

---

# Geofysik ved byplanlægning

Geofysikdag 7. juni 2023

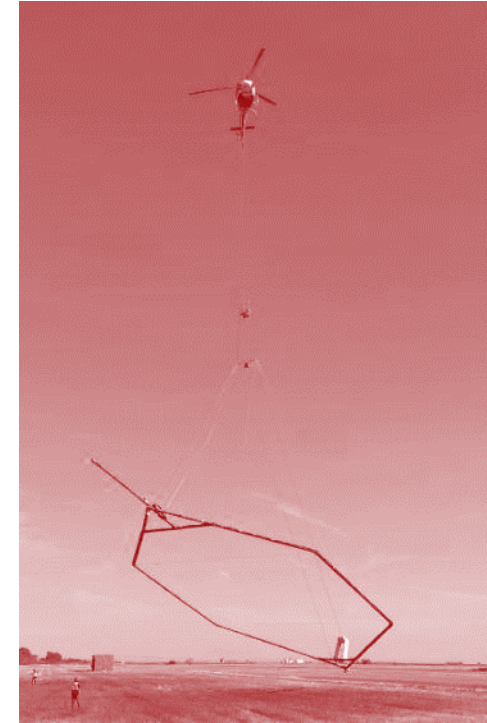
Peter Thomsen, Niras



# Geofysik ved byplanlægning

## Indhold

- Historisk udvikling af Elektriske- og Elektromagnetiske metoder
- DUALEM
  - Historikken for anvendelsen af metoden i DK
  - Anvendelsesmuligheder
- Cases
  - Nattergaleengen - Separering af eksisterende fælleskloak
  - Egedal By - Input til regnvandshåndtering

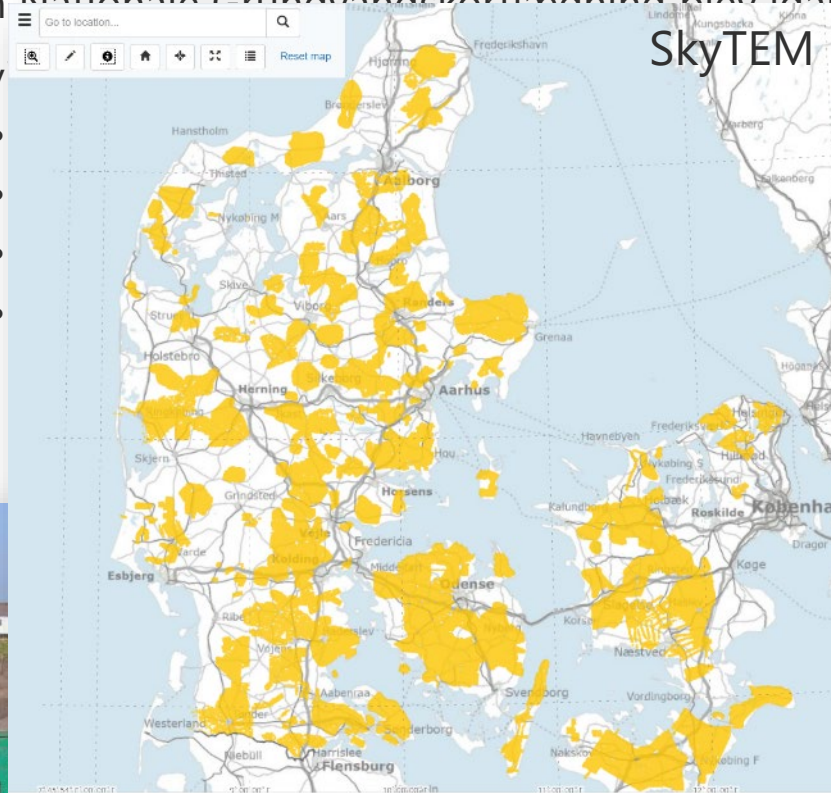


# Historie

## Udvikling af Elektriske- og Elektromagnetiske metoder

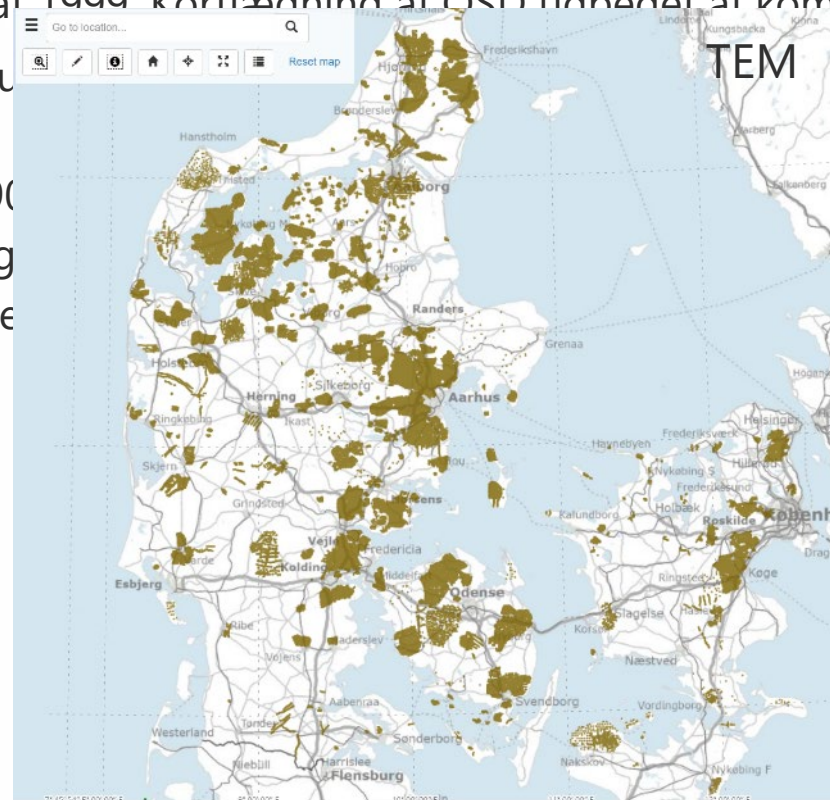
- Den Nationale Grundvandskortlægning blev igangsat 1999. Kortlægning af OSD udpeget af kommunerne i 1997

• Udv



foku

t i 90  
mag  
re te



PACES



SkyTEM



tTEM

# Historie

## Udvikling af Elektriske- og Elektromagnetiske metoder

- Den Nationale Grundvandskortlægning blev igangsat 1999. Kortlægning af OSD udpeget af kommunerne i 1997
- Udvikling af EM og DC geofysiske metoder med fokus på grundvandskortlægning:
  - PACES - kortlægning af sårbarhed (1998)
  - PATEM – kontinuert TEM metoden udviklet i 90'erne
  - SkyTEM - afgrænsning af dybereliggende magasiner (2004)
  - tTEM - kortlægning af beskyttelsen og mere terrænnære magasiner (2016)
- Elektromagnetiske metoder med fokus på kommunal byudvikling
- Fokus på kortlægning af den mest terrænnære lagserie < 5 m
  - CM031 – Stangslingram HCP 3, diskrete målinger uden GPS ☹️ (2006)
  - EM31 – Stangslingram HCP 3, kontinuerte målinger med GPS (2008)
  - DUALEM421 - Stangslingram HCP 1, 2, 4 PRP 1.1 ,2.1, 4.1 (2013)



