





Termofotografering

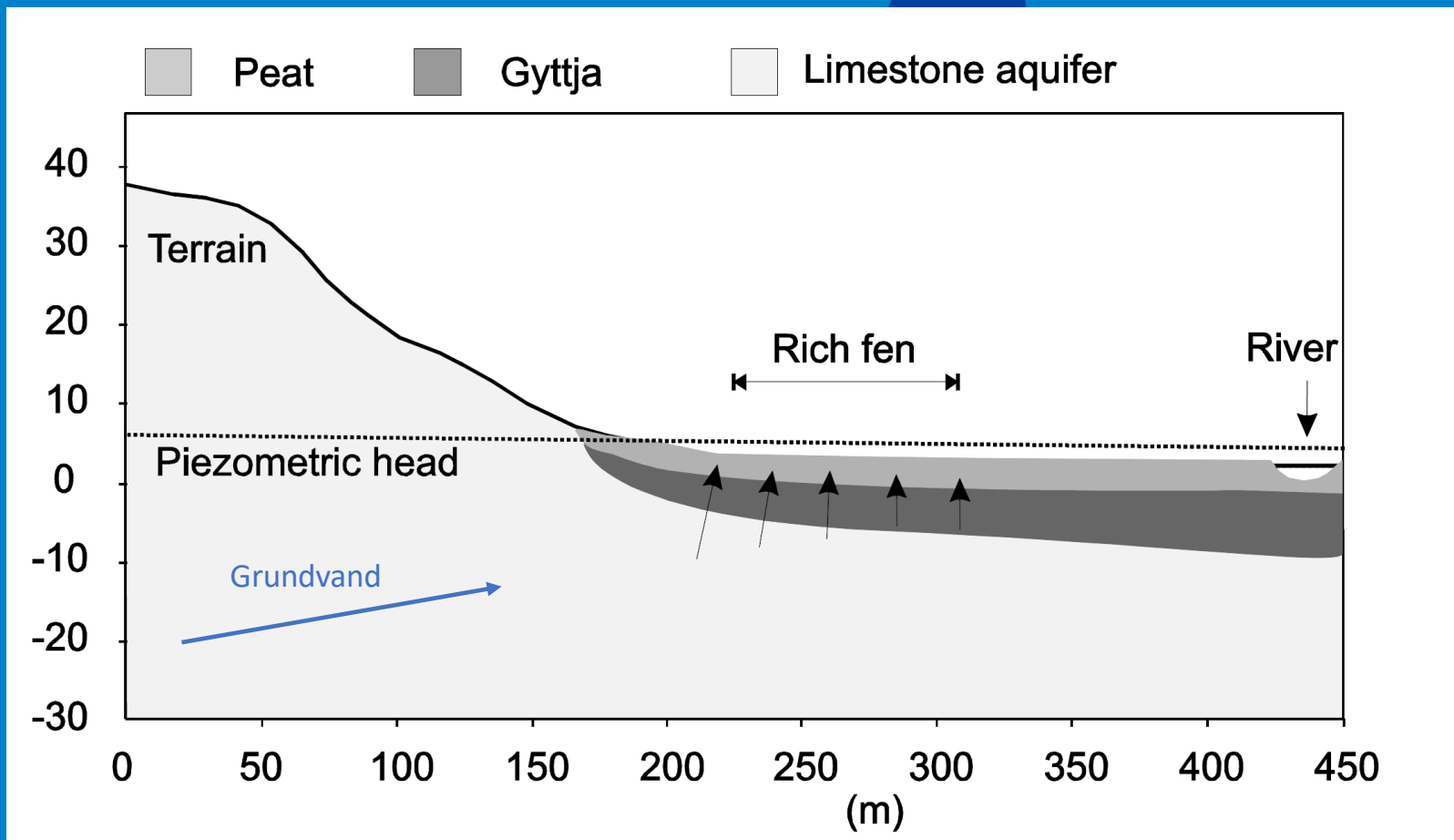
Som værktøj til kortlægning af grundvandsudstrømning

- Varme som grundvandstracer, temperatur under overfladen
- Termofotografering fra drone (overfladetemperatur)
- Resultater
- Anbefalinger
- Konklusioner

Hvad er ideen?

Udstrømningen af grundvand påvirker overfladetemperaturen. Ved at måle overfladetemperaturen på en kold dag vil grundvandet kunne ses som relativt varme områder.

