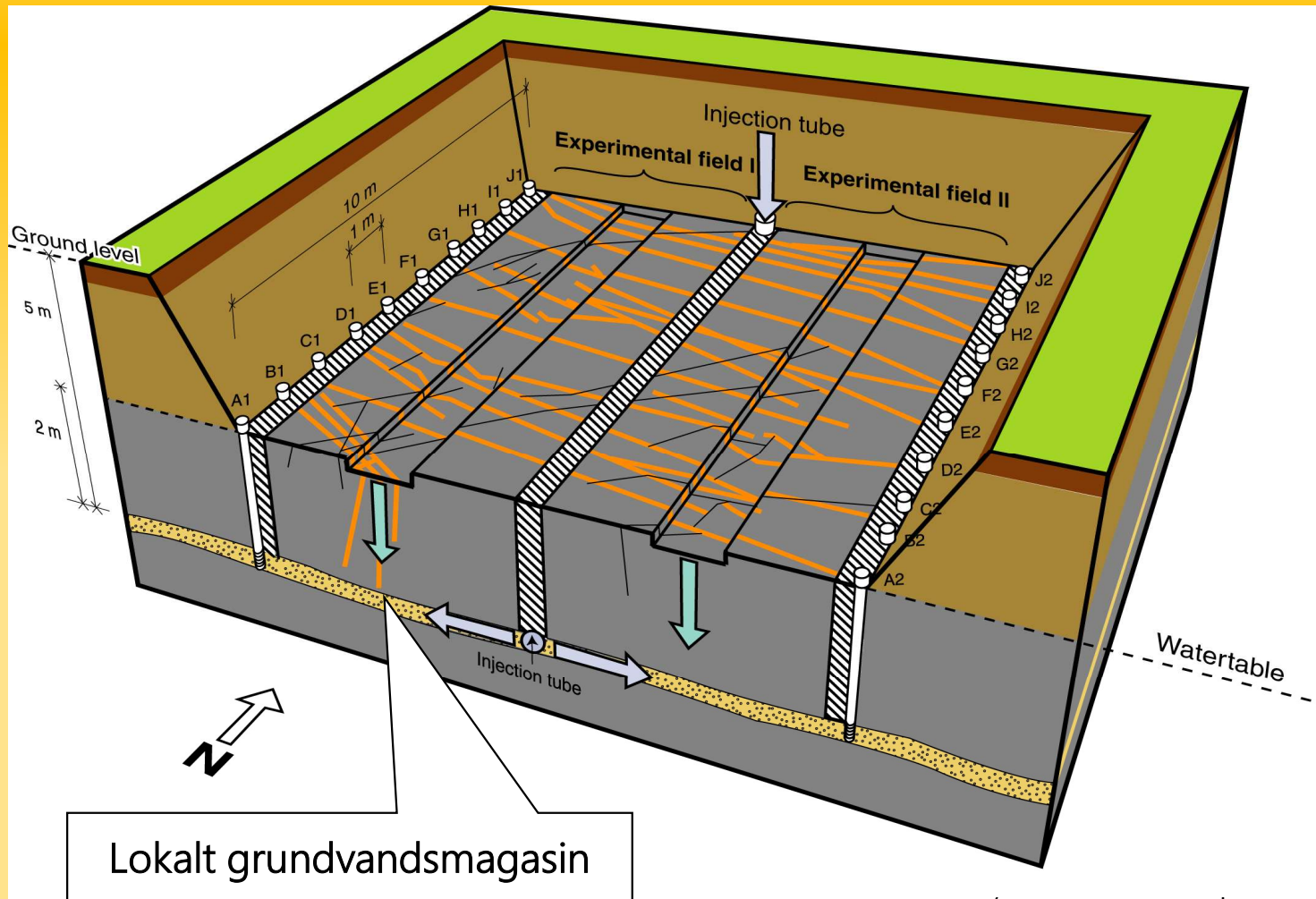
WATER RESOURCES RESEARCH, VOL. 38, NO. 11, 1246, doi:10.1029/2001WR000494, 2002

**Preferential flow and pesticide transport in a clay-rich till:
Field, laboratory, and modeling analysis**

Æbleplantage indtil 1987



Hvid elefant i Havdrup? Feltforsøg 1997

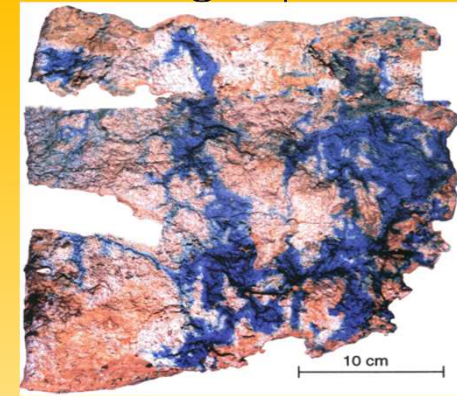
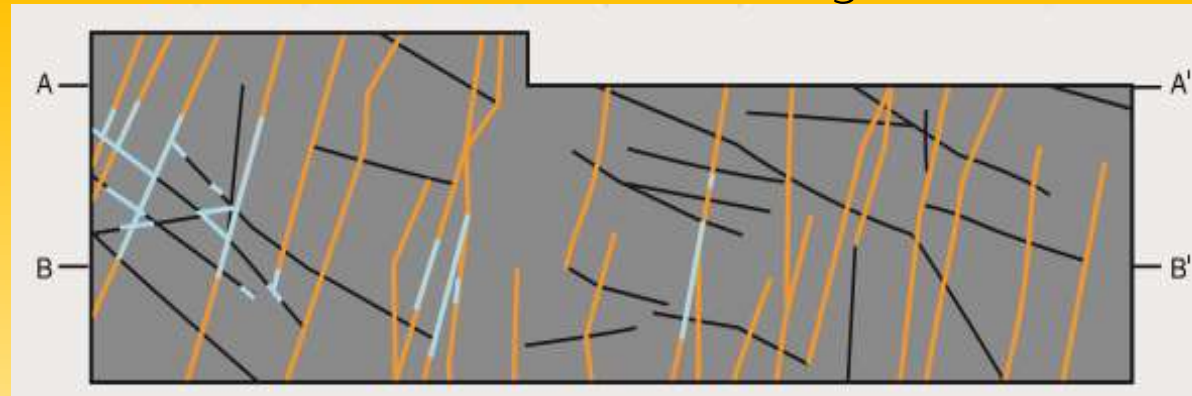


(Jørgensen et al. 2002)

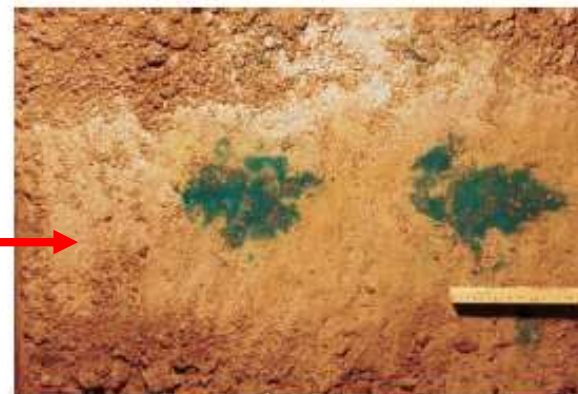
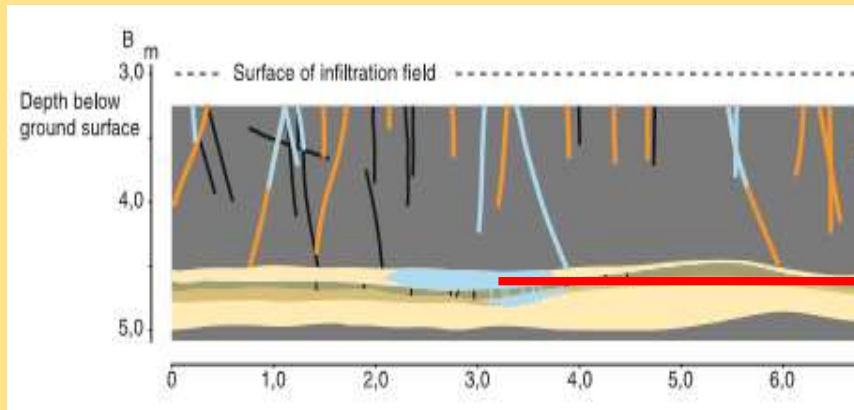
Hvid elefant i Havdrup? Feltforsøg 1997

Horisontalt snit

Strømning i kanaler efter rødder langs sprækker



Vertikalt snit



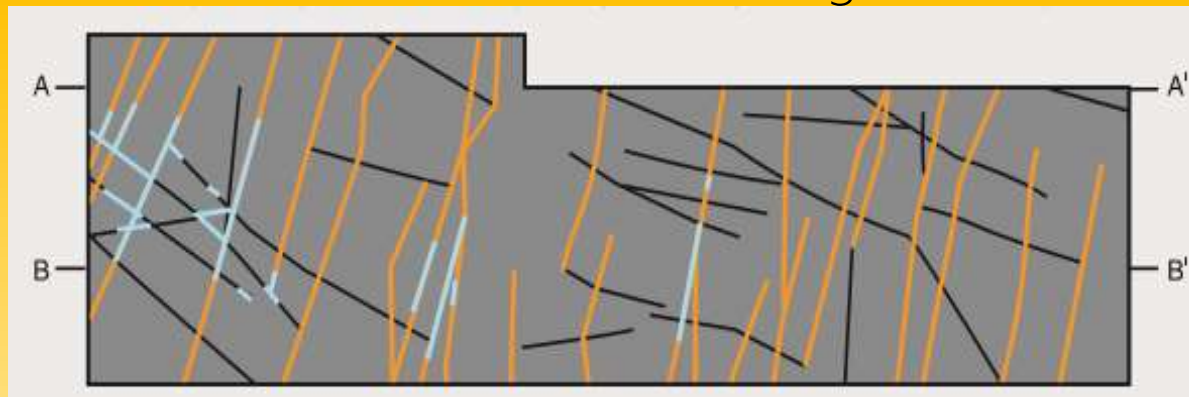
Overflade af lok.
grundvandsmagasin

(Jørgensen et al. 2002)

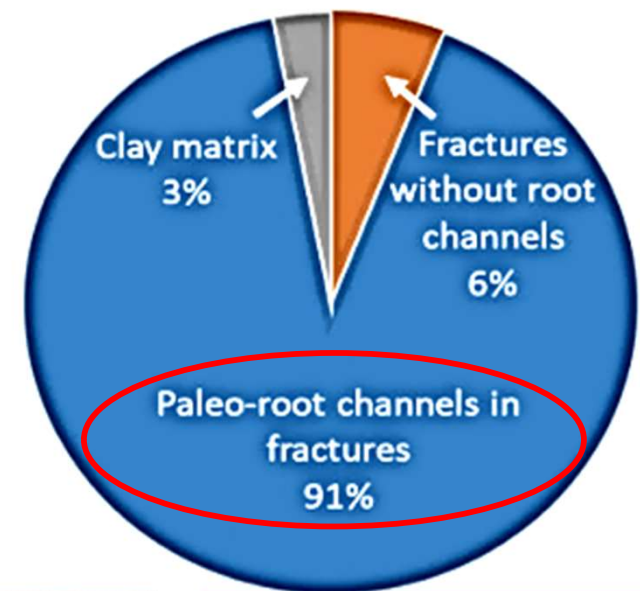
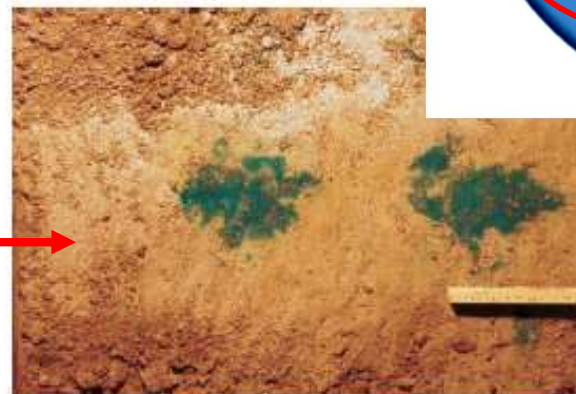
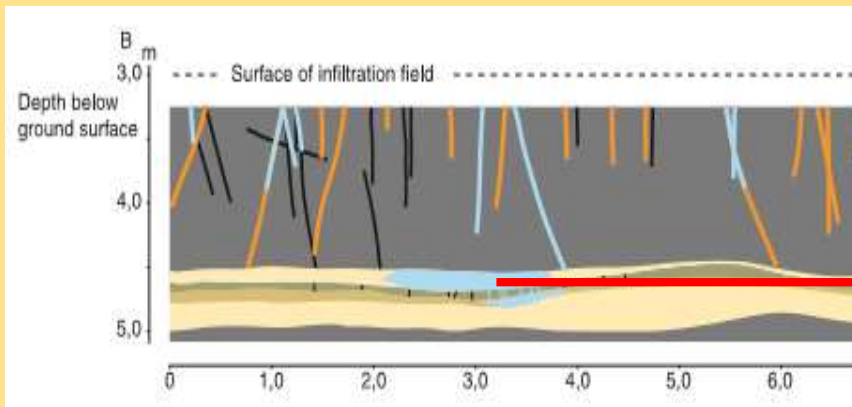
Feltforsøg 1997 går imod den gængse opfattelse Er det en hvid elefant?

Horisontalt snit

Strømning i kanaler efter rødder langs sprækker



Vertikalt snit



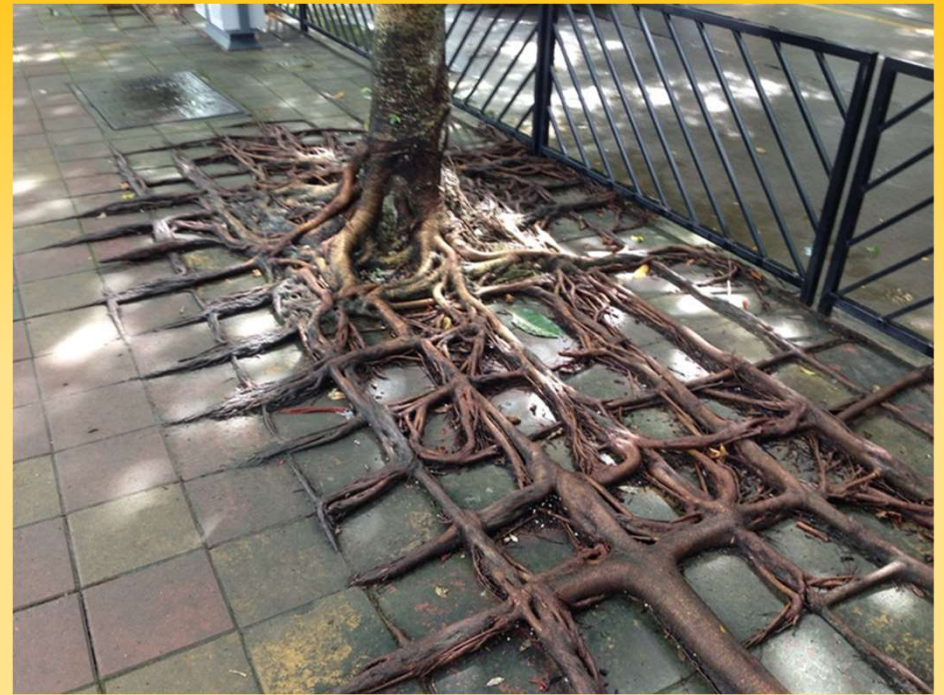
Overflade af lok.
grundvandsmagasin

(Jørgensen et al. 2002)