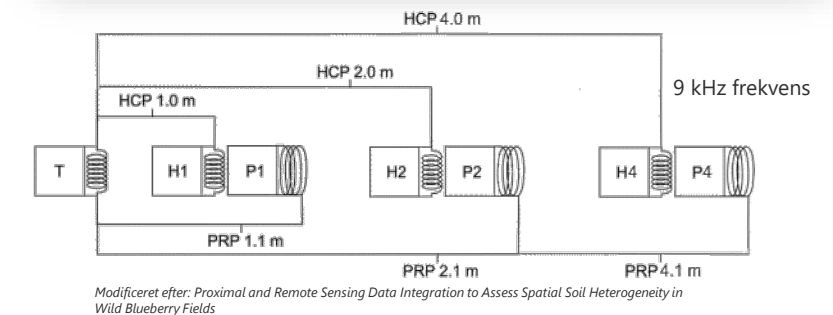
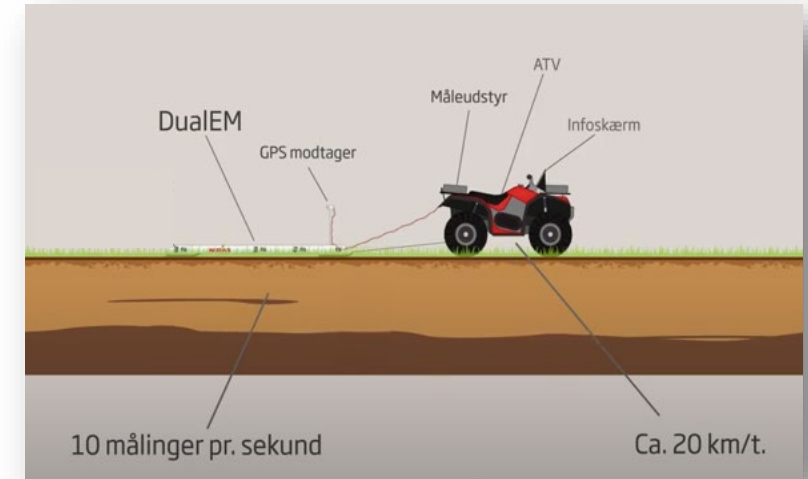
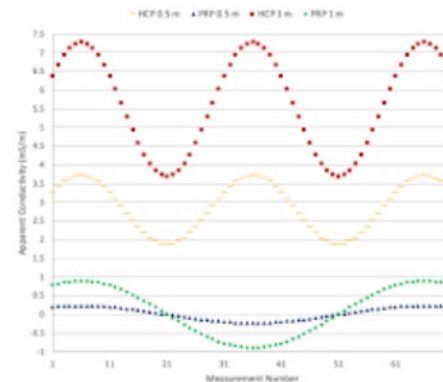
# DUALEM

## Historik

- Canadisk system, DUALEM Inc.
- DUALEM421S introduceret i DK i 2013
- Slæde konstrueret i 2013 med inspiration fra Foulum (DUALEM21)
- Kan betjenes håndholdt ☺
- Databehandling indarbejdet i WorkBench 2014. Processering og SCI inversion
- Siden 2018 har der været 4 udstyr i DK
- Estimat på 200-400 kortlægninger i DK siden 2013 (groft overslag?)
- Data og tolkninger er ikke indberettet til GERDA ☹
- Kalibreres ved Roll-test



Kilde: Bargheer Geophysics



Findings and implementations	GCM – ATV	<b>Min. distance 4 m</b> (kept current setup of 4 m distance)
	GCM - GPS	<b>Min distance 1.2 m</b> (implemented 1.4 m distance)

Kilde: Distance test between GCM & GPS/ATV, HGG 2016

# DUALEM

## Kortlægning

- Detaljeret kortlægning af de øverste 5 – 8 m u. t.
- Kommunal byplanlægning på LP-niveau
  - Input til vandhåndtering
    - Nedsivning- eller afledning af regnvand
    - Planlægning af placering af bassiner
  - Præ-geotekniske undersøgelser
    - Optimering af planlægning af boringer
    - Udpegning af blødbundsområder
- Regional niveau
  - Afgrænsning af tidligere fyldpladser
  - Råstforkortlægning – ler
  - Kortlægning omkring punktkilder
- Lineafstand justeres efter behov for detaljeringsgrad (1-20 m ?)

### Guideline til infiltrationskort

Flow chart - de forskellige trin

C2C CC C23

**Geofysisk kortlægning**

For at sikre en fastslået og sikker vurdering af arealforholdene vil det være kortlagt arealer ved hjælp af geofysik. De to mest almindelige metoder er nemlig ERT (Elektrisk Resistivitet Tomografi) og MTEM (Magnetotellurisk Tomografi). Metoderne giver begge et billede af de elektriske ledende egenskaber i jorden, hvilket kan bruges til at identificere områder med høj eller lav resistivitet. For områder med DUALEM metoden vil der være en meget detaljeret kortlægning af de første 5 meter af jordlagene, hvor jordlagene og deres egenskaber er kortlagt. Dette giver et billede af jordlagene og deres egenskaber, hvilket kan bruges til at identificere områder med høj eller lav resistivitet. Det er vigtigt at bemærke, at metoden vælges ud fra formålet med undersøgelsen.

Overordnet kan proceduren beskrives på følgende måde:

Metode > 20 Ohm kan bruges som standardmetode til kortlægning af arealer med stor afstand mellem boringer og punktkilder.

Metode mellem 5 til 20 Ohm kan bruges som standardmetode til kortlægning af arealer med stor afstand mellem boringer og punktkilder.

Metode < 5 Ohm kan bruges som standardmetode til kortlægning af arealer med stor afstand mellem boringer og punktkilder.