Ådalshydrologi



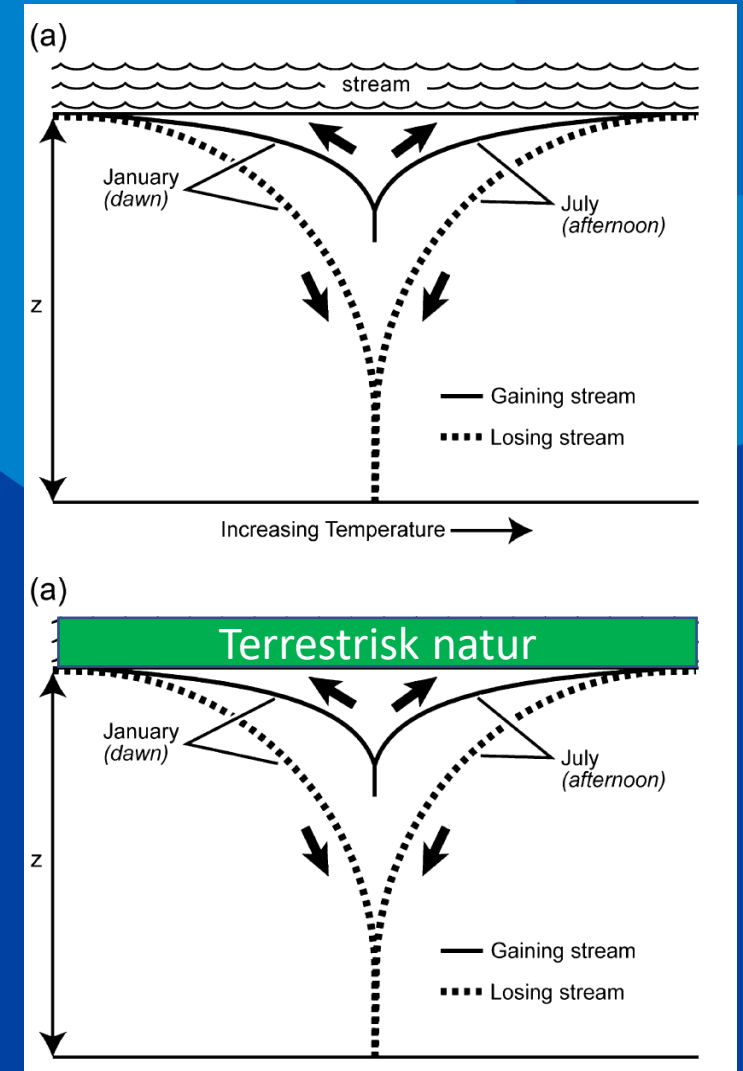
Varme som tracer for grundvand

Varme har længe været anvendt som tracer for grundvand

- Kvantificering af udstrømning til vandløb i et punkt (Anderson, MP., 2005)

Udstrømning til terrestrisk natur er mere kompliceret

- I vandløb bestemmer vandløbsvandet øvre randbetingelse
- I terr. Natur er overfladen styret af solindstråling, vind, lufttemp, nedbør
- Det er undersøgt i forbindelse med PhD-studie om kvantificering af udstrømning til terrestrisk natur er muligt baseret på temperaturprofiler (udddybes på følgende slides)



1-D varmetransport (teori)

Transport, dispersions ligning

Varmen flyttes med vandets bevægelse og spredes ved diffusion

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{k_e}{\rho c} \nabla^2 T - \frac{\rho_w c_w}{\rho c} \nabla(Tq)$$

(Anderson, 2005)

where

T is the temperature [°C]