Trærødder har enorm plasticitet og kan "sanse", bl.a. sprækker

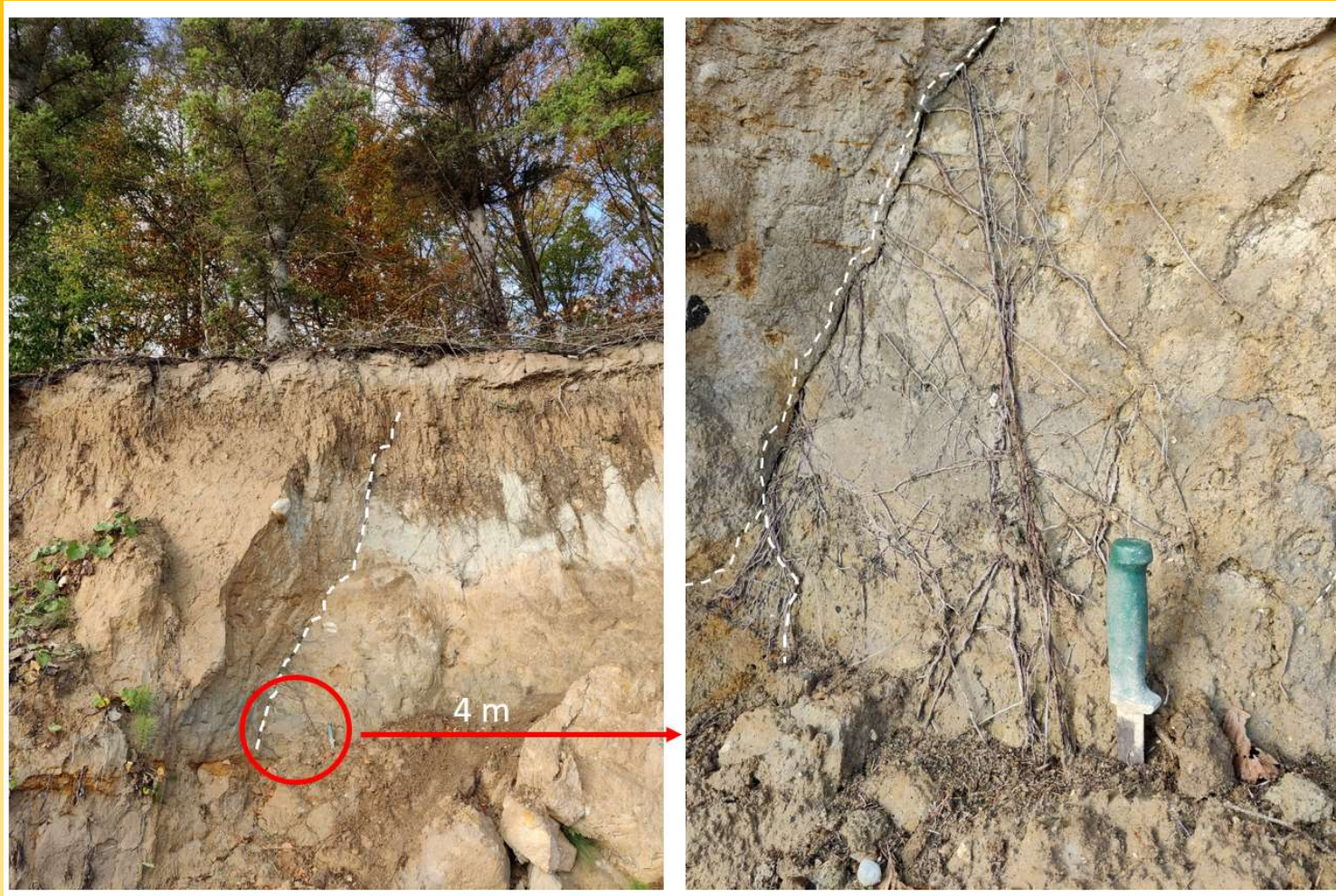


(Google 2002)



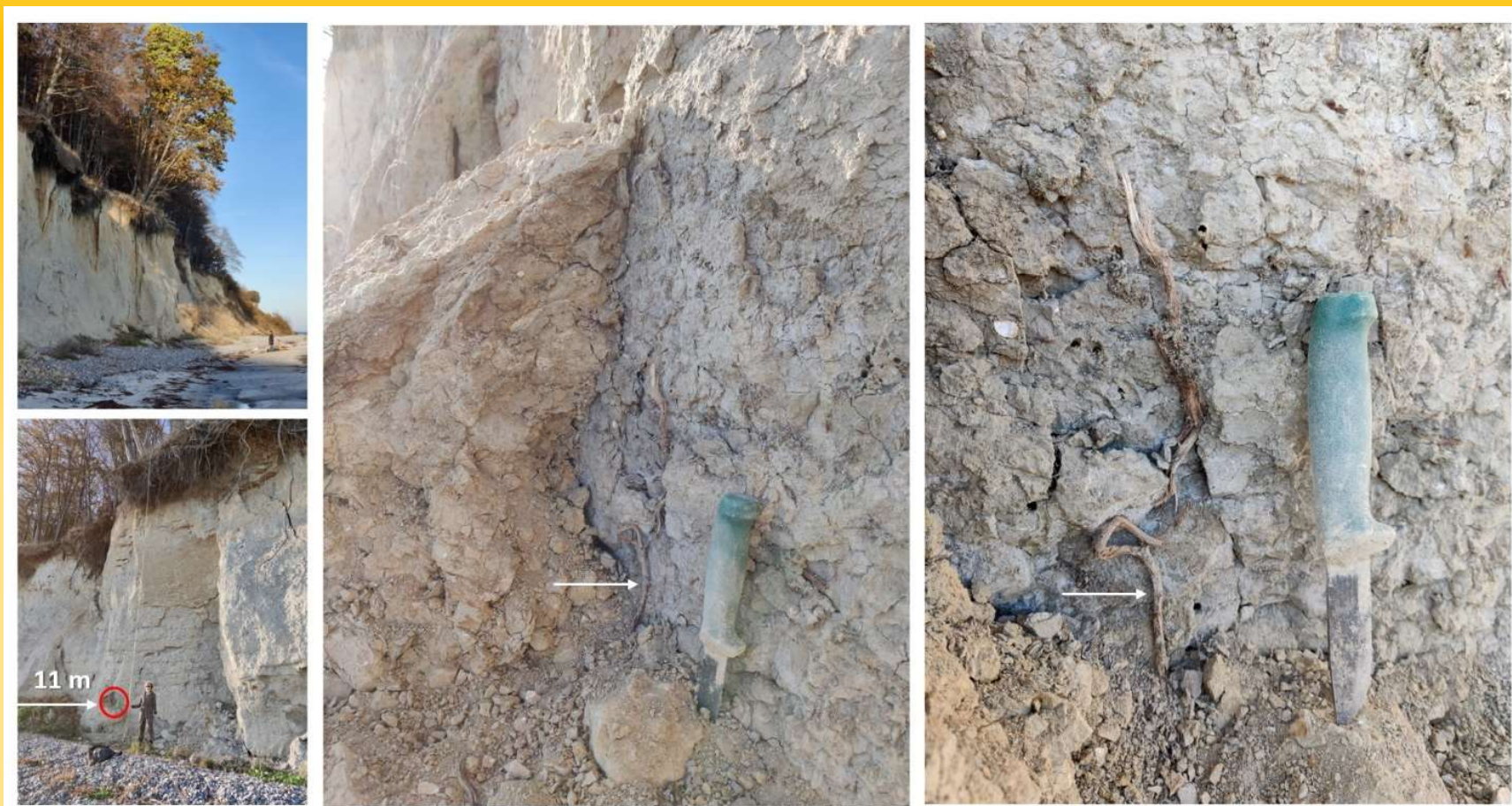
(Google 2002)

Trærødder i moræneler vokser i sprækkerne (kystklint på NØ Falster)



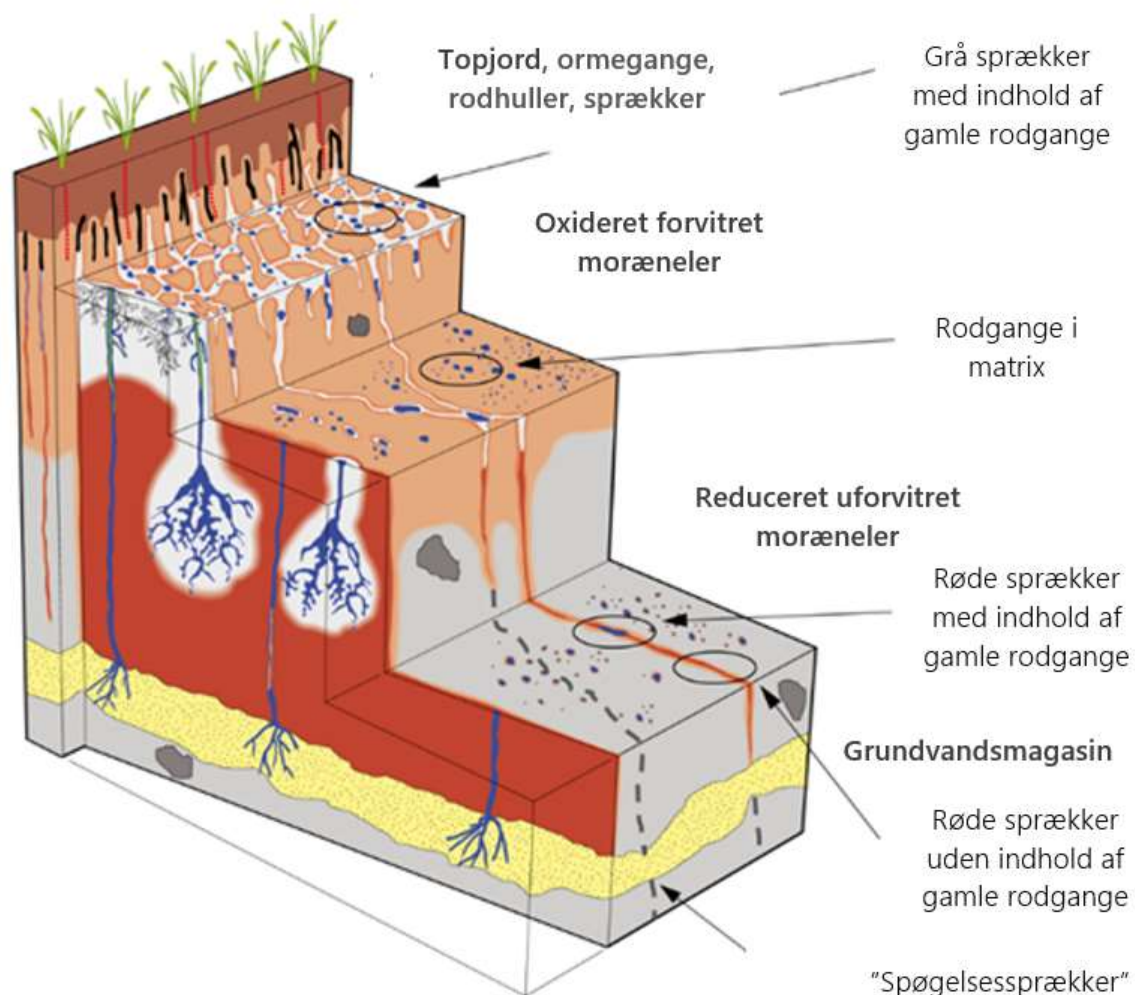
(Jørgensen 2022)

Tilfældige fund af roddybder ned til 10-15 m i moræneler



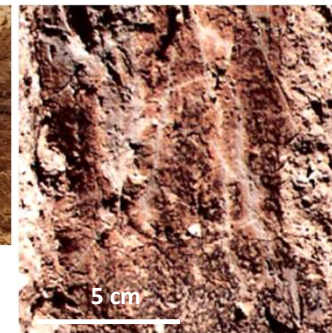
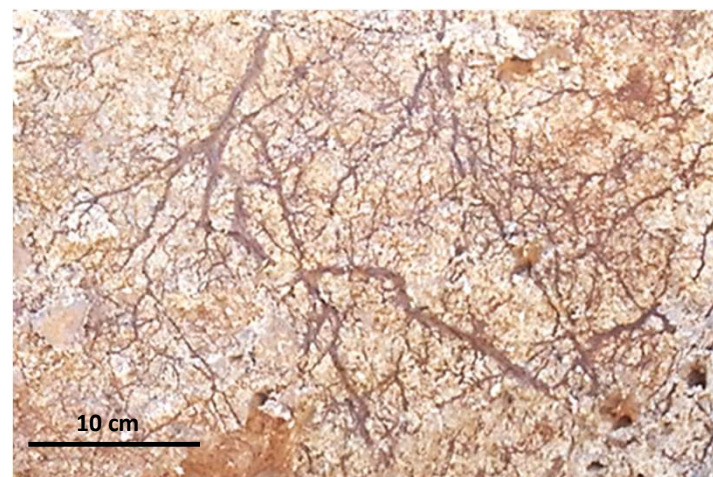
(Foto: Peter Jørgensen)

Typiske sprækker og paleo-rodkanaler i ML

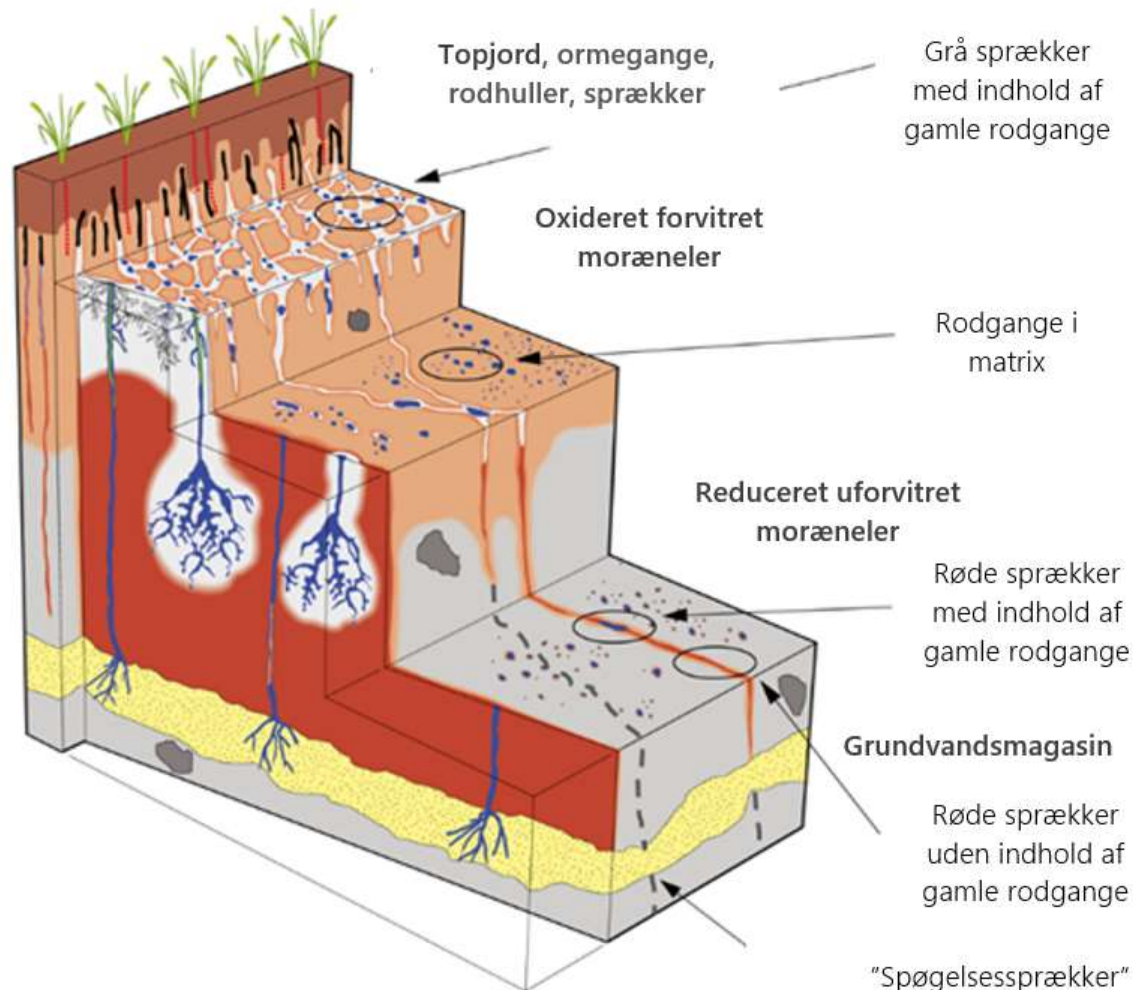


(Clayfrac & PESTPORE2 2022)