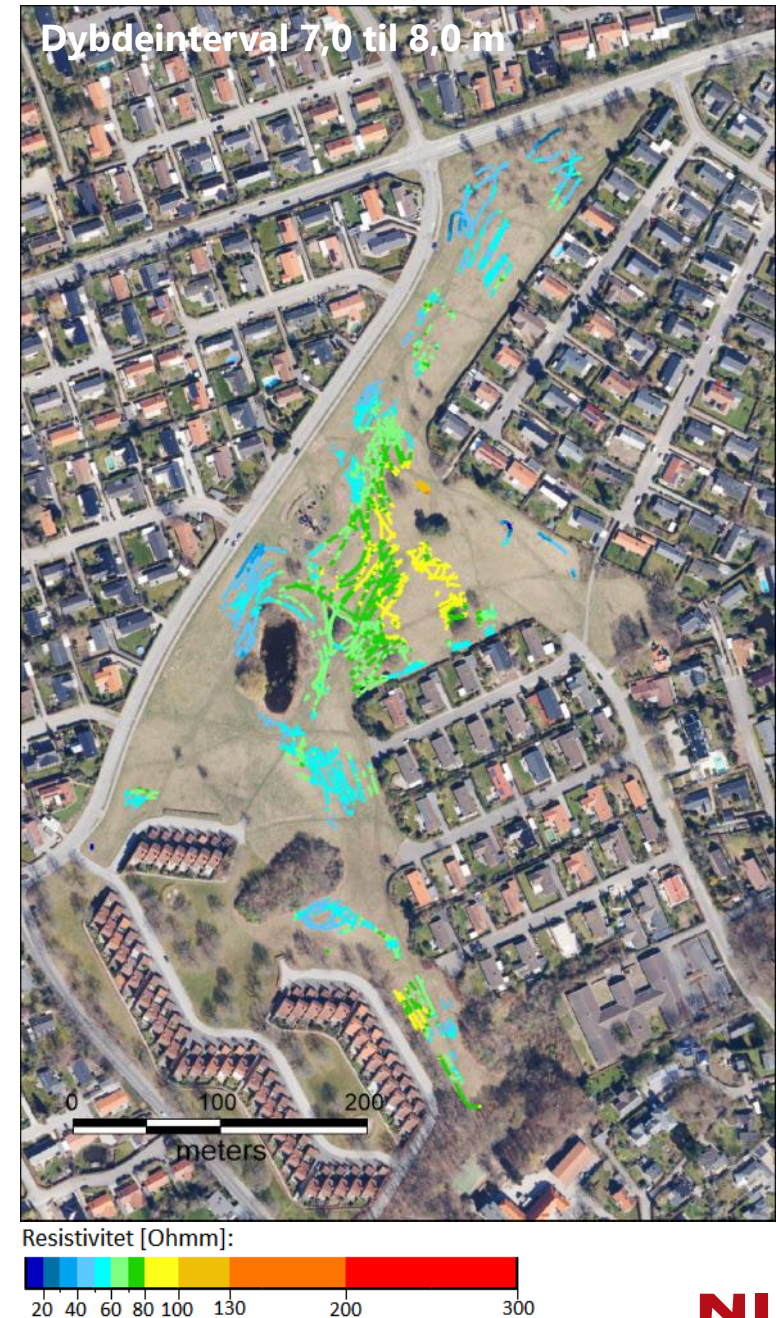
De to metoder vil være mest effektive til kortlægning af arealer med stor afstand mellem boringer og punktkilder, og på tilsvarende vis vil de være mest effektive til kortlægning af arealer med stor afstand mellem boringer og punktkilder.

Kilde: VIA University College, Forskningscenter for byggeri, energi, vand og klima

# Nattergaleengen

## DUALEM - Resultater

- Datainput til planlægning af håndtering af regnvand ifm. afkobling af regnvand fra fælleskloak
- Input til dimensionering af forsinkelses- og nedsivnings bassiner



# Nattergaleengen

## DUALEM - Resultater

- Sammenholdes med eksisterende boringer
- Udpegning af områder med nedsivningspotentialer





# Nattergaleengen

## Regnvandshåndtering

- Regnvand skal separeres fra nuværende fælleskloak
- Regnvand skal fremadrettet tilbageholdes og nedsives på Nattergaleengen
- Forundersøgelser omfatter:
  - DUALEM-kortlægning
  - Boringer og IoT-loggere
  - TV-inspektion af fællesledningen for undersøge af ledningens tilstand



# Nattergaleengen

## Regnvandshåndtering

- Udarbejdelse af hydraulisk model
- Dimensionering af bassin 1, 2 og 3



Bassin	Total opland	Red. opland	Afløbstal/ Nedsivningsevne	Udledning	Stuvningsvolumen	Tømmetid
	[ha]	[red. ha]	(l/s/red ha) (m/s)	[l/s]	[m <sup>3</sup> ]	[dage]
Bassin 1	5,03	1,23	1e-5 m/s	4,75	630	1,5
Bassin 2	6,52	2,22	1e-6 m/s	1,50	1.400	10,5*
Bassin 3	5,21	1,94	2,0 l/s/red ha	4,40	1.100	3
Nattergalesøen	0	0	1e-6 m/s	1,0	3.000	35*

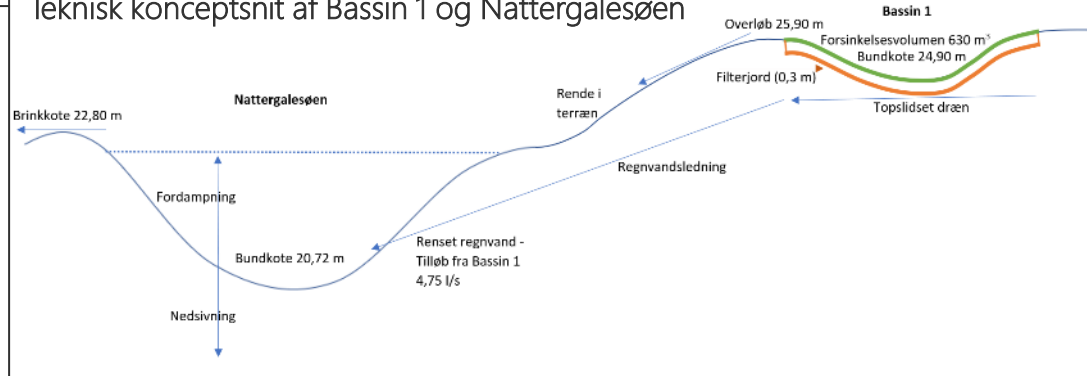
# Nattergaleengen

## Regnvandshåndtering

- Udarbejdelse af hydraulisk model
- Dimensionering af bassin 1, 2 og 3
- **Bassindesign**



Teknisk konceptsnit af Basin 1 og Nattergalesøen



	Total opland	Red. opland	Afløbstal/ Nedsivningsevne	Udledning	Stuvningsvolumen	Tømmetid
	[ha]	[red. ha]	(l/s/red ha) (m/s)	[l/s]	[m <sup>3</sup> ]	[dage]
Basin 1	5,03	1,23	1e-5 m/s	4,75	630	1,5
Basin 2	6,52	2,22	1e-6 m/s	1,50	1.400	10,5*
Basin 3	5,21	1,94	2,0 l/s/red ha	4,40	1.100	3
Nattergalesøen	0	0	1e-6 m/s	1,0	3.000	35*

# Nattergaleengen

## Regnvandshåndtering

- Udarbejdelse af hydraulisk model
- Dimensionering af bassin 1, 2 og 3
- **Bassindesign**