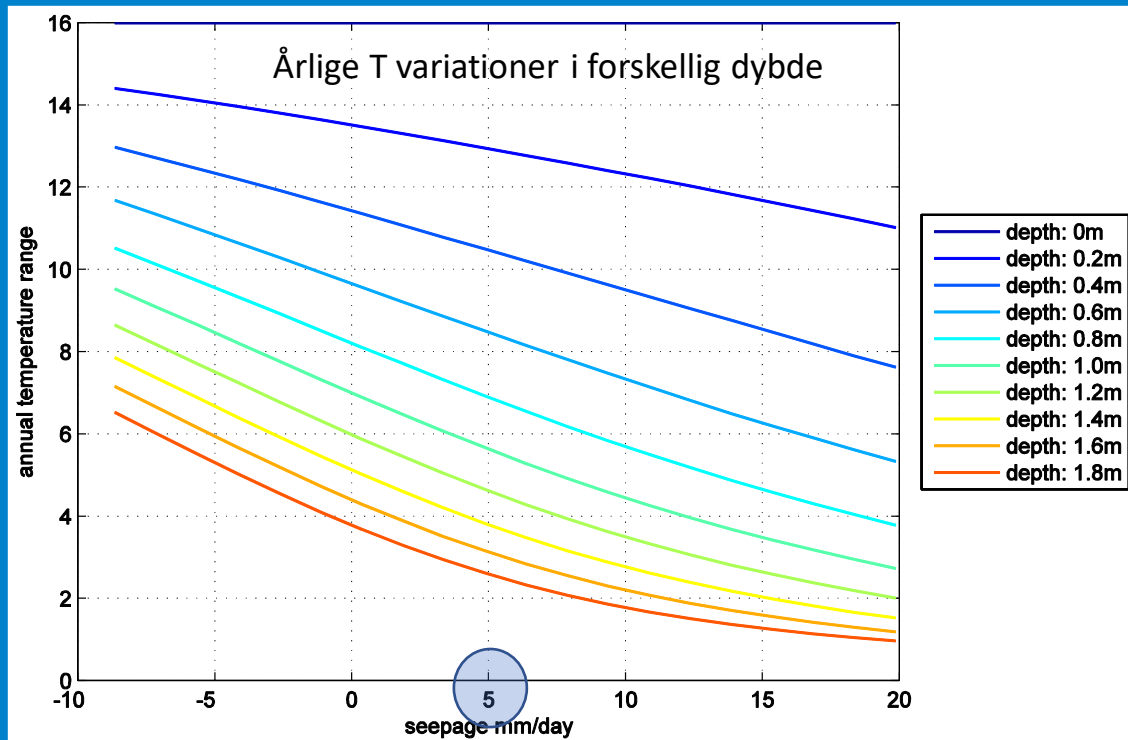
ρ is the density of the water-soil matrix [kg m⁻³]

ρ_w is the density of water [kg m⁻³]

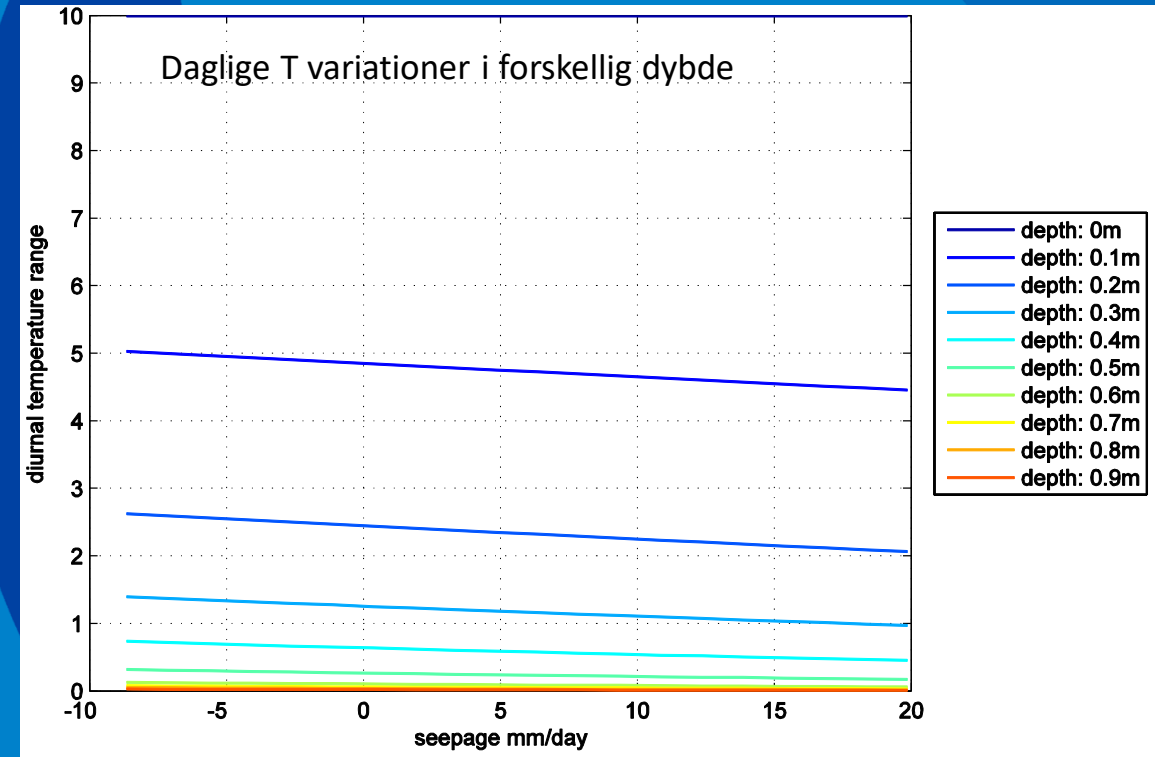
c is the specific heat of the water-soil matrix [J/kg/ °C]

c_w is the specific heat of water [J/kg/ °C]

