

Toepassing van glasvezel monitoring voor waterveiligheid

Netwerk Dijkmonitoring

Pieter Doornenbal

Chris Bremmer

Manos Pefkos

Edwin Obando Hernandez

Roeland Nieboer

André Koelewijn

Liduin Bos-Burgering

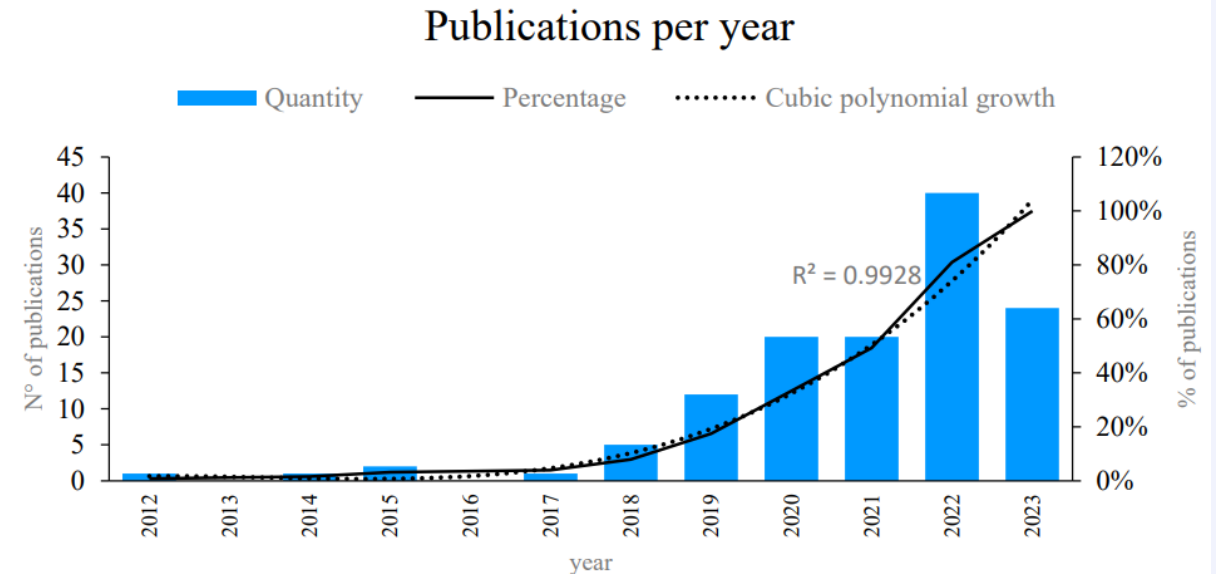