Sprækkevægge

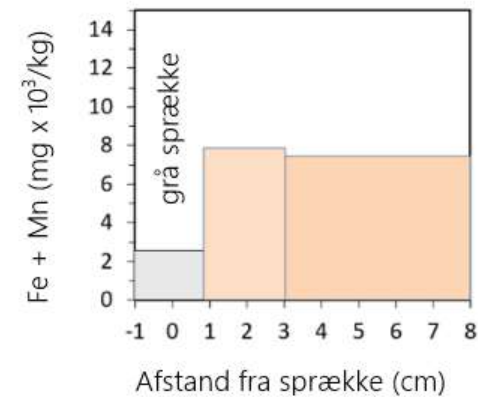


Paleo-rodgange og sprækker i moræneler

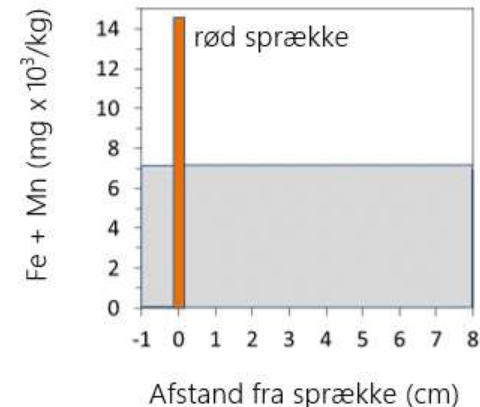


(Clayfrac & PESTPORE2 2022)

Fe/Mn udpinte sprækker



Fe/Mn fyldte sprækker



Afstand fra sprække (cm)

(PESTPORE2 2022)

Fe/Mn er akkumuleret i røde sprækker



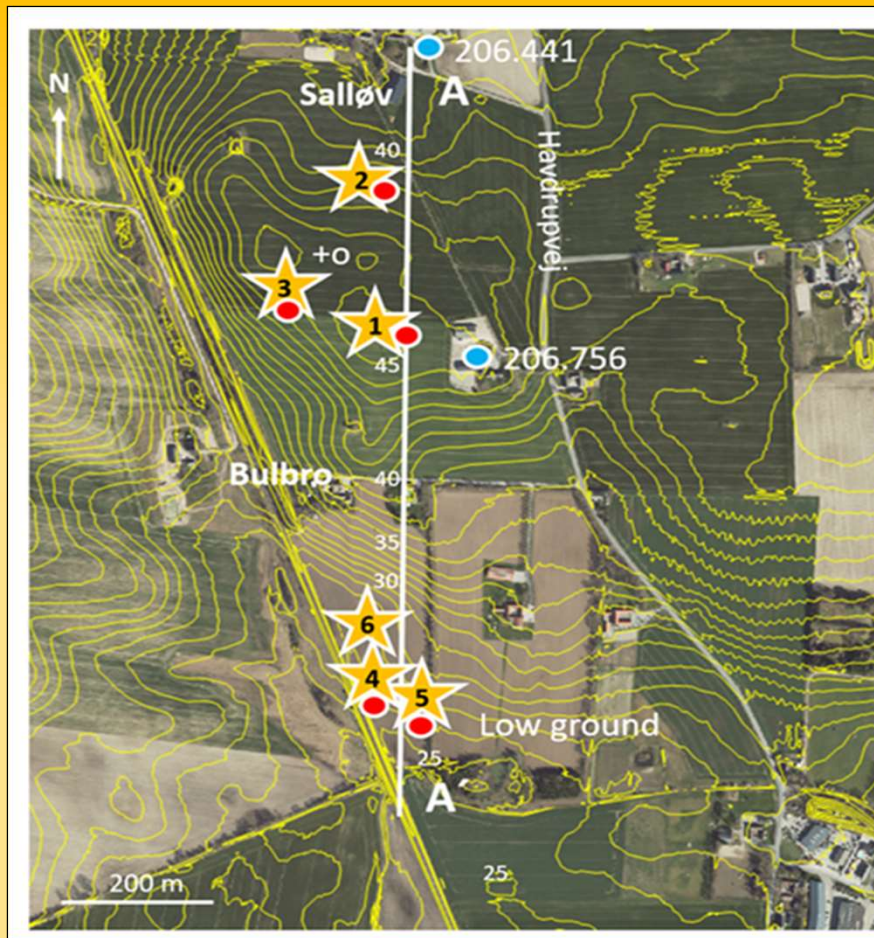
Feltundersøgelser i PESTPORE 2



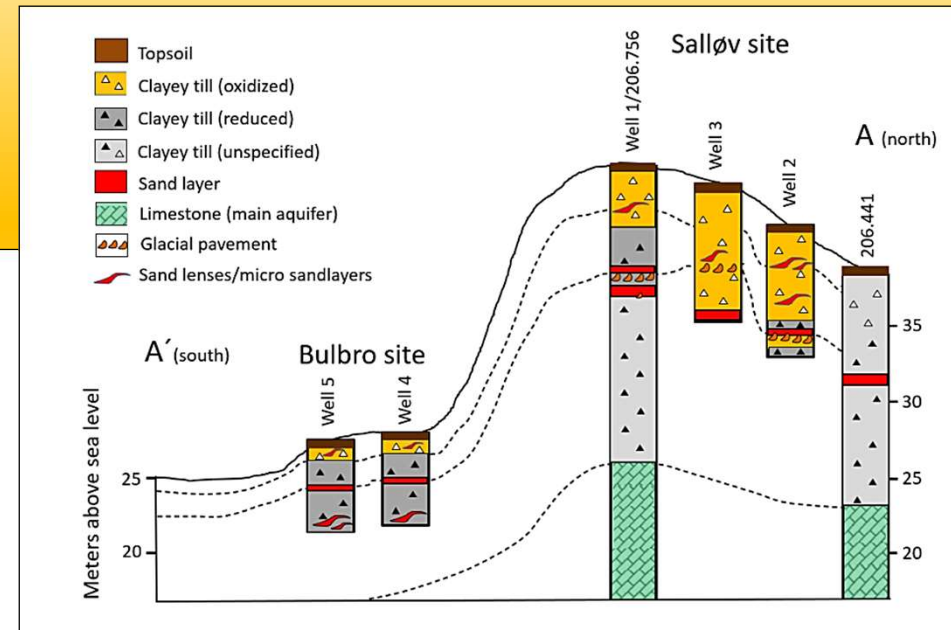
PESTPORE 2

- Oprindelse og generel udbredelse af paleo-rodkanalerne
- Sprækker *versus* dybe rodkanaler som strømningsveje
- Paleo-rodgange i landskabets topografi
- Grundvandssårbarhed

Havdrup morænebakke - højt og lavtliggende sites, 2-3 tusinde år gammel landbrugsjord



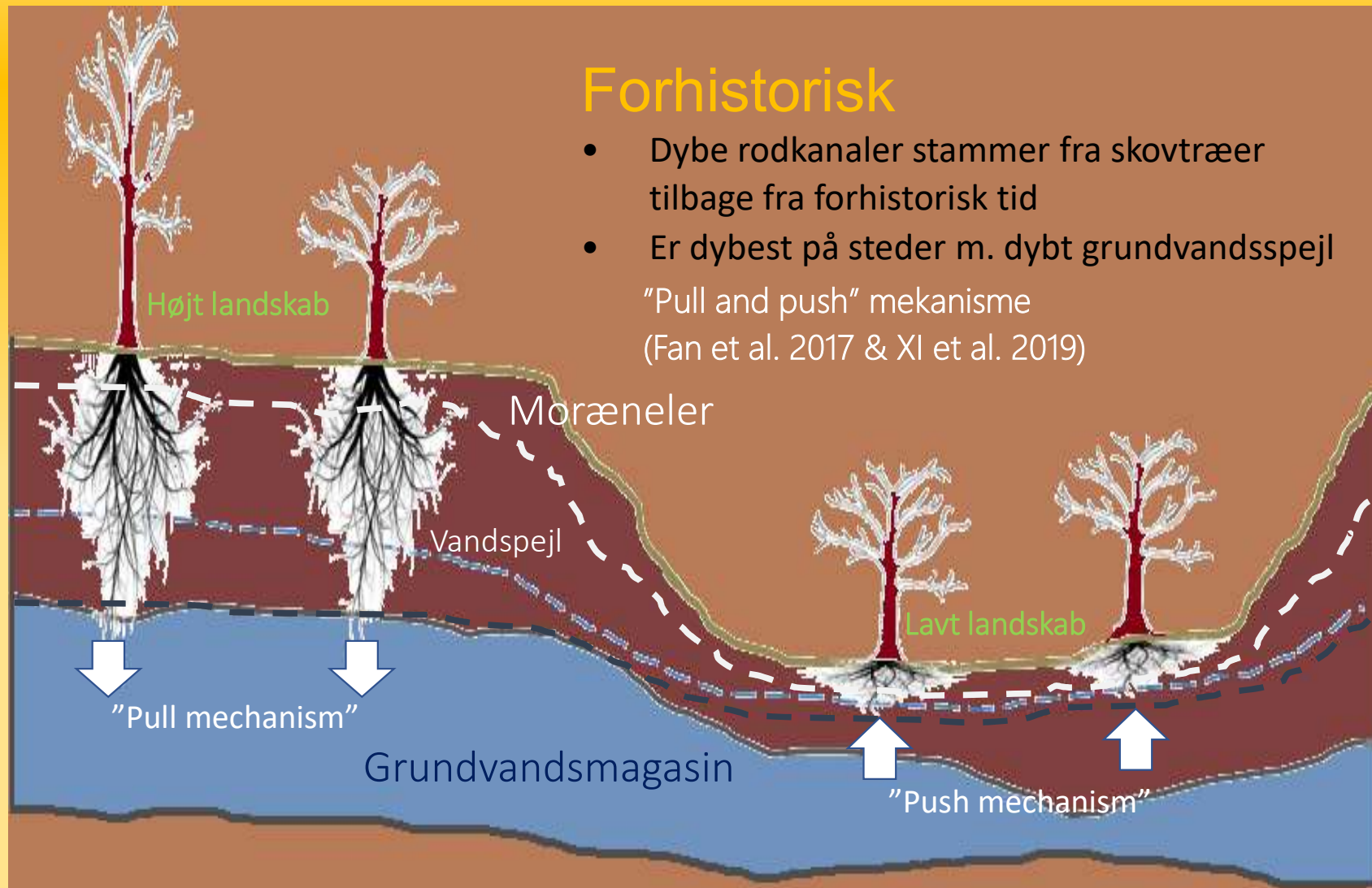
- ★ Excavation
- Monitoring well
- Water supply well
- A—A' Geological profile



PESTPORE2 hypoteser

Forhistorisk

- Dybe rodkanaler stammer fra skovtræer tilbage fra forhistorisk tid
 - Er dybest på steder m. dybt grundvandsspejl
- "Pull and push" mekanisme
(Fan et al. 2017 & XI et al. 2019)

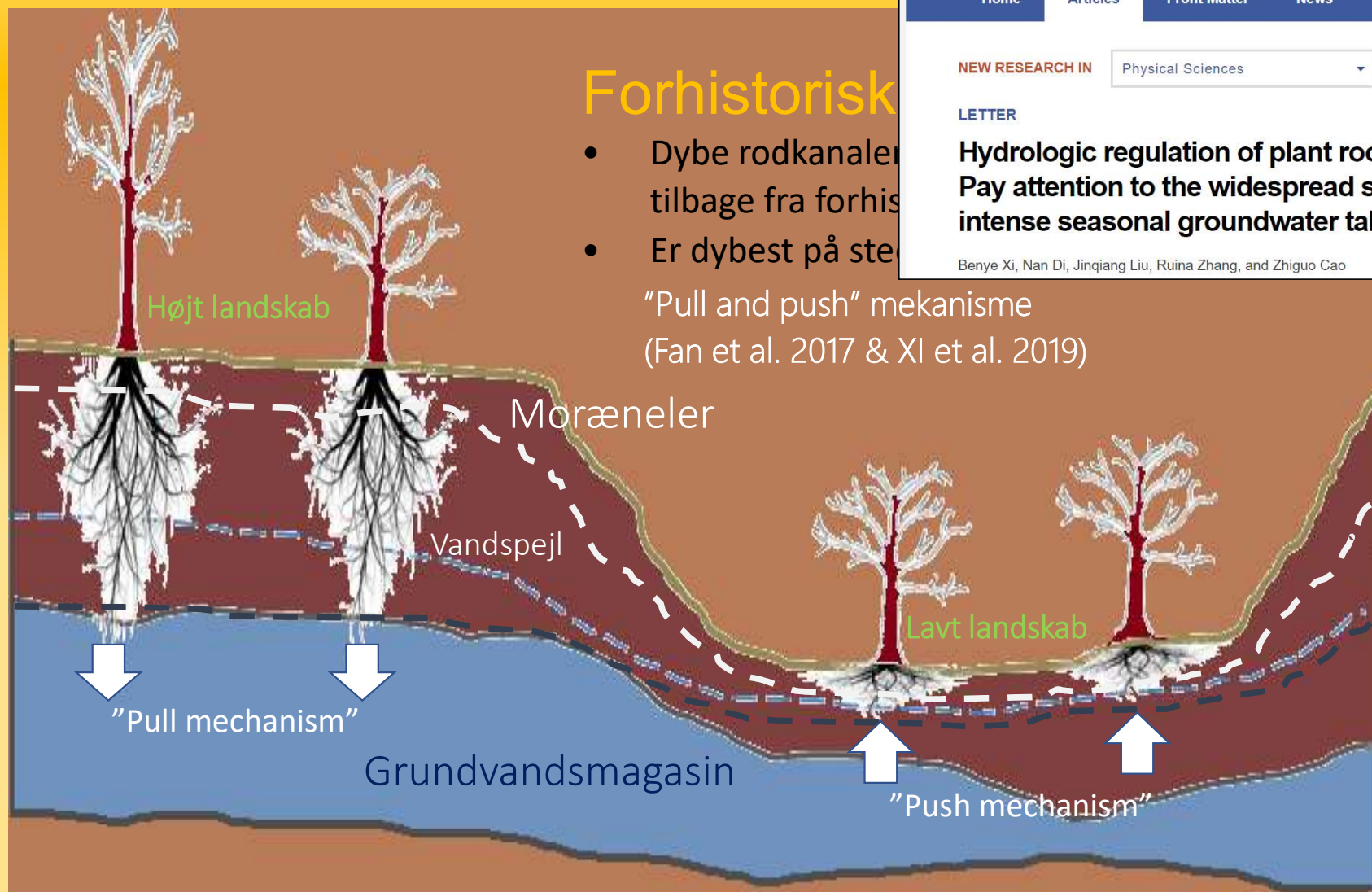


PESTPORE2 hypoteser

Forhistorisk

- Dybe rodkanaler tilbage fra forhistorisk tid
- Er dybest på steder med stor vandtilgængelighed