Teoretisk beregning af udstrømningens betydning for temperatur i jorden ved -10 - + 20 mm udstrømning



Ved >5 mm/dag kan vandstanden holdes konstant ved terræn



Bestemmelse af udstrømning til rigkærved temperaturprofiler

- Kræver lang tids måling i flere dybder
- Overfladetemperaturen er meget påvirket af vegetationsdække
- Metoden er krævende og ikke nogen let genvej til at måle udstrømning



Observeret!:
Områder med bar jord og stor udstrømning er varmere om sommeren end et vegetationsdækket område med lille udstrømning

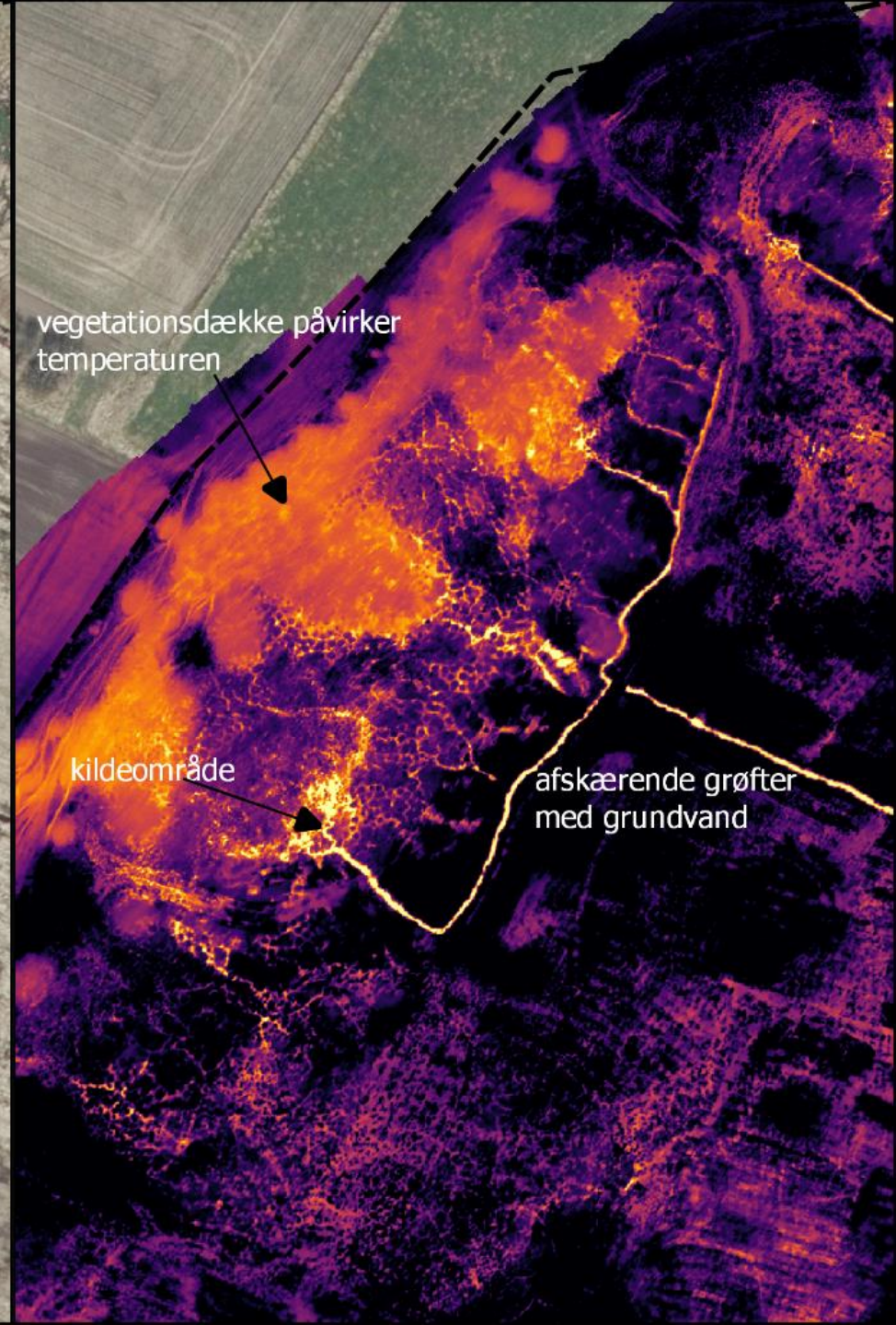


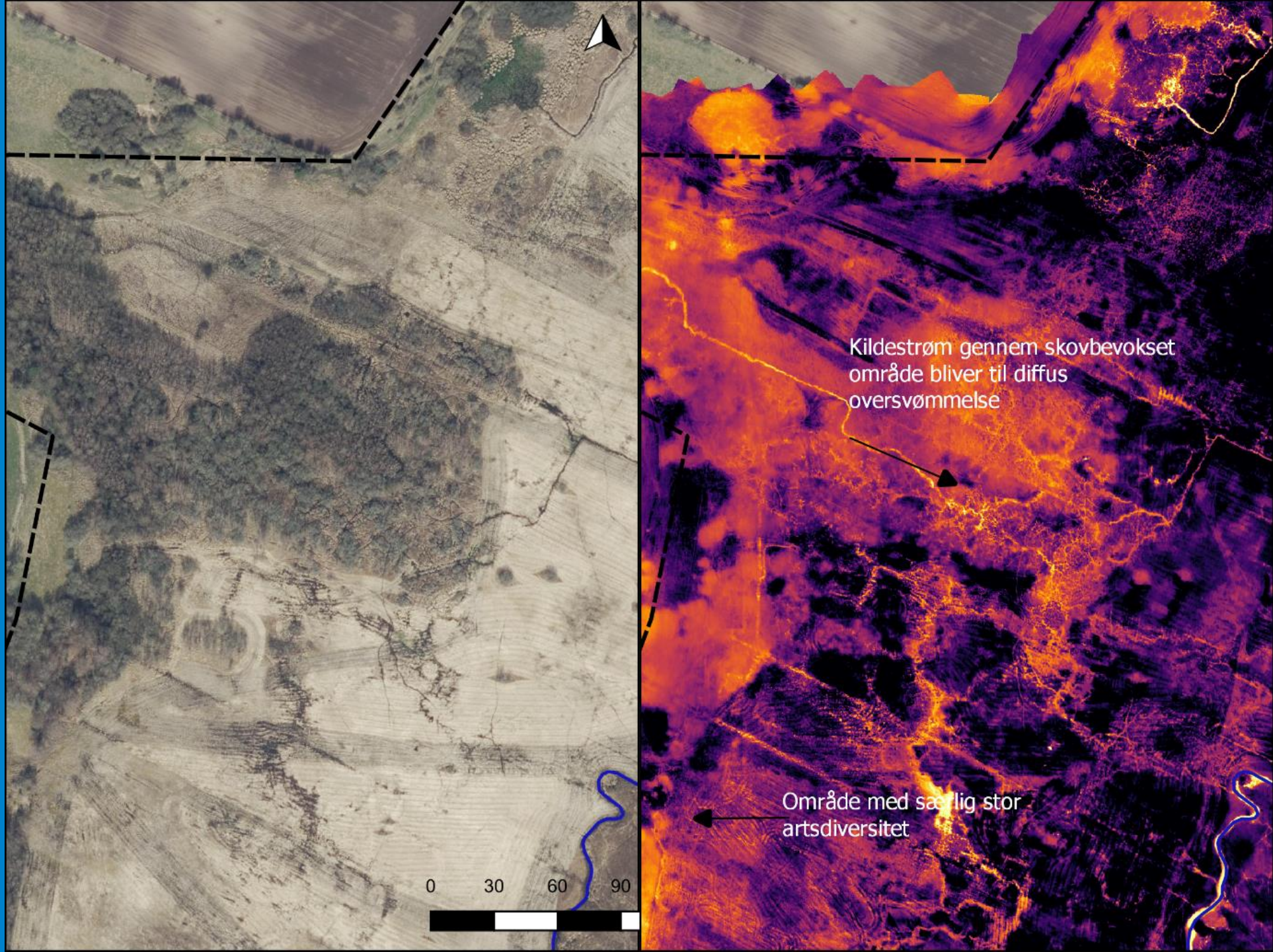
Droneoptagelser af temperatur

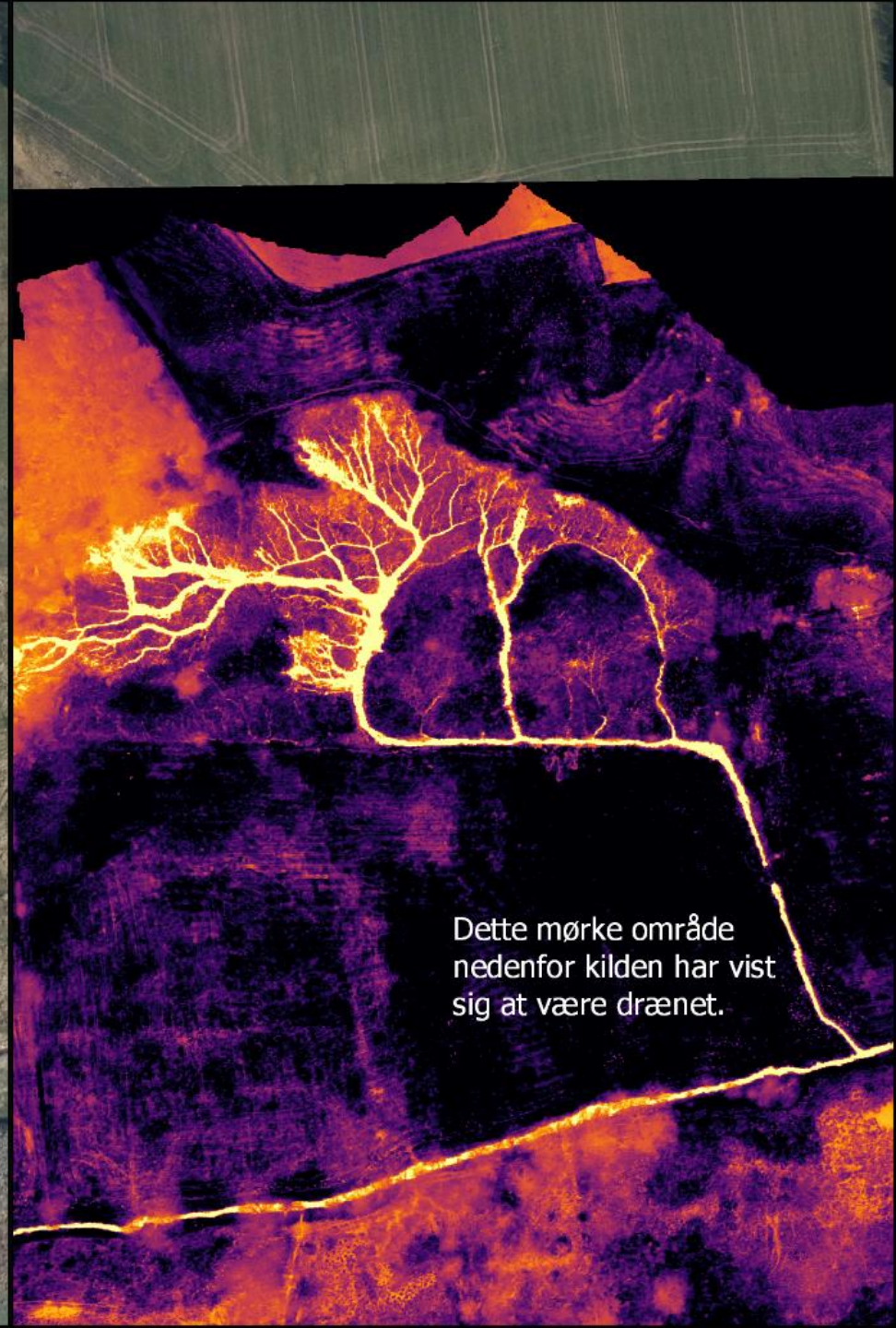
- Dronen måler på varmestråling fra overfladen (ikke temperatur direkte)
- Forskellige materialer har forskellige egenskaber.
- Vegetation ser ofte (fejlagtigt) varmere ud end bar jord.
- Giver et øjebliksbillede af grundvand på overfladen
- Kan ikke anvendes til kvantificering
- Erfaringer viser, at der kun fås tydelige aftryk af udstrømning ved stor udstrømning (>10 mm/d)
- Giver stor rumlig detaljeringsgrad