### Signaturforklaring

● Bassiner

### Brønde

#### Type

- Fælles
- Regnvand
- Spildevand

### Ledninger

#### Type

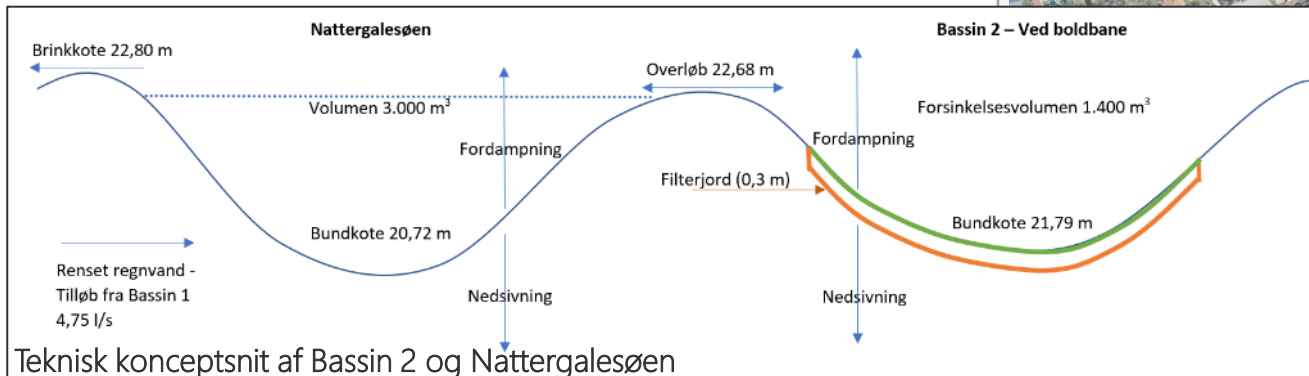
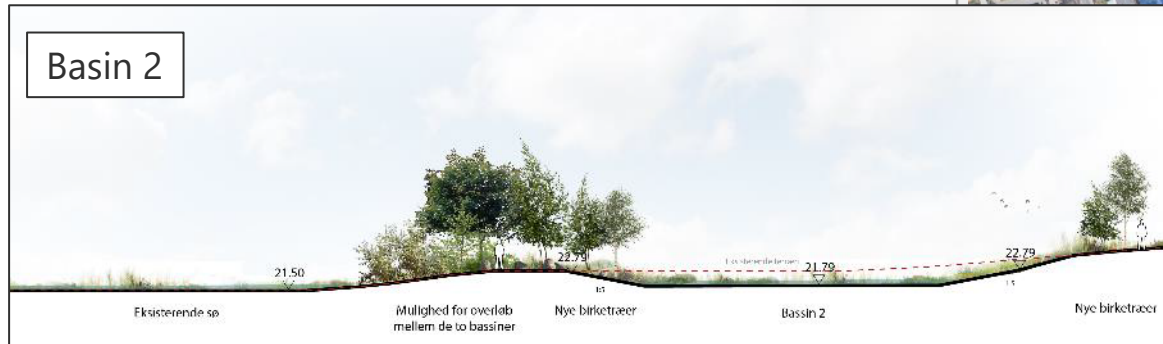
- Fælles
- Regnvand
- Spildevand

■ Opland - Bassin 3

■ Opland - Bassin 2

■ Opland - Bassin 1

--- Hydrologisk opland

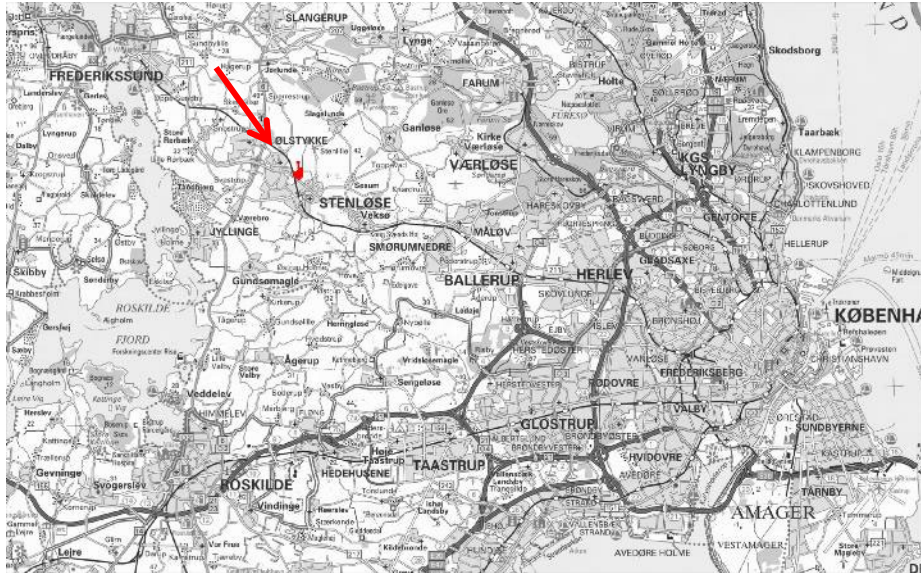


Red. opland	Afløbstal/ Nedsiv- ningsevne	Udledning	Stuvnings- volumen	Tømmetid
[red. ha]	(l/s/red ha) (m/s)	[l/s]	[m³]	[dage]
1,23	1e-5 m/s	4,75	630	1,5
2,22	1e-6 m/s	1,50	1.400	10,5*
1,94	2,0 l/s/red ha	4,40	1.100	3
0	1e-6 m/s	1,0	3.000	35*

# Egedal By øst og Campus-området

## Byggemodning

- Datainput for planlægning af håndtering af regnvand og placering af bassiner
  - DUALEM
  - Boringer
  - Slugtest for beregning af K-værdier til dimensionering