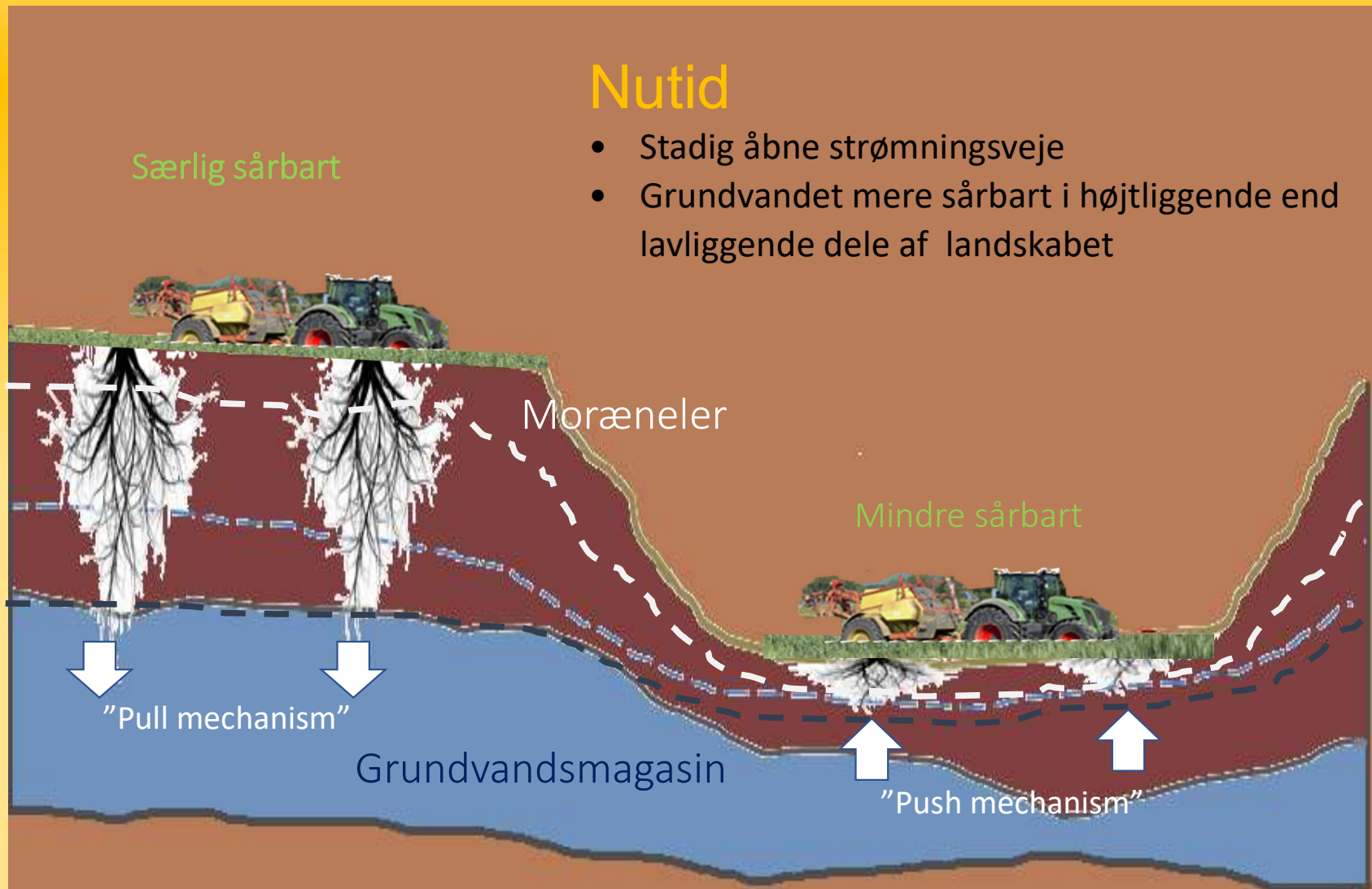
"Pull and push" mekanisme
(Fan et al. 2017 & Xi et al. 2019)



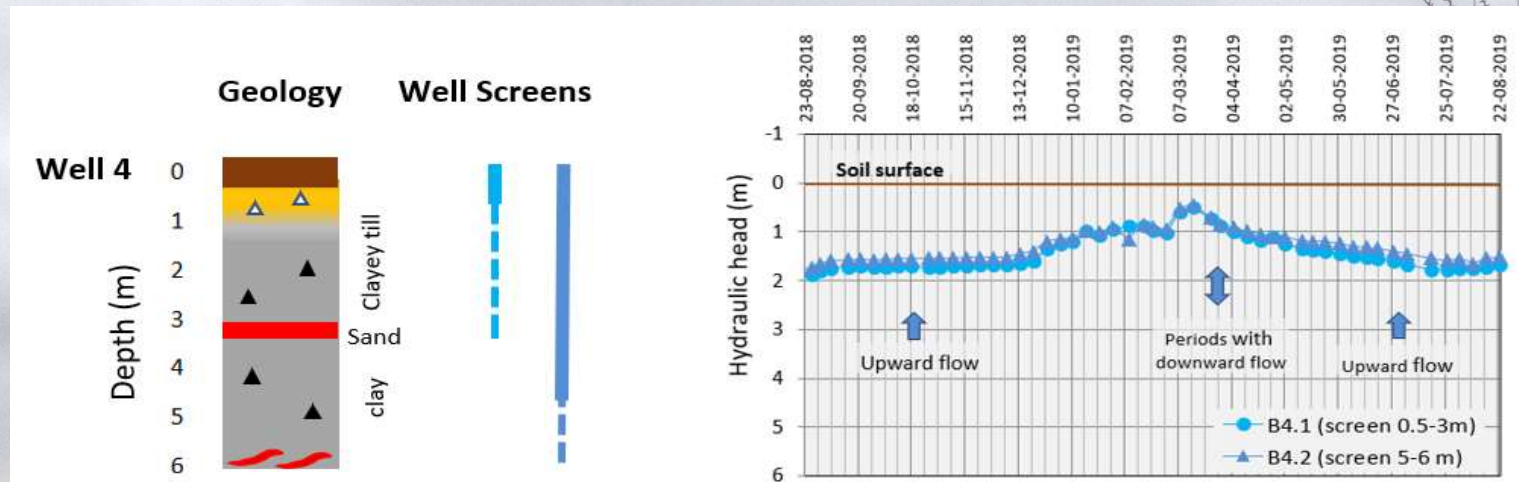
PESTPORE2 hypoteser

Nutid

- Stadig åbne strømningsveje
- Grundvandet mere sårbart i højtliggende end lavliggende dele af landskabet



Lavtliggende lokalitet



Dybde af rodgange og grundvandsspejl (GVS)

PNAS

Proceedings of the
National Academy of Sciences
of the United States of America

Keyword, Author

Home Articles Front Matter News Podcasts Authors

NEW RESEARCH IN

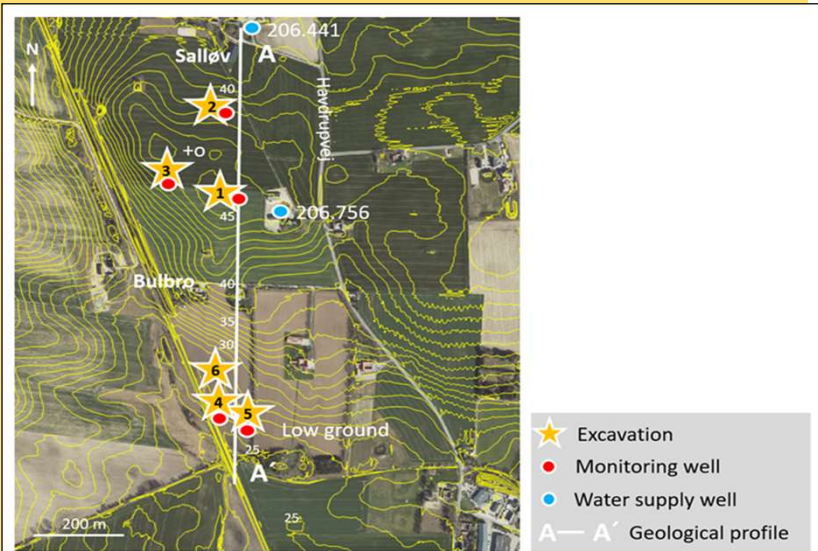
Physical Sciences

Social Sciences

LETTER

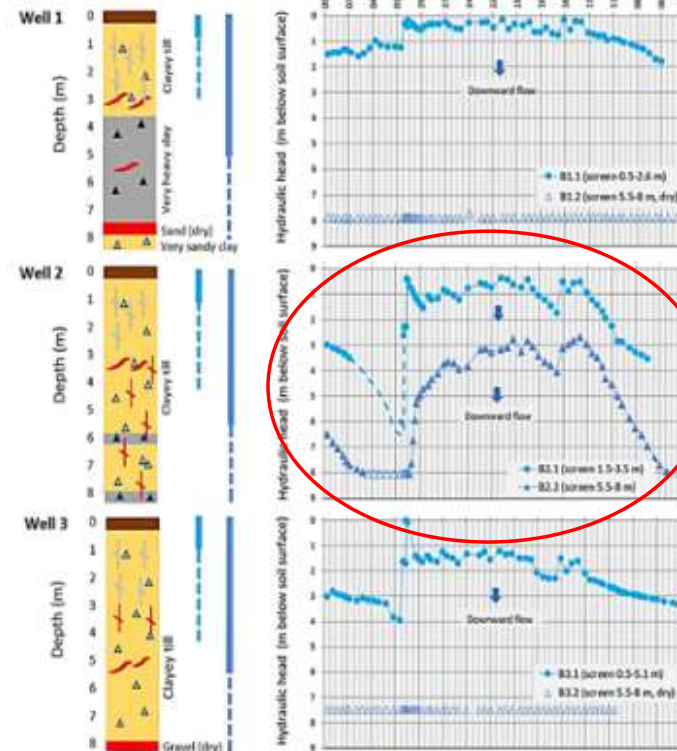
Hydrologic regulation of plant rooting depth: Pay attention to the widespread scenario with intense seasonal groundwater table fluctuation

Benye Xi, Nan Di, Jinqiang Liu, Ruina Zhang, and Zhiguo Cao

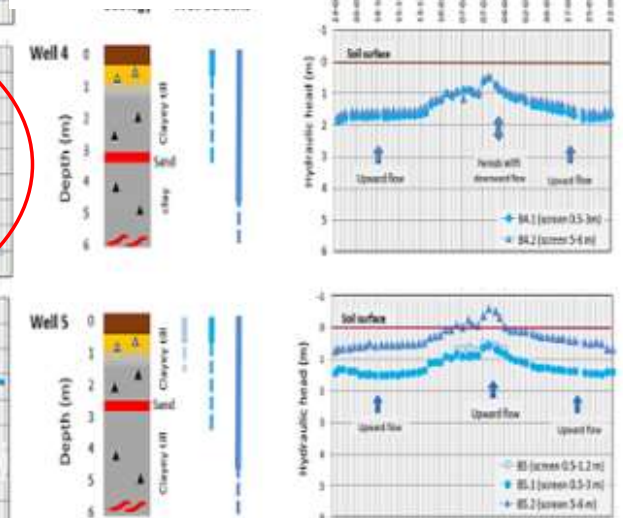


"Pull and push" mekanisme
(Fan et al. 2017 & Xi et al. 2019)

Højtliggende



Lavtliggende



Dybde af rodgange og grundvandsspejl (GVS)

PNAS

Proceedings of the
National Academy of Sciences
of the United States of America

Keyword, Author

Home

Articles

Front Matter

News

Podcasts

Authors

NEW RESEARCH IN

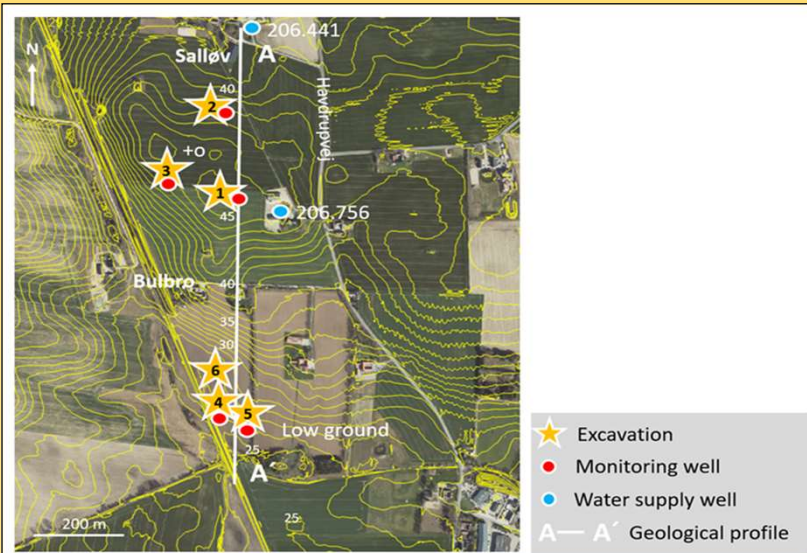
Physical Sciences

Social Sciences

LETTER

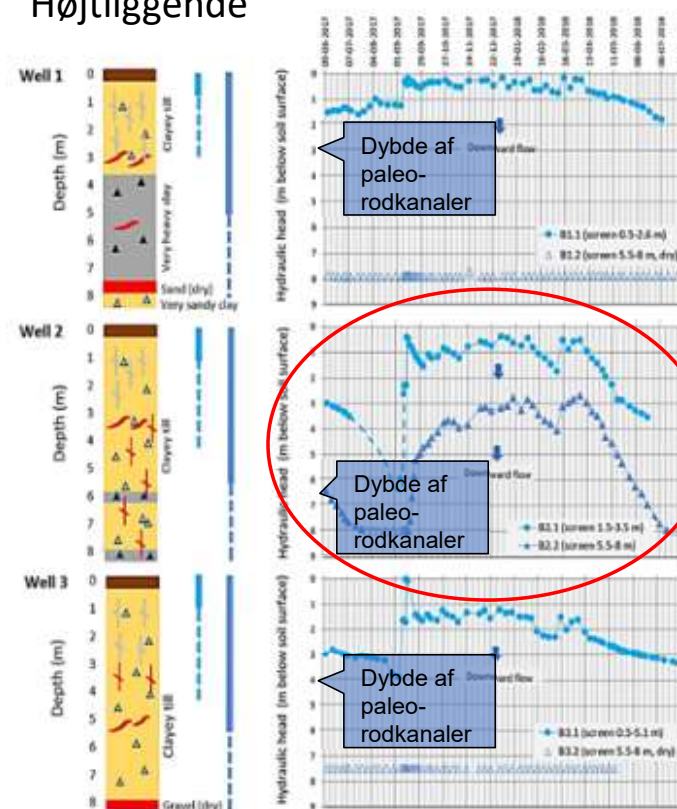
Hydrologic regulation of plant rooting depth: Pay attention to the widespread scenario with intense seasonal groundwater table fluctuation

Benye Xi, Nan Di, Jinqiang Liu, Ruina Zhang, and Zhiguo Cao

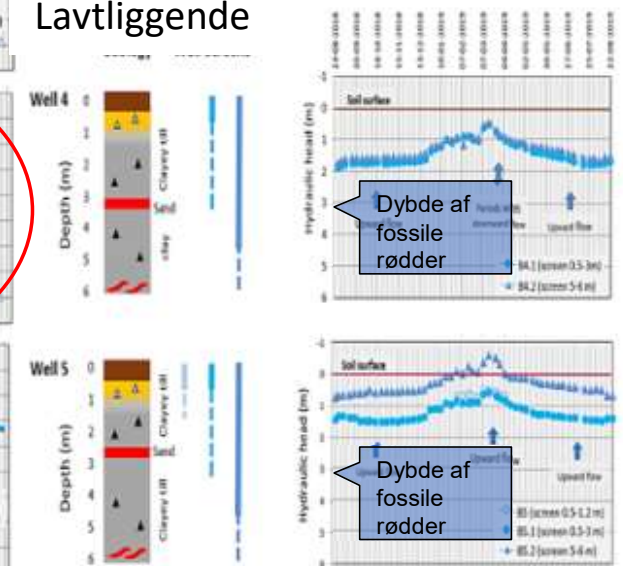


“Pull and push” mekanisme
(Fan et al. 2017 & XI et al. 2019)