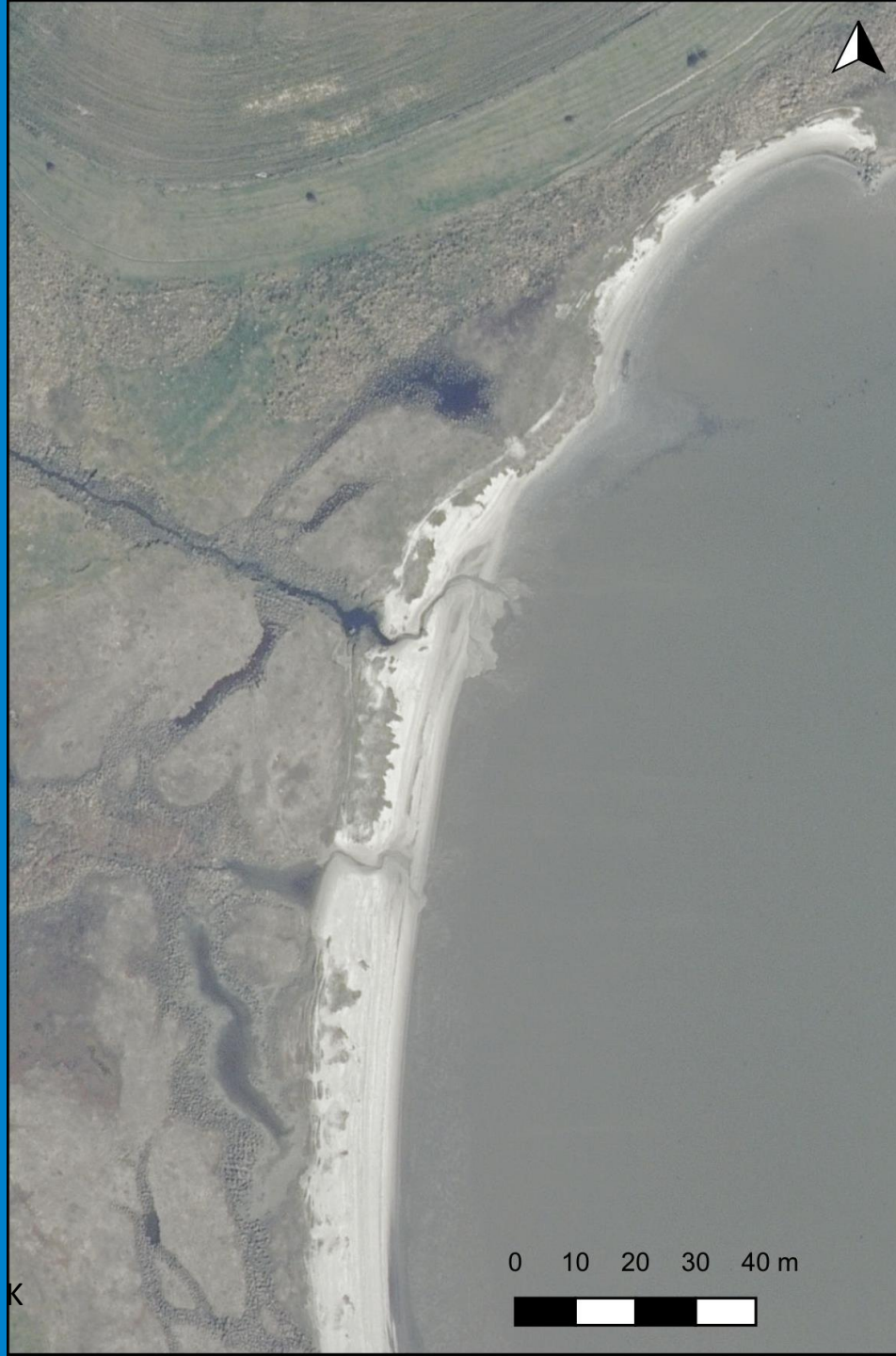
Eksempler på hvad man kan se...