DUALEM



Boringer



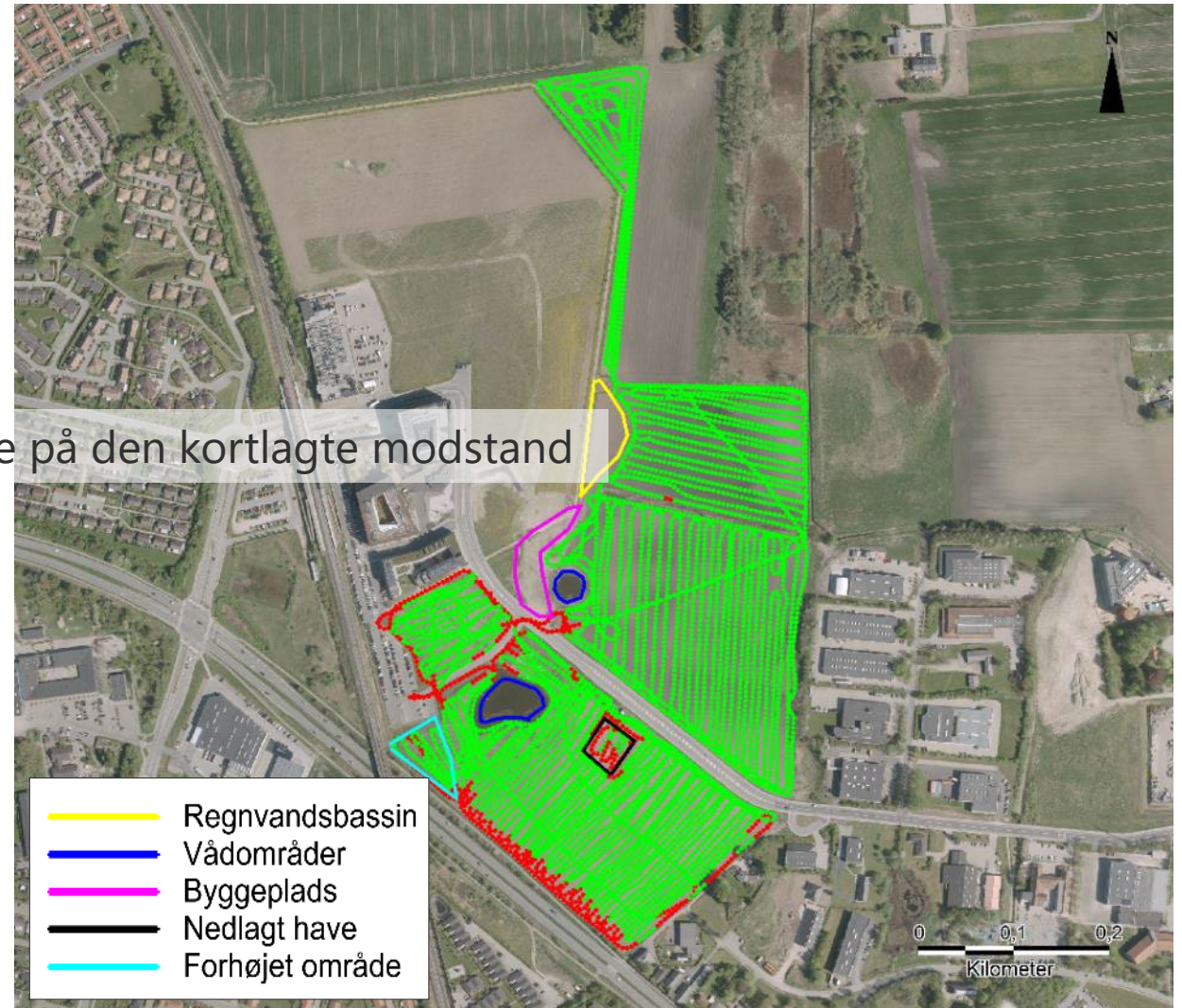
Slugtest

# Egedal By øst og Campus-området

## DUALEM

- Areal ca. 20 ha
- Linjeafstand 5-10 m
- Ca. 30 linje km (Én dags feltarbejde)

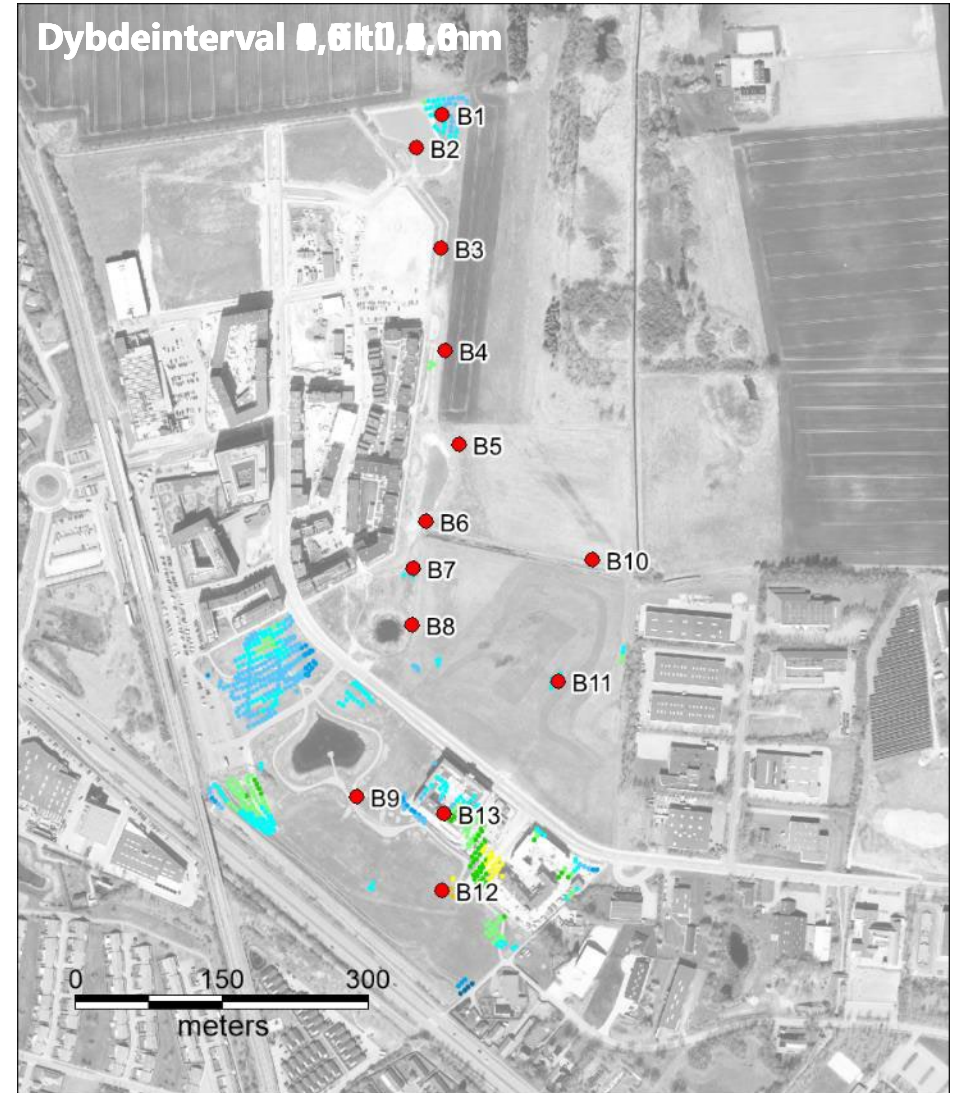
Vigtigt med on-site iagttagelse der kan have indflydelse på den kortlagte modstand



# Egedal By øst og Campus-området

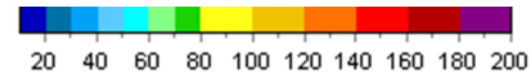
## DUALEM - Resultater

- Areal ca. 20 ha
- Linjeafstand 5-10 m
- Ca. 30 linje km (Én dags feltarbejde)



● Boringer udført efter  
DUALEM kortlægningen

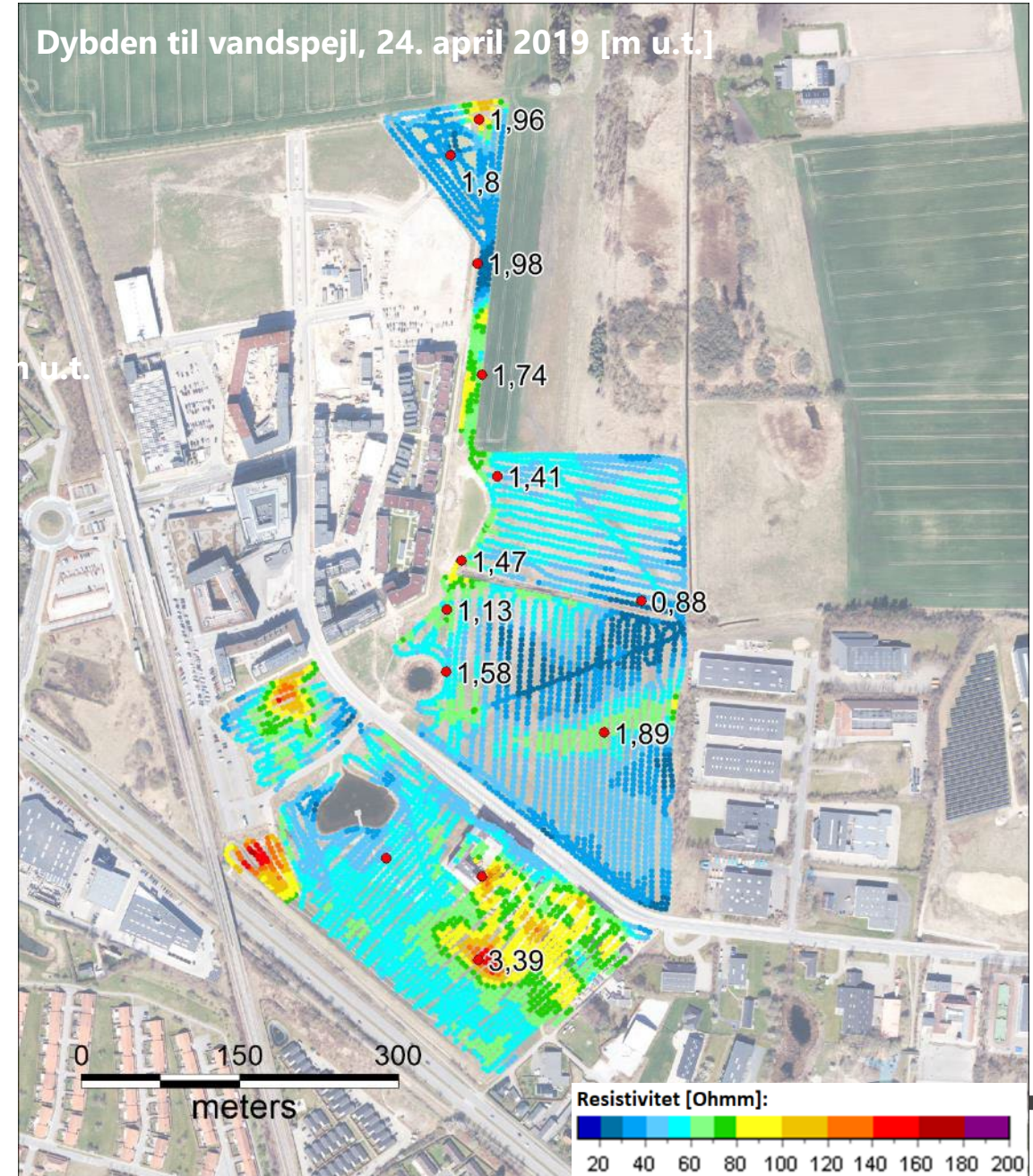
Resistivitet [Ohmm]:



# Egedal By øst og Campus-området

## DUALEM - Resultater

- Grundvandsspejl [m u.t.]
- Hydraulisk ledningsevne K [m/s]
- (Middelmodstand 1,5 til 2,0 m u.t.)

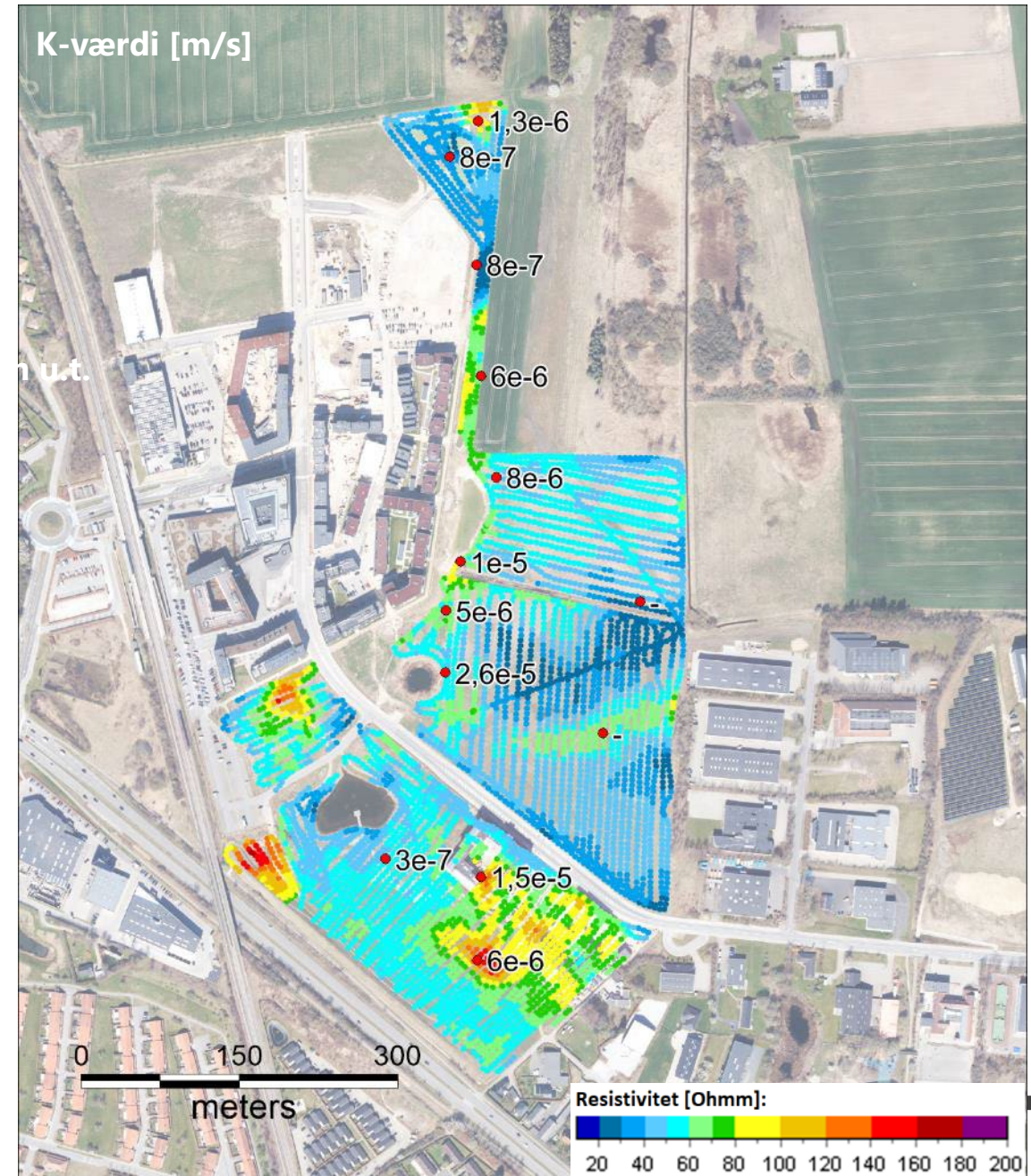
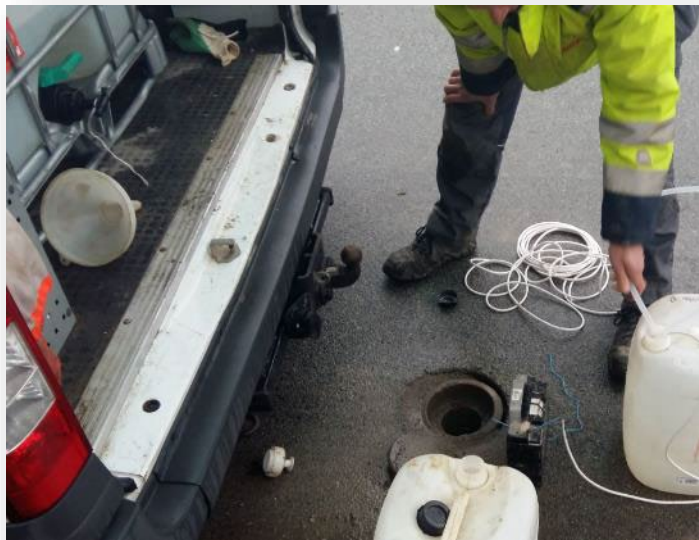




# Egedal By øst og Campus-området

## DUALEM - Resultater

- Grundvandsspejl [m u.t.]
- Hydraulisk ledningsevne K [m/s]
- (Middelmodstand 1,5 til 2,0 m u.t.)