Højtliggende

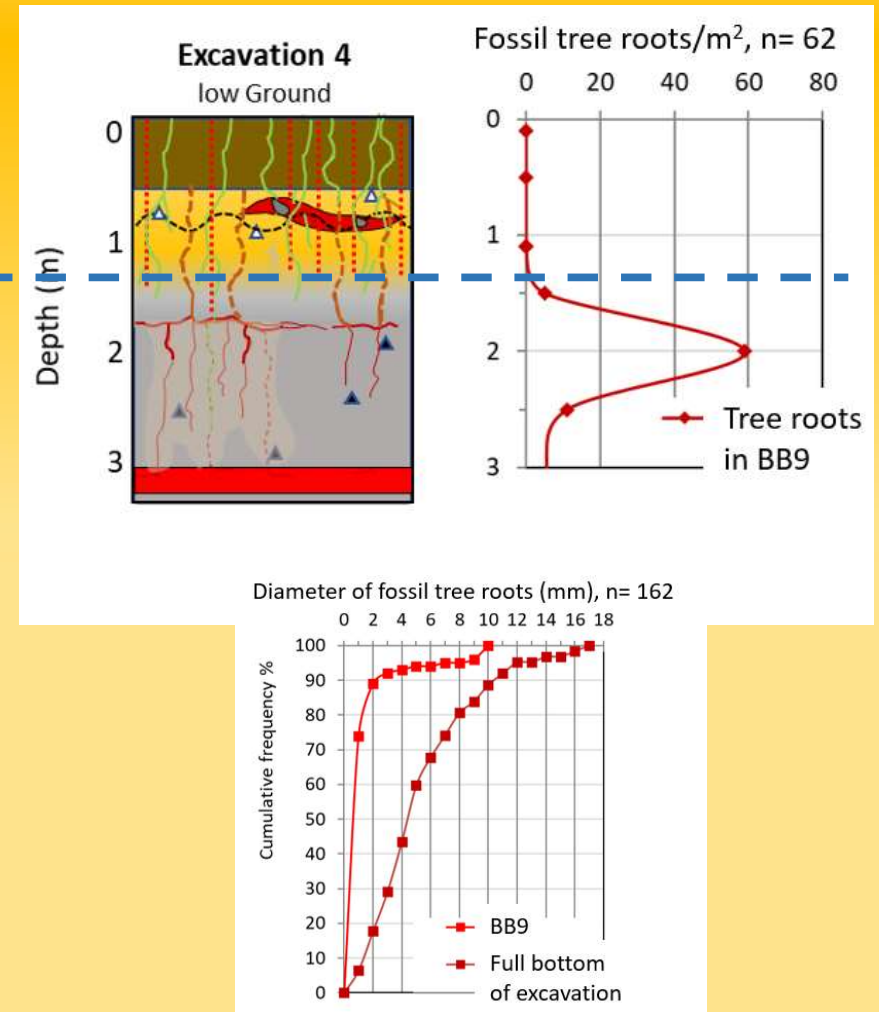
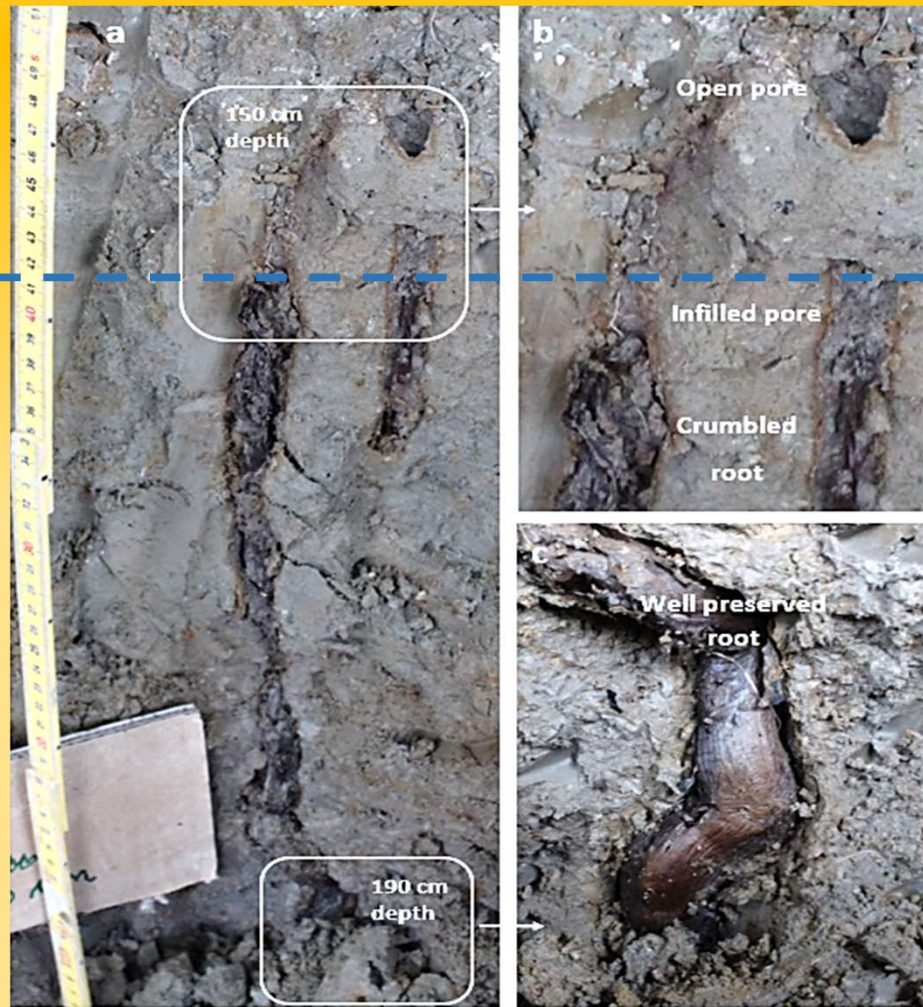


Lavtliggende

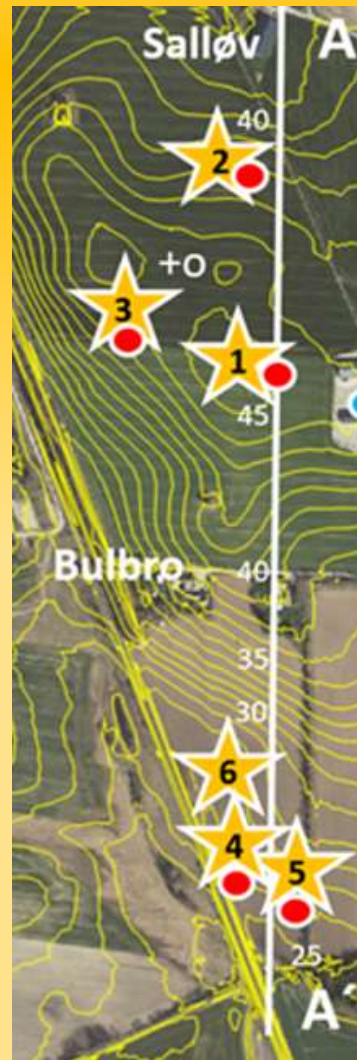


Paleo-rødder har vokset under GVS og fortsætter som tomme rodkanaler over GVS i hundredetusindevis pr. hektar

Grundvands-
spejl



C-14 datering og aDNA artsbestemmelse af fossile rødder og makropore sediment



Pil (*Salix Vetrix*)



5.3 – 5.9 m dybde

Pil (*Salix Vetrix*)



4.8 m dybde

Rødel (*A. Glutinosa*)
6.894 - 6.322 BP



1.3 m dybde

Rødel (*A. Glutinosa*)
7.254 - 3.250 BP



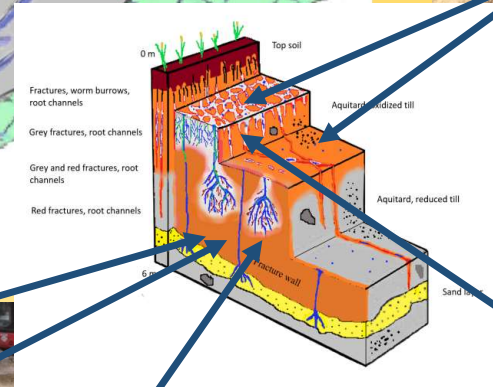
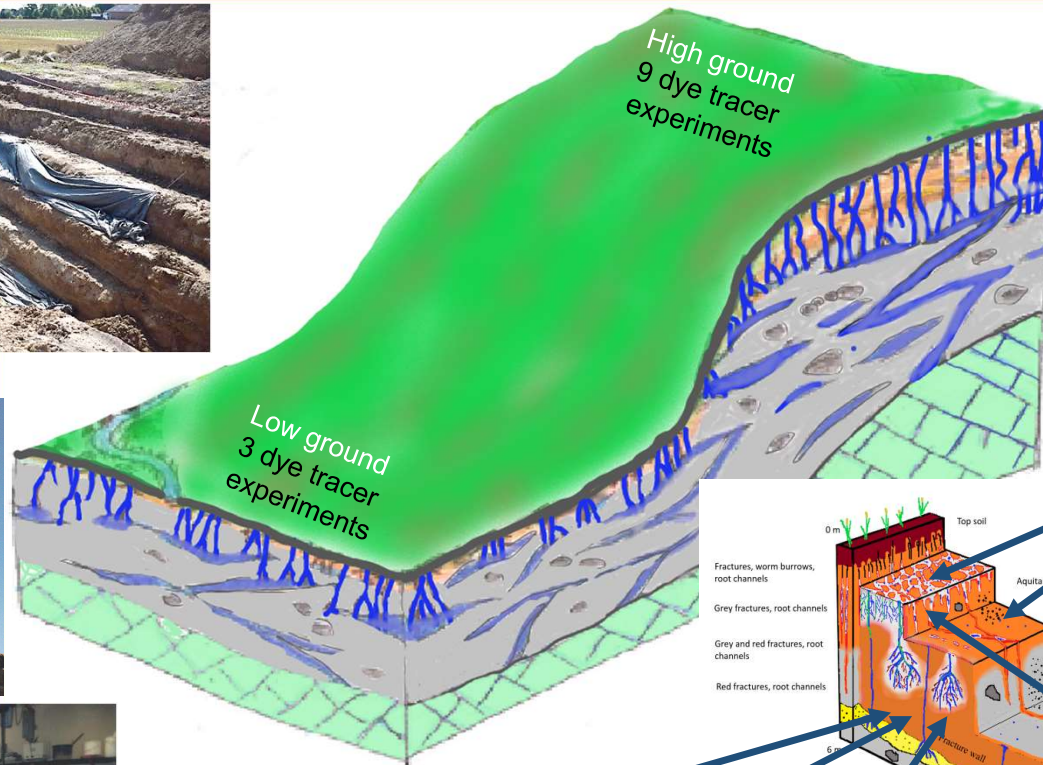
2.3 m dybde

Rødel (*A. Glutinosa*)
2.833 - 2.797 BP

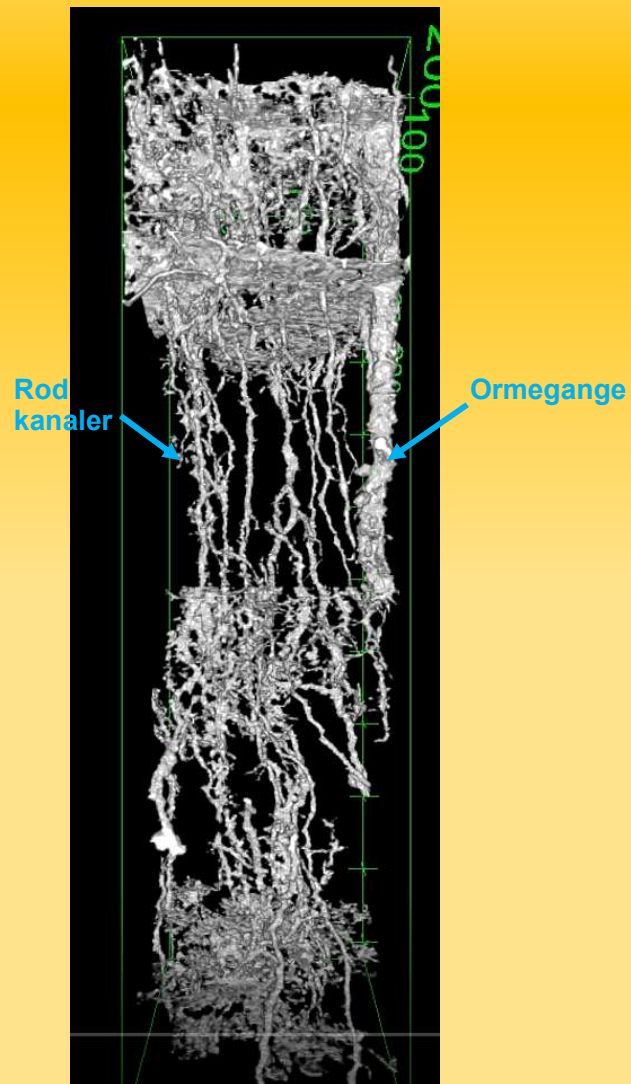


3 m dybde

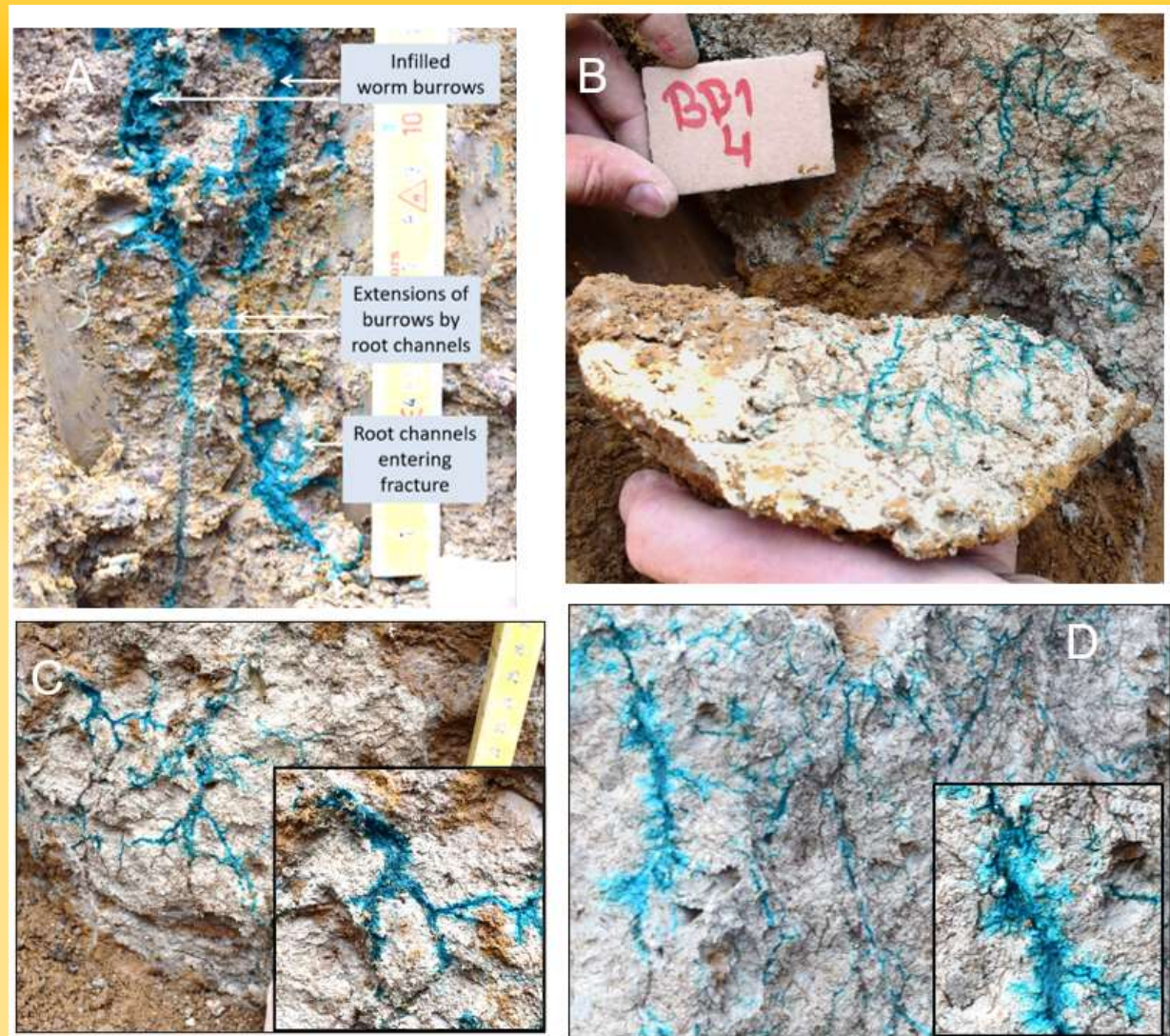
Strømning undersøgt m. 12 farvetracer forsøg og intakte søjler