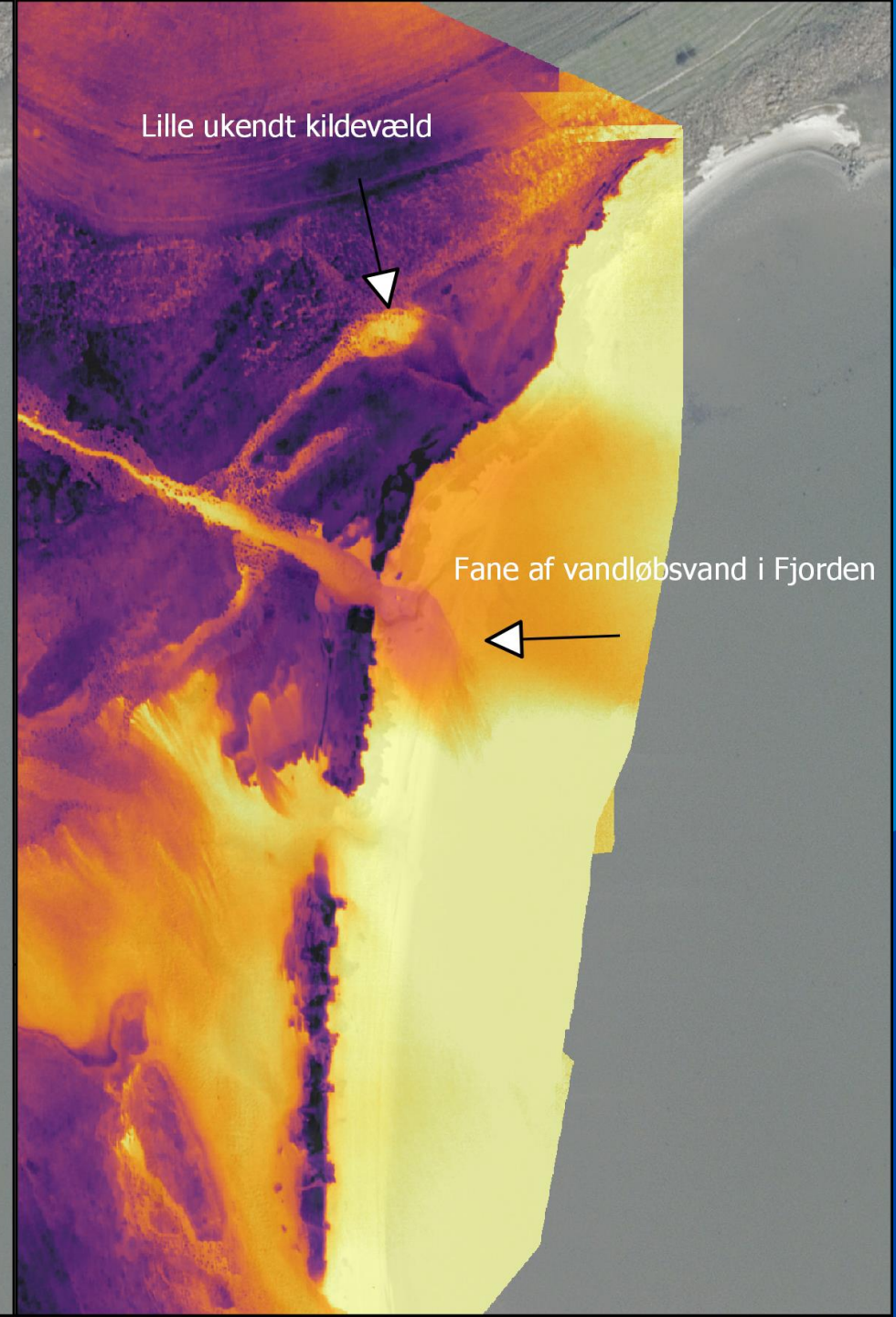




Dette mørke område
nedenfor kilden har vist
sig at være drænet.



0 10 20 30 40 m



Lille ukendt kildevæld

Fane af vandløbsvand i Fjorden

Praktisk udførelse

- Dronens rute planlægges hjemmefra for at dække hele det ønskede område
- Dronen optager en video med termobilleder fra ca. 80 meters højde
- Dronen ved samtidig præcist hvor den er og hvilken retning den flyver.
- De rå data fra dronen skal efterfølgende sammensættes til en mosaik af de mange frames i videomaterialet, og der dannes en stor sammenhængende raster til visualisering i gis.
- Opløsningen på billederne er pixels med 0,1x0,1 m, hvilket er 16 gange flere pixels end de landsdækkende højdemodeller (0,4x0,4m).

Ideelle forhold

Erfaringen er, at dronebillederne skal tages om vinteren:

- Temp. omkring 0 grader.
- Minimal vind
- Blade på vegetationen er væk
- Lufttemperaturen er relativt stabil over døgnet
- Der er begrænset solindstråling i dagstimerne, som påvirker overfladetemperaturen uensartet og kan give forstyrrelser når grundvand skal lokaliseres.
- Ingen sne/is. Hvis der er hård frost kan der dannes is på områderne trods væsentlig udstrømning af grundvand. Is og sne skjuler forskelle i temperatur nær overfladen.

Konklusioner

Det positive:

- Der opnås meget detaljerede og illustrative billeder af grundvand på overfladen
- Billederne giver en sjælden mulighed for at visualisere og kommunikere betydningen af grundvand
- Velegnet til kortlægning af kildevæld og grundvandets vej på overfladen til recipienten
- I nogle tilfælde kan billederne bidrage direkte med viden som få indflydelse på tiltag

Hvad kan vi ikke se af billederne:

- Billederne siger ikke ret meget om naturens tilstand og diversitet.
- Et område kan sagtens være grundvandsafhængigt uden at det ses af termobillederne
- Vi ville gerne kunne se hvor der (også) er grundvandsudstrømning om sommeren