# Egedal By øst og Campus-området

## DUALEM - Resultater

- Jordartsbeskrivelse

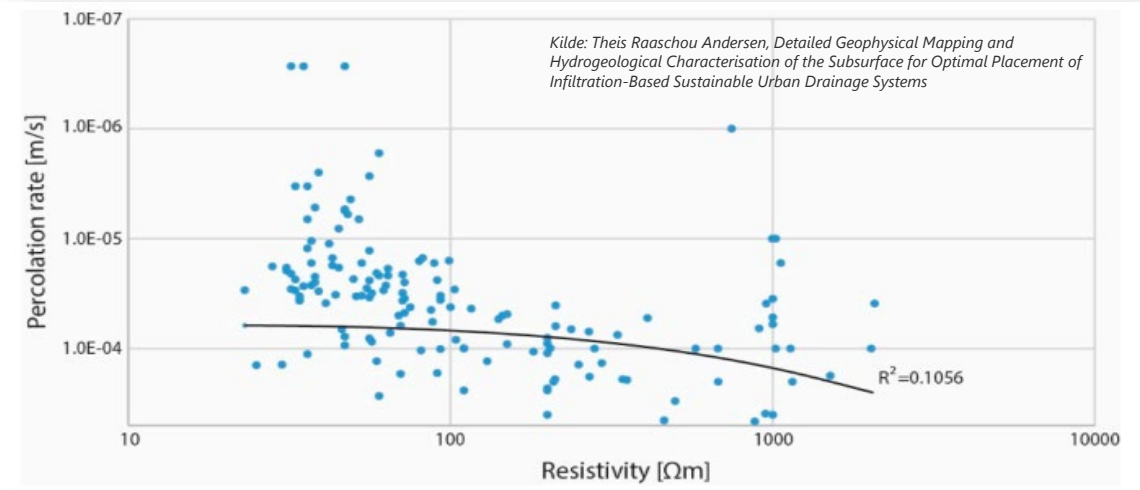
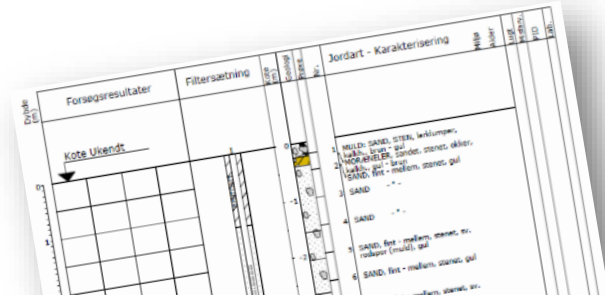
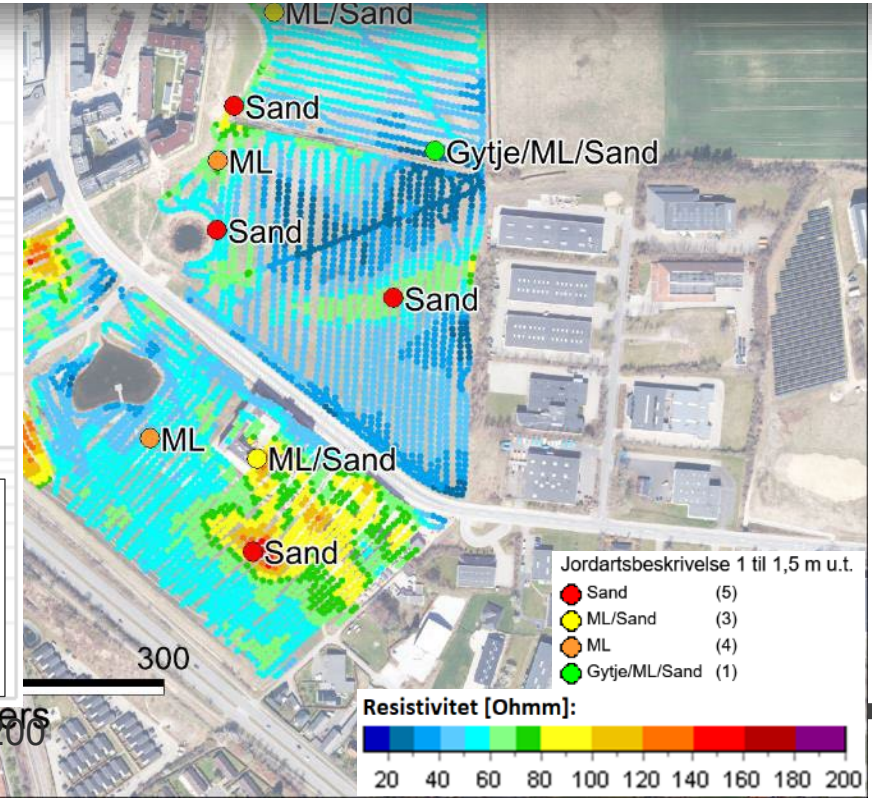
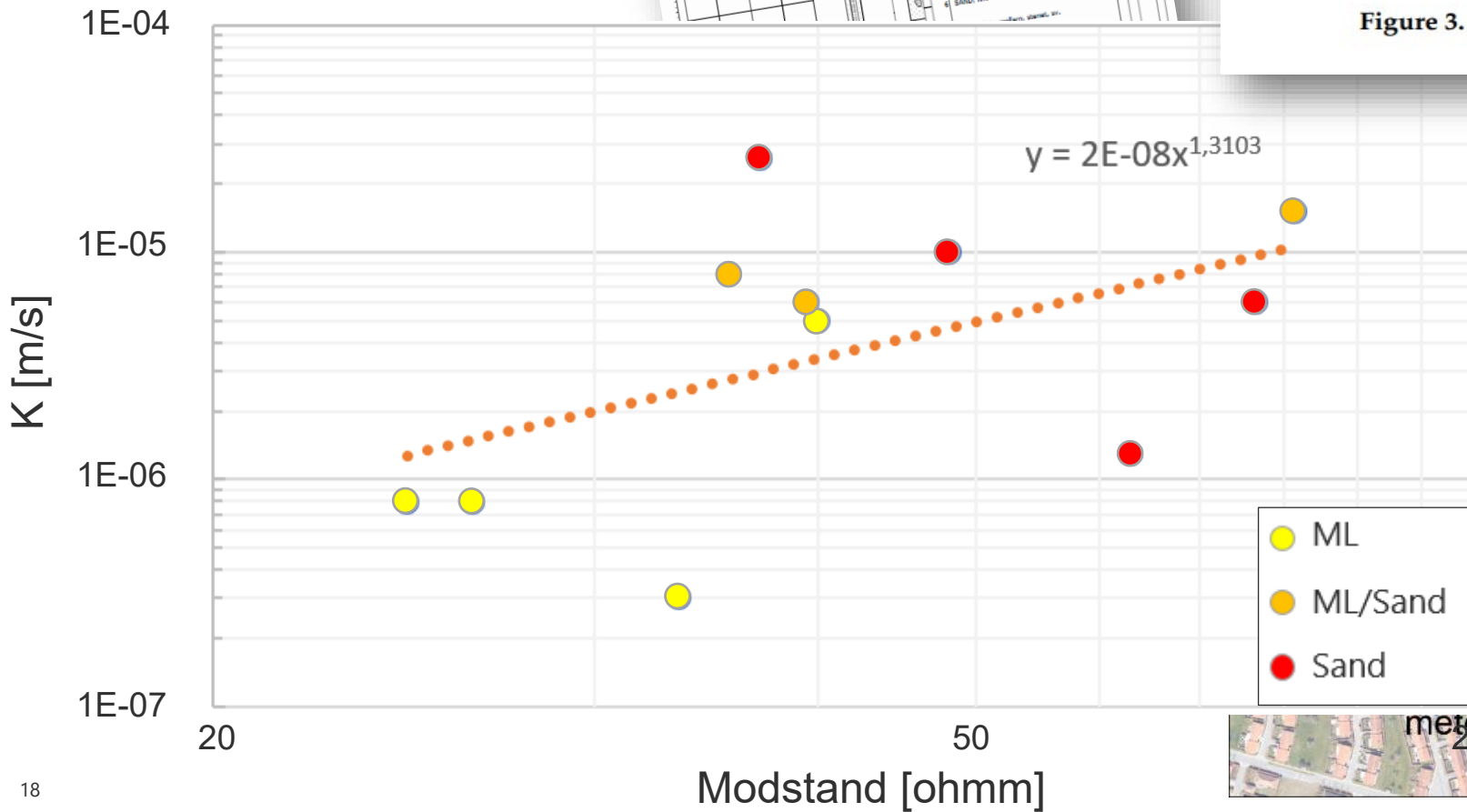