CT scan 1-1.5 m dybde



Farvetracerforsøg 1-2 m dybde Salløv



Strømning i grå sprækker 2-3 m dybe Salløv

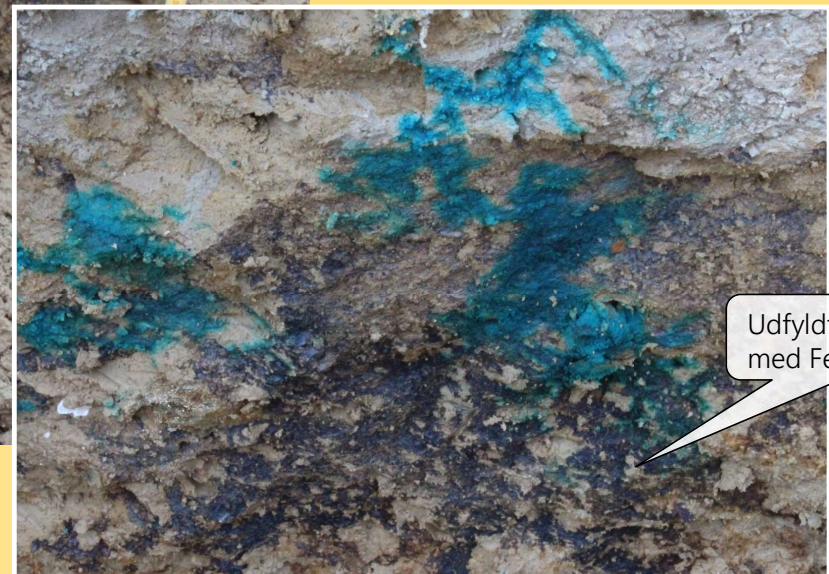




Overgang fra strømningsaktive rodgange til hydrologisk barriere

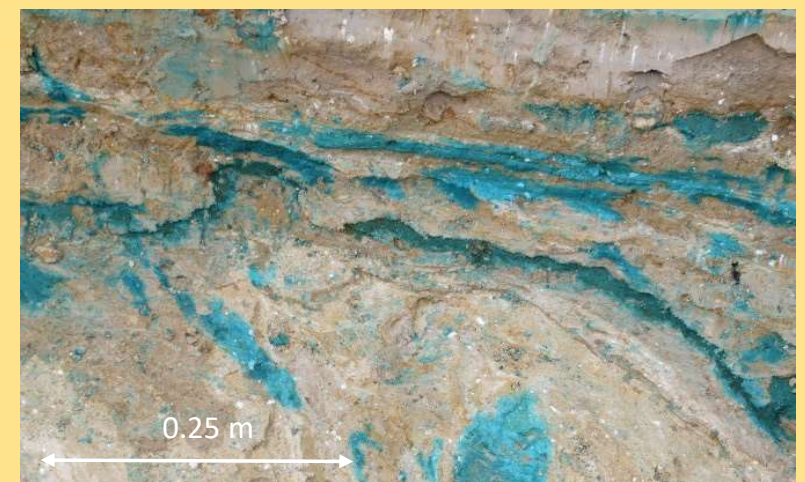
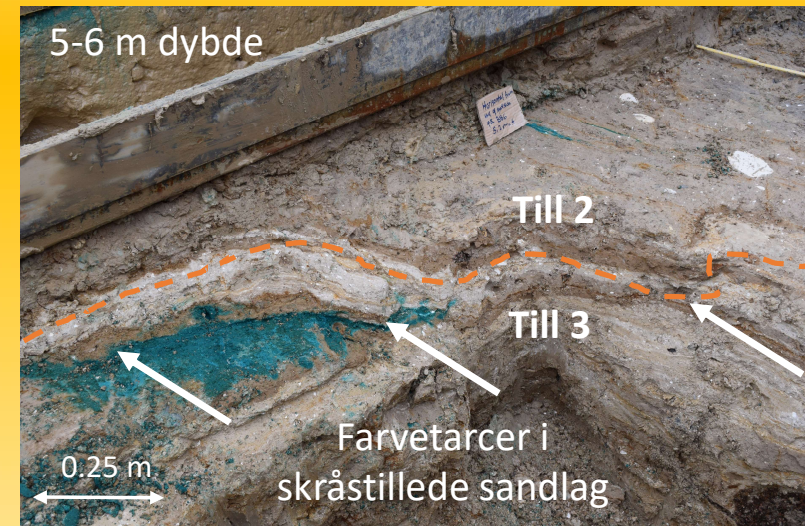
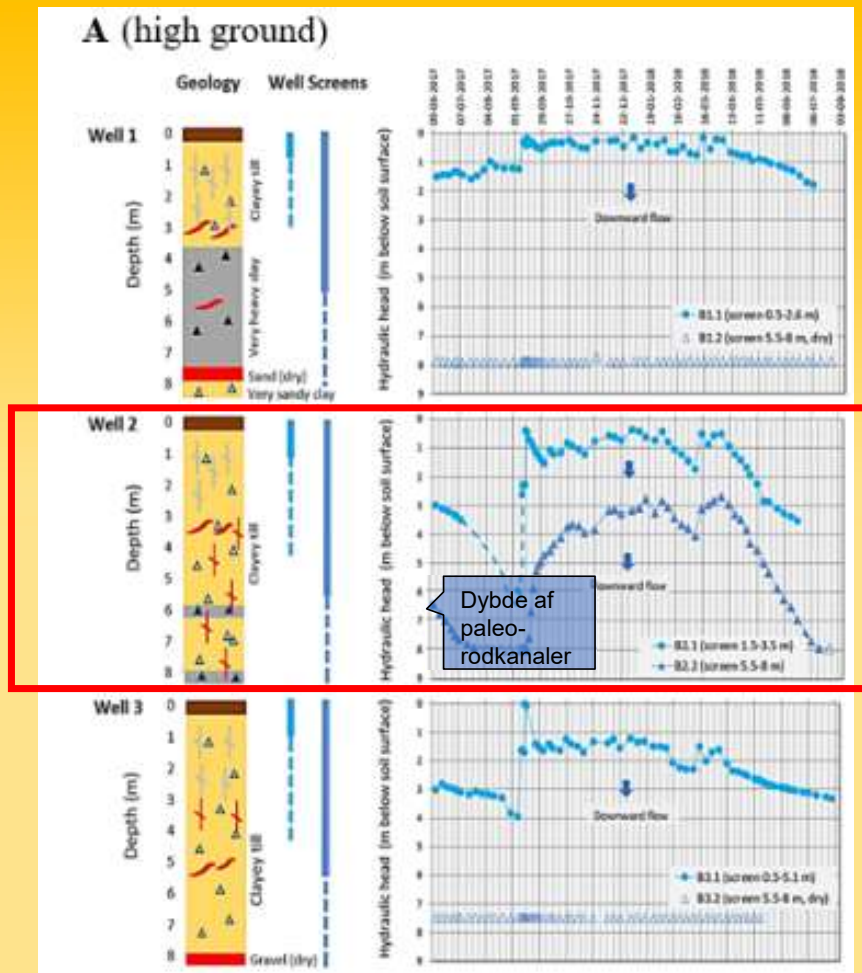


Blokering af strømning i
sprækker af Fe/Mn
udfældninger



Udfyldte rodgange
med Fe/Mn-oxider

Lækage gennem indlejrede skrå sandlag i morænen i udgravning 2 (60 % af strømmningen)

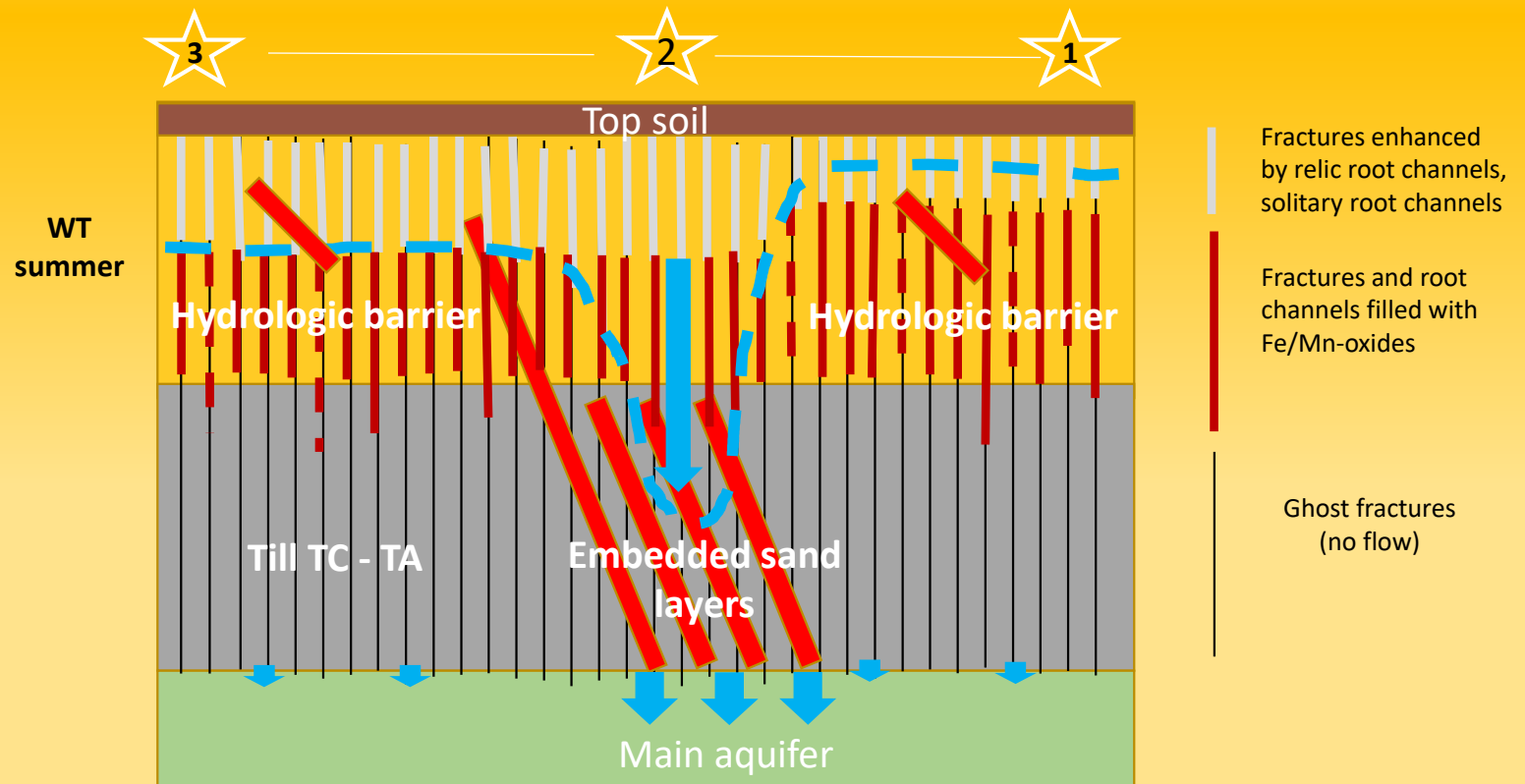


Højtliggende Salløv site: Hydrologisk barriere og lækage i morænen indenfor samme markareal på 3 hektar

Topography (1m contours)

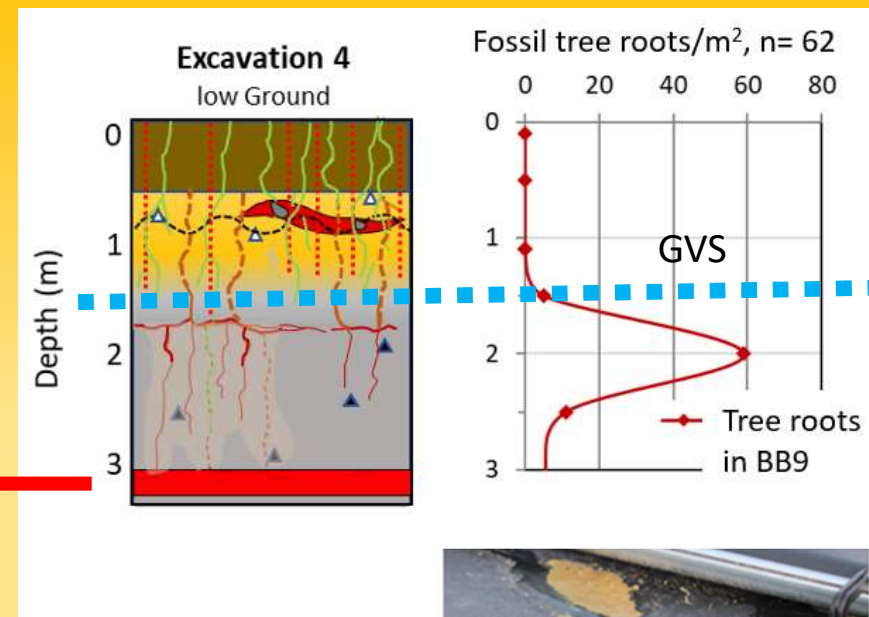


★ Excavations and GW monitoring wells



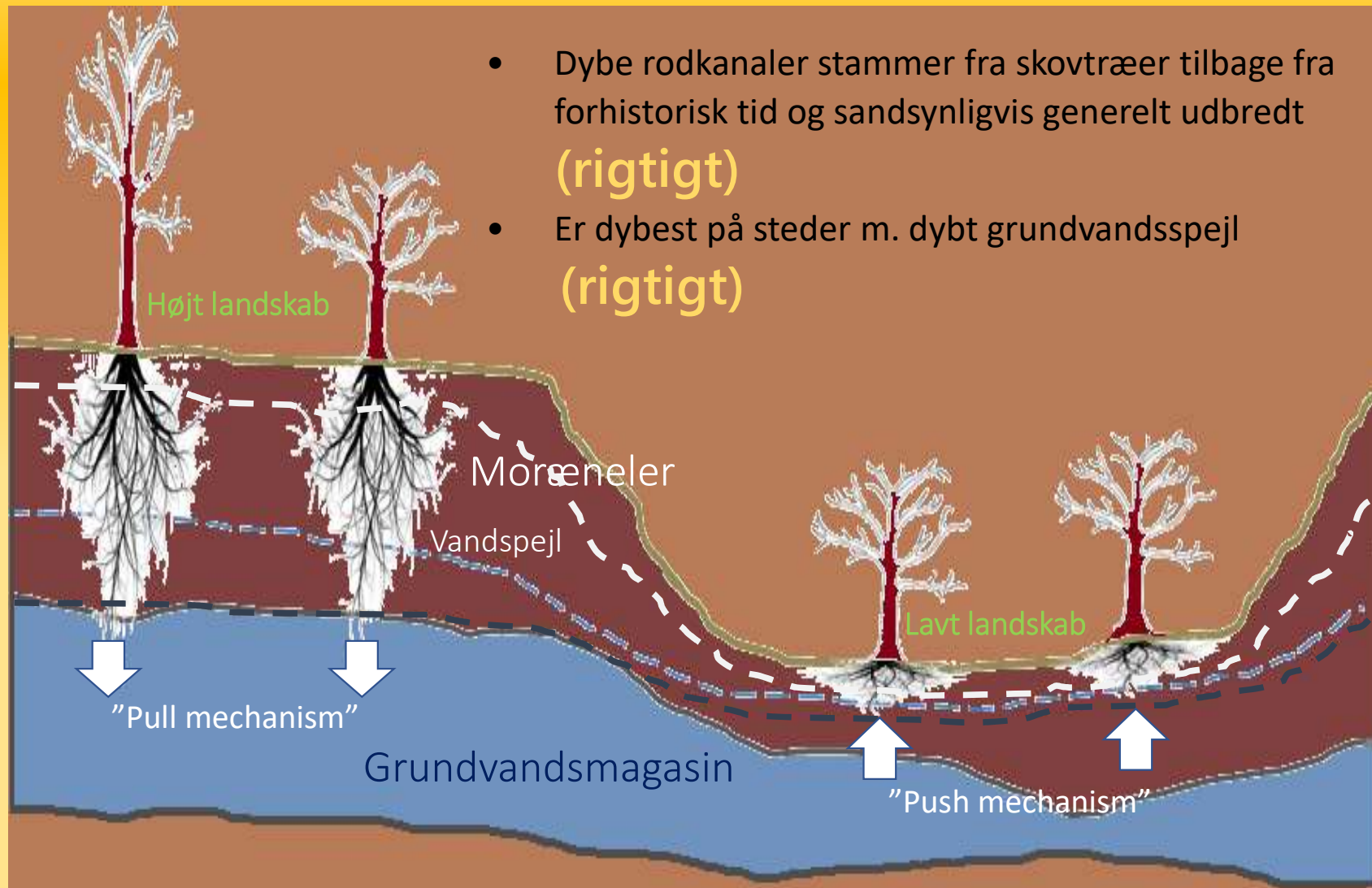
Lavtliggende Bulbro site: Strømning 2 m ned i mættet zone og vandførende sandlag på under 1 time

Overflade af sandlag i 3.2 m dybde



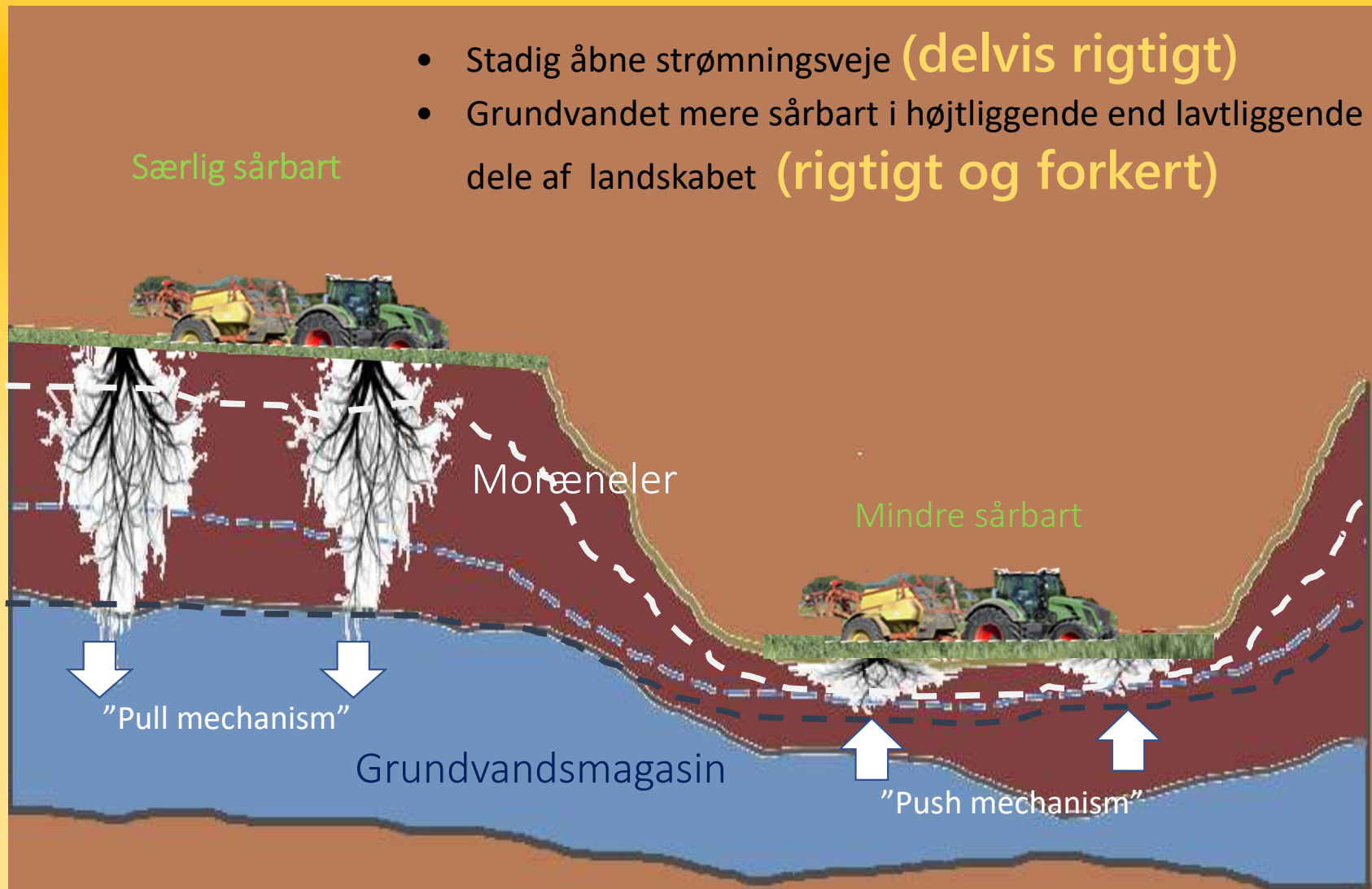
PESTPORE2 hypoteser

- Dybe rodkanaler stammer fra skovtræer tilbage fra forhistorisk tid og sandsynligvis generelt udbredt
(rigtigt)
- Er dybest på steder m. dybt grundvandsspejl
(rigtigt)

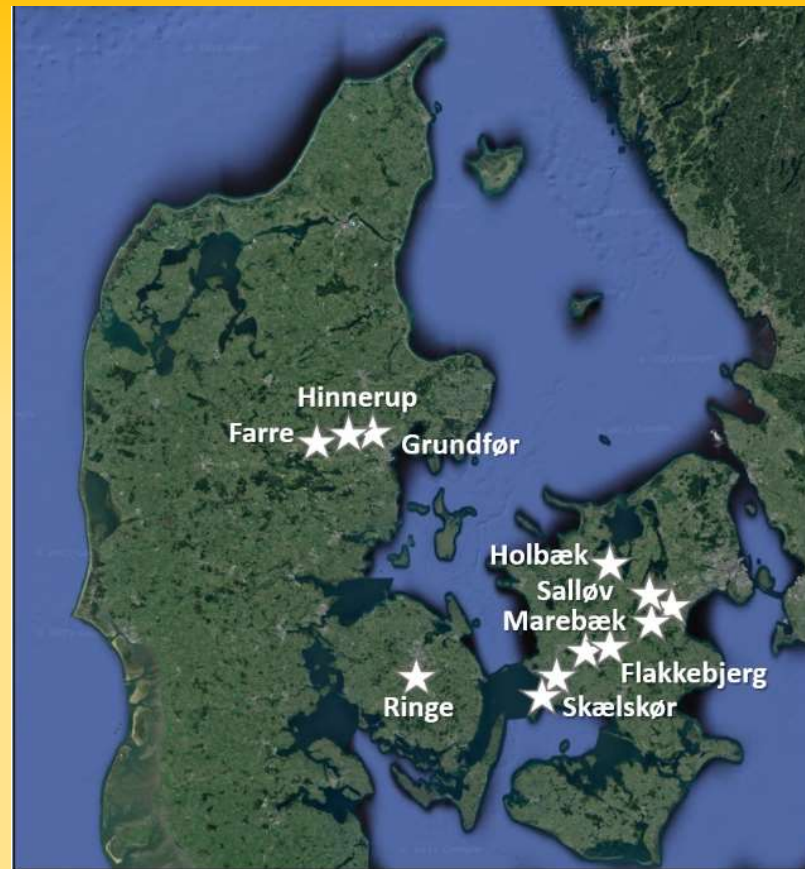


PESTPORE2 hypoteser

- Stadig åbne strømningsveje (**delvis rigtigt**)
- Grundvandet mere sårbart i højtliggende end lavtliggende dele af landskabet (**rigtigt og forkert**)



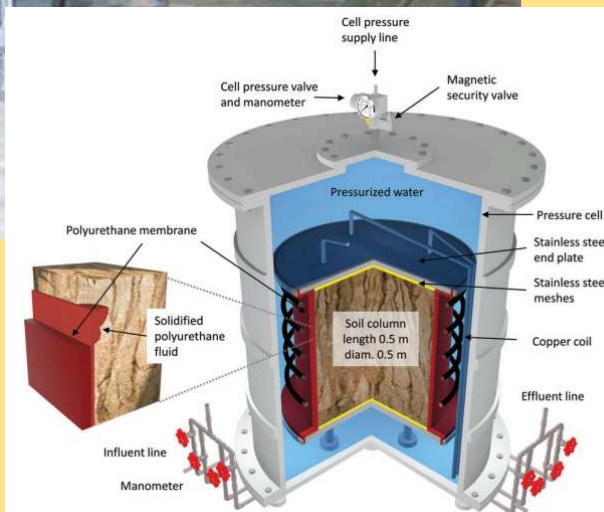
Hvor udbredte og dybe er paleo-
rodkanalerne som aktive strømningsveje



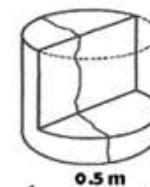
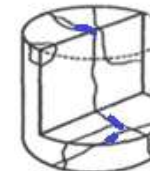
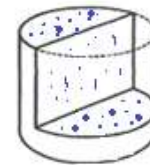
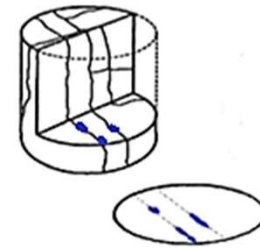
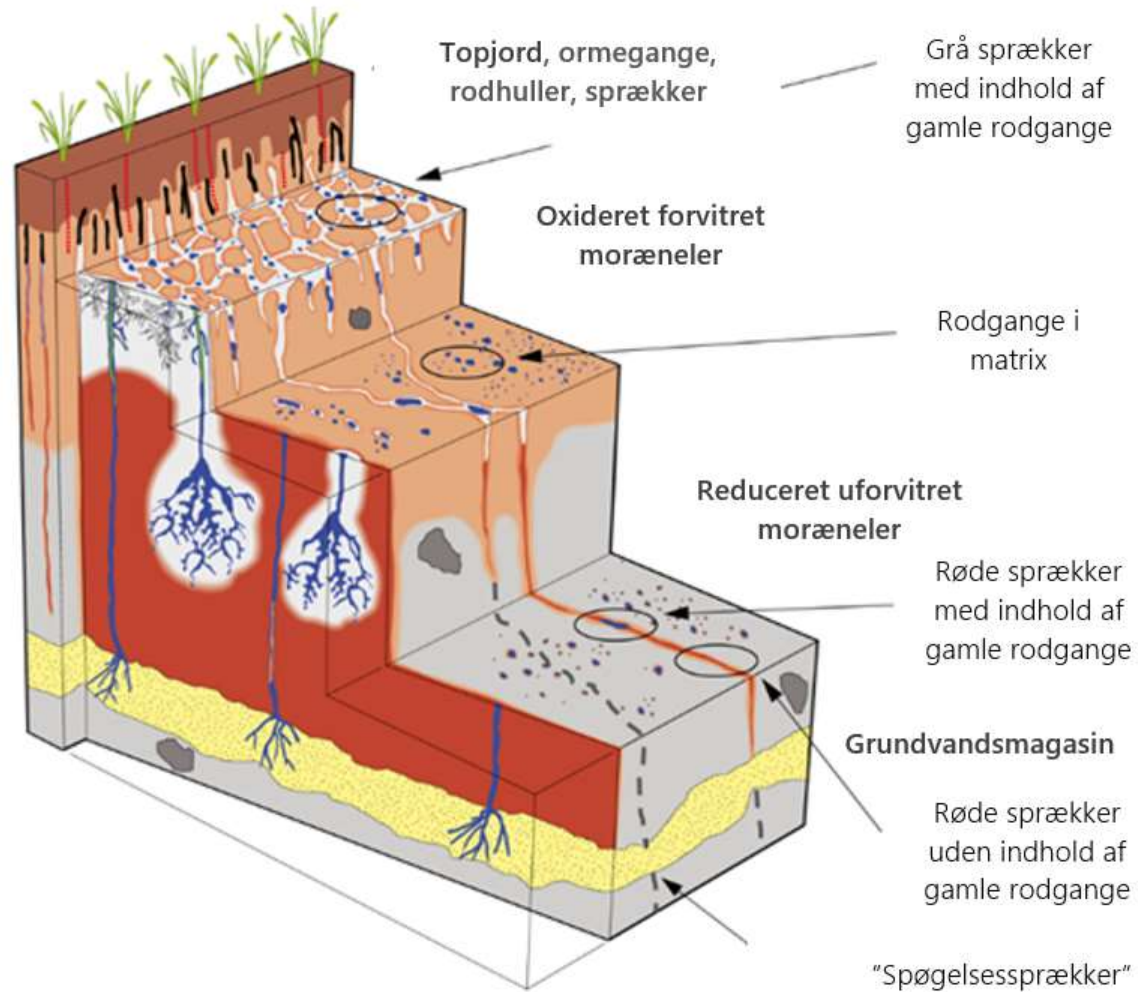
Måling med LUC intaktsøjler på 11 lokaliteter, 2 lokaliteter i GEUS Clayfrac projekt



LUC metoden: Anerkendt søjlemetode til måling af strømning og forureningstransport i sprækker - udviklet i Pesticidforskningsprogrammet 1992-1995 (Jørgensen & Spliid 1993; Jørgensen, Mosthaf & Rolle 2019)

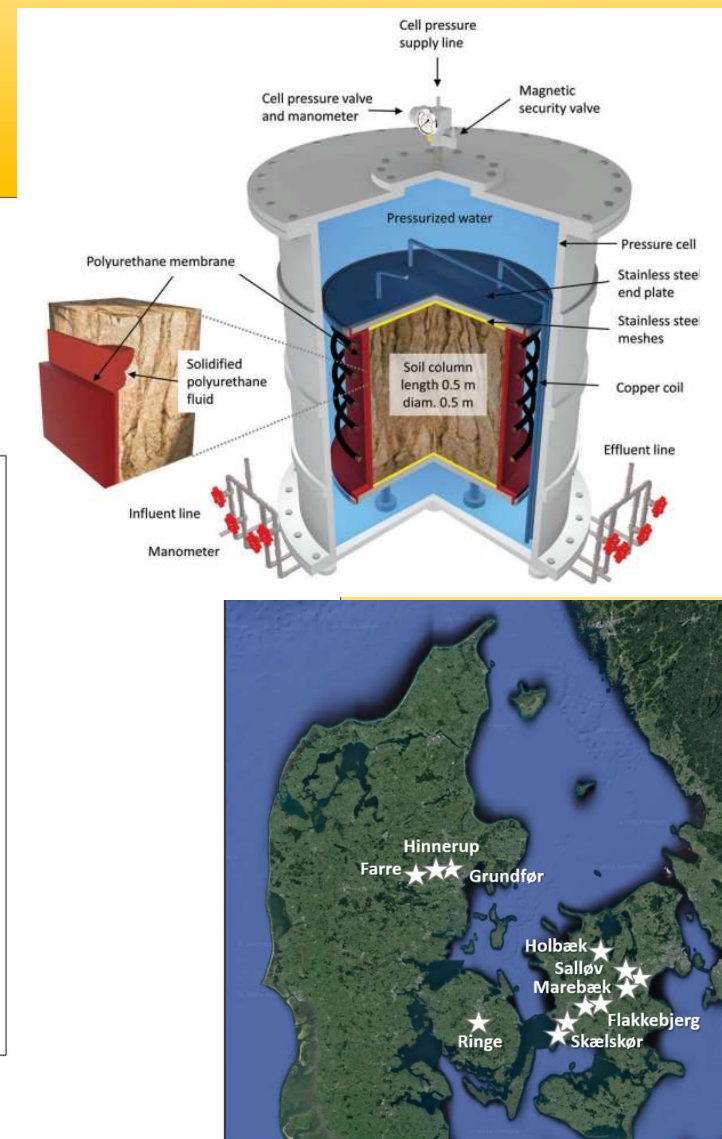
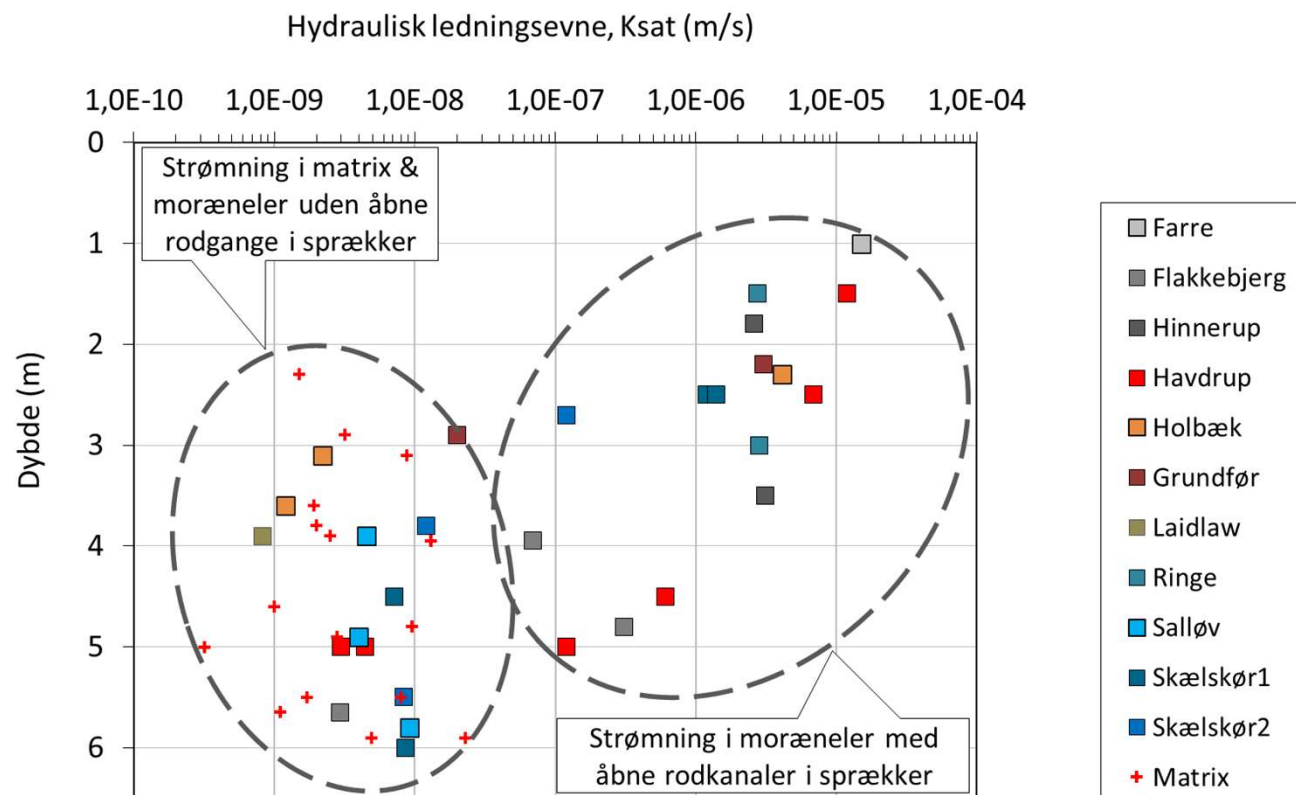