Figure 3. Plot showing the resistivity versus the percolation rate.



# Coast to Coast Climate Challenge

## C23 - Potentialer for øget infiltration

Table 1. Information on all the Investigated Sites.

Site No.	Physical Mapping (Ha)	Drillings	Infiltration Tests
1	219	24	7
2	132	11	4
3	11.6	4	2
4	221	21	4
5	1.2	2	1
6	1.8	2	1
7	9.5	5	
8	11	4	
9	23	8	
10	150	4	
11	3.8	7	
12	24	20	
13	10	7	
14	15	12	
15	55	12	
16	40	8	
17	4	4	
18	5.5	7	
19	7	5	3
20	36	19	16
21	27	161	18
22	60	8	6
23	150	25	25
24	27	20	20
25	40	143	15
26	17	20	20
27	8.5	3	4
28	2.5	6	4
29	2.5	4	3
30	4.5	3	
31	8	5	
32	40	30	

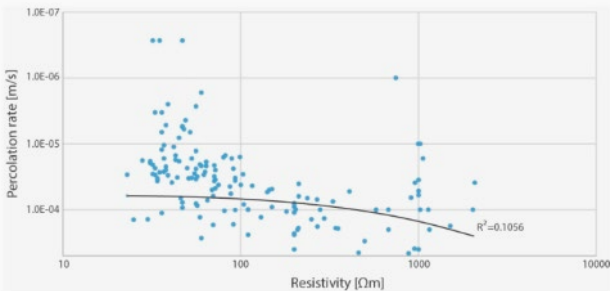


Figure 3. Plot showing the resistivity versus the percolation rate.

### K [m/s] vs. lithologi

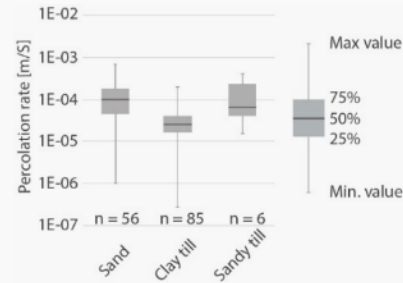


Figure 4. Box plot showing the percolation rates for sand, clay till and sandy till for all investigated areas. N represents the amount of measurements for each soil type.

### Modstand vs. lithologi

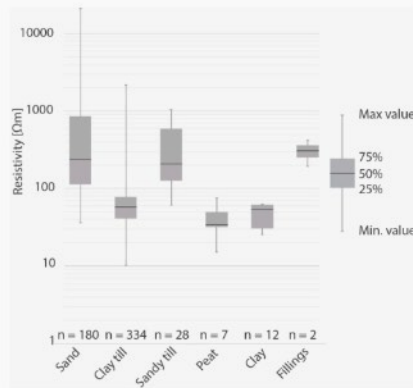


Figure 2. Box plot showing the resistivities of the different soil types observed within all the investigated areas. N represents the amount of measurements for each soil type.

VA University College

Geological and hydrogeological characterization of the subsurface to support climate adaption in urban development

by Theis Raaschou Andersen

Paper no. 412

Centre of Applied Research and Development in Building, Energy & Environment, VA University College, 8700 Horsens, Denmark (thras@va.dk)

#### Background

The world population in the year 2050 is approximately 10 billion people of which 75% reside in cities. The continuous growth of the cities combined with the future climate changes will present authorities with great challenges. One of the most significant challenges is to ensure a stable disposal of wastewater and surface water. In Denmark, the municipalities are implementing climate change adaptation (CCA) plans for existing urban areas. However, lack of geological and hydrological information about the subsurface introduce significant uncertainties in the CCA implementation. In Denmark some CCA plans have been impossible to implement due to insufficient characterization of geological and hydrological conditions.

Based on examples from a C2C-CC research project we demonstrate how detailed geological and hydrological information supports sustainable and more efficient implementation of the CCA plans in areas scheduled for urban development.

#### Results

All available data e.g. geophysical data, hydrological data, infiltrations tests and borehole information are combined into the construction of a series of planning maps e.g. maps of the infiltration potential for the development areas. Areas suitable for infiltration are clearly delineated in the DualEM-421 data by the presence of high resistivity sequences (>80 Ohm) compared to the surroundings (figure 5 to 9 and table 1).

#### Study area

The study area is located at the eastern part of Denmark, near the town of Horsens (Figure 1) and covers 35Ha. The geological setting around Horsens is complex with alternating sand- and clay dominating sediments varying within few meters.

#### Data

In the research project the site has been mapped with high-precision geophysics supplemented with drillings and infiltration tests. A total of 30 km of profiling DualEM-421 data with a line spacing of 7,5m were collected in spring 2017. The DualEM-421 data provides the overall spatial distribution of the resistivity within the upper app. 8 m. To support the DualEM-421 data 19 boreholes and infiltration test were conducted (figure 2 to 4).

#### Conclusions

As shown in the project we have outline the benefits of geophysical mapping for improved fidelity of the geological and hydrogeological characterization at all depths of interest. The project shows a good correlation between electrical conductivity obtained from the DualEM-421 and the geological conditions of the soil and thus hydraulic conductivity. The results indicate a local site specific infiltration capacity which can change within few meters. With a dense geophysical survey in combination with boreholes and infiltration tests the site can be subdivided into areas most suitable for specific SuDS and aquifer recharges solutions.

The outcomes of the project will be implemented directly in the CCA plans for Horsens municipality over the next 2-6 years as SuDS solutions for handling rainwater are often a necessity and an integrated part in the development of urban and suburban development areas.

#### Acknowledgments

The authors would like to thank the EU Life IP programme providing funding for the C2C-CC research project. Peter Thomsen from Rambøll is acknowledged for fruitful discussions about the DualEM-421 data.

19

Kilde: Theis Raaschou Andersen, Detailed Geophysical Mapping and Hydrogeological Characterisation of the Subsurface for Optimal Placement of Infiltration-Based Sustainable Urban Drainage Systems

Tak 😊