Måling af strømning i sprækker og rodkanaler



LUC forsøgsresultater

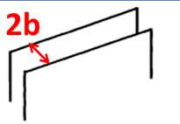
- Strømning i LUC med og uden rodkanaler

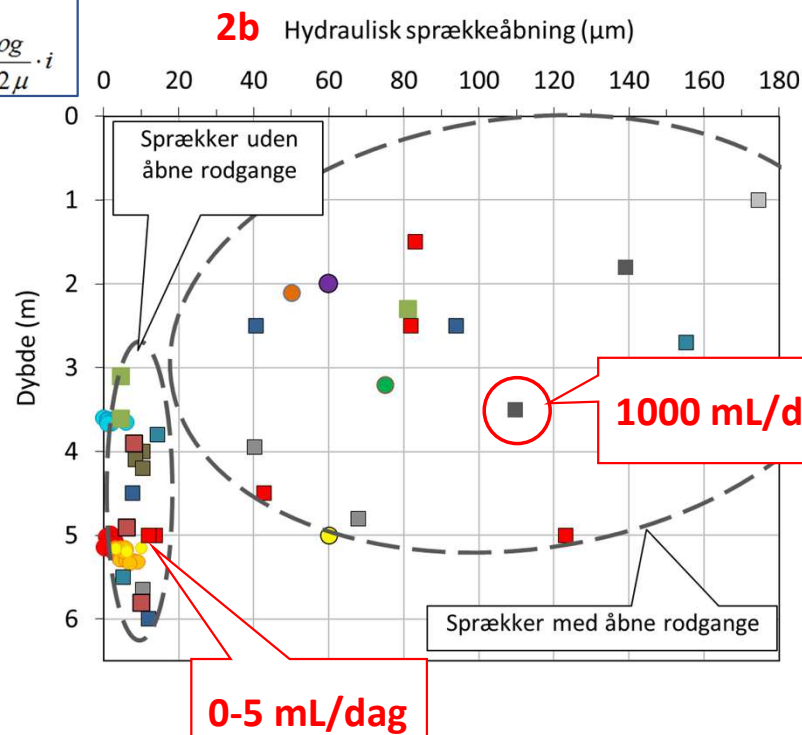


Samlede LUC & feltforsøgsresultater

- Åbning (2b) og strømning i sprækker

2b

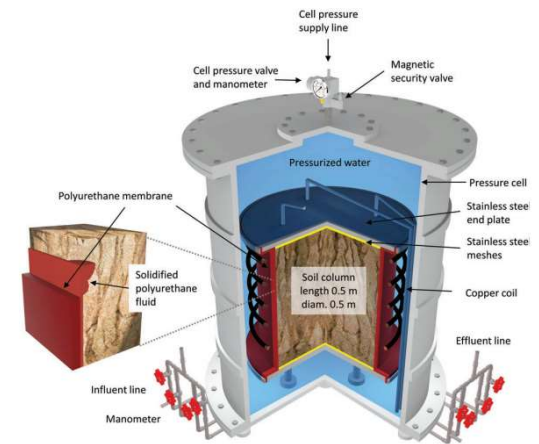

$$q = (2b)^3 \cdot \frac{\rho g}{12\mu} \cdot i$$



- Havdrup
- Salløv BB0
- Salløv BB1
- Salløv BB2
- Salløv BB5
- Salløv BB6
- Salløv BB8
- BulbroBB9
- Farre
- Flakkebjerg
- Holbæk
- Havdrup
- Hinnerup
- Laidlaw
- Salløv
- Skælskør1
- Skælskør2

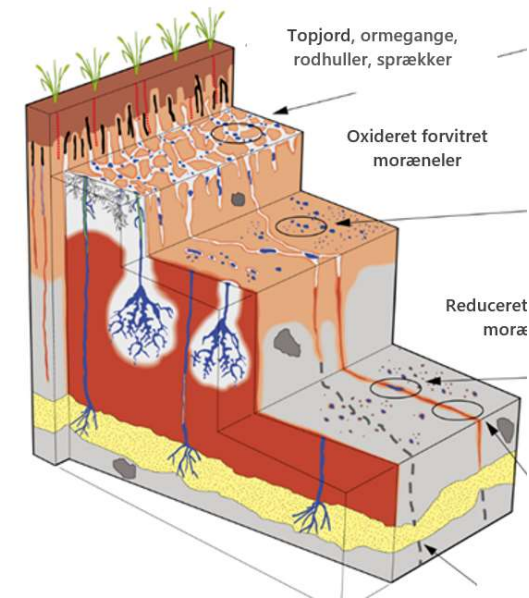
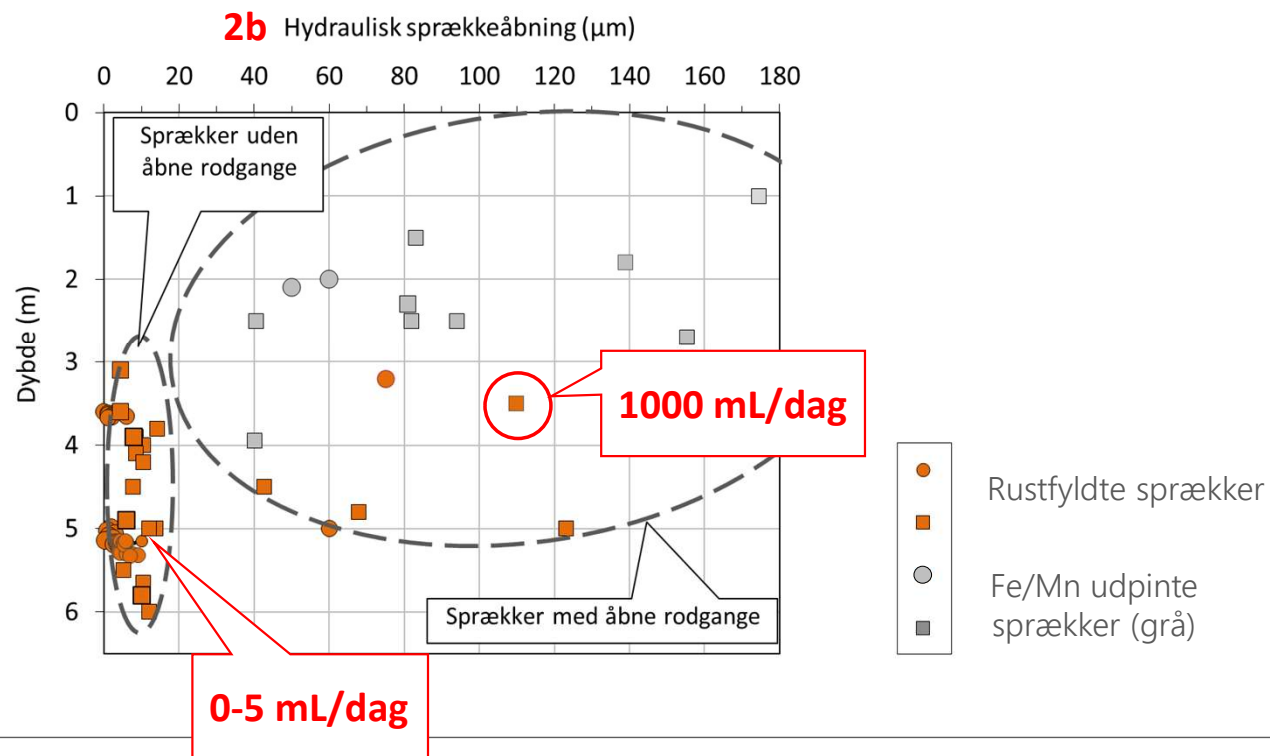
Feltforsøg

LUC forsøg



Samlede LUC & feltforsøgsresultater

- Fordeling på grå og røde sprækker

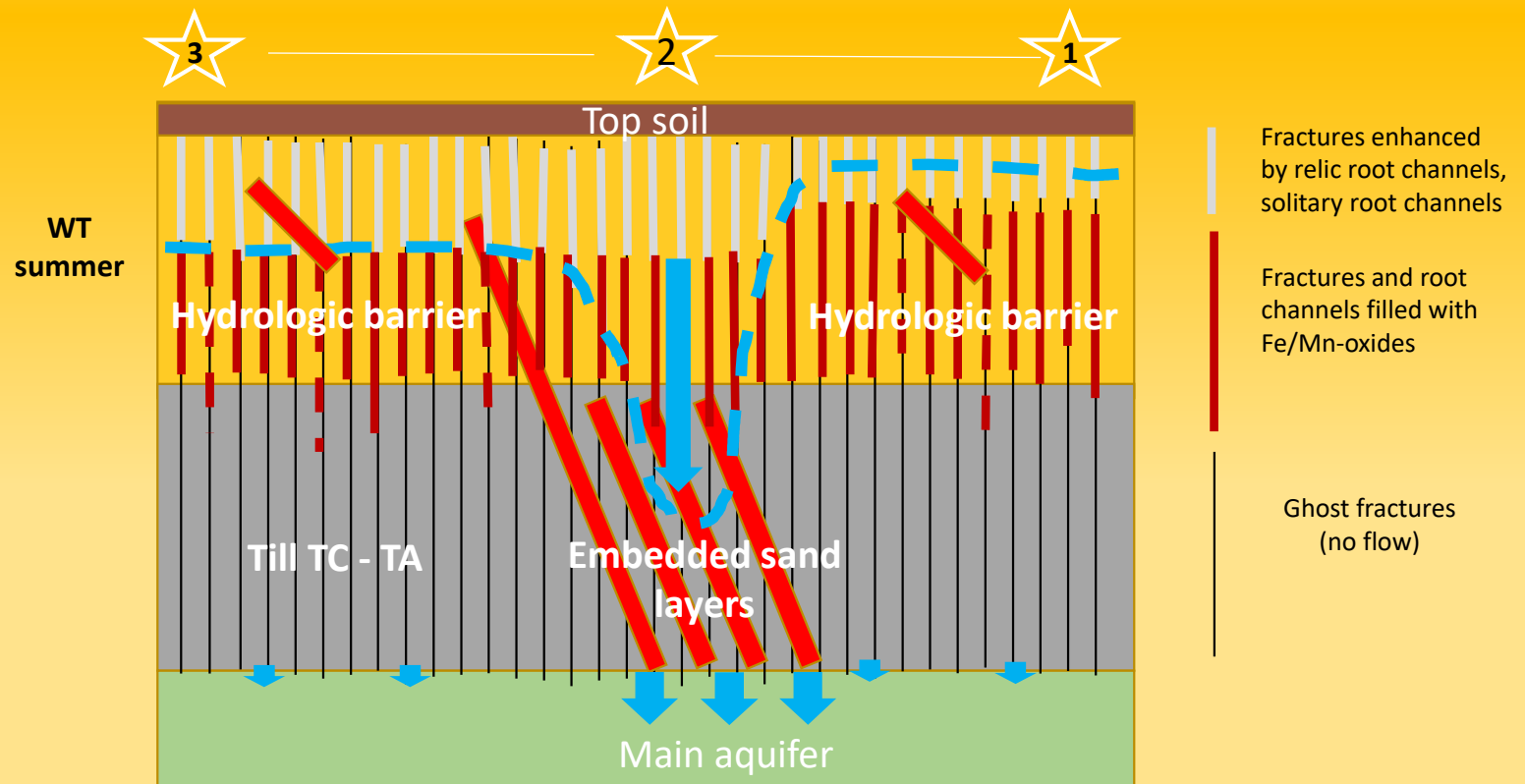


Hydrologiske barrierer formentlig udbredt lokalt i ML

Topography (1m contours)

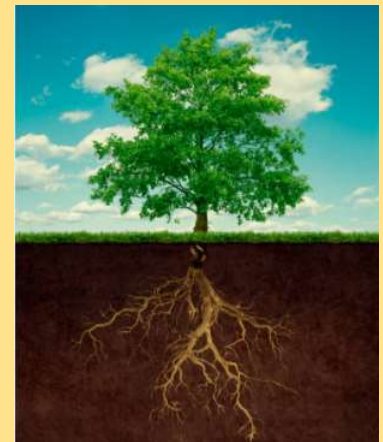


★ Excavations and GW monitoring wells



Forandring af risikoprofilen for grundvandet

- Flytter vægten fra sprækker over på rodgange og dermed fra geologisk til biologisk kontrolleret
- Grundvandssårbarheden er dynamisk og forandres i takt med der foretages ændringer i vegetation, ændringer i klima og fx grundvandssænkninger i landskabet pga. oppumpning af grundvand
- Overvejes de steder, hvor mennesket griber som naturskabende kraft, fx vandindvinding, global opvarmning, skovrejsning.....



Konklusioner, grundvandssårbarhed i moræneler

- Dybe paleo-rodkanaler findes udbredt og kan stamme helt tilbage fra tidlig stenalder (PESTPORE 1 og 2)
- Rodkanaler kontrollerer hurtig strømning og pesticidesårbarhed i sprækker (PESTPORE 1 og 2 & Clayfrac)
- Sprækker lukker til med dybden (PESTPORE 2 og Clayfrac) og har en underordnet betydning for pesticidesårbarhed, med mindre de indeholder rodkanaler (PESTPORE 1 og 2)
- Trærødder og rodkanaler i sprækker kan forekomme til mindst 10 m dybde (PESTPORE2)
- Under rodkanalerne er sandlag og lign. de foretrukne vandstrømningsveje (PESTPORE2 og Clayfrac)
- Grundvandet er generelt sårbart, men særligt sårbart på steder med stor grundvandsdannelse (sandlag/vinduer) og/eller steder med under 10 m lerdæklag (PESTPORE 1 og 2) samt lavtliggende BNBO'er.

Tak for opmærksomheden
peterjoergensen.com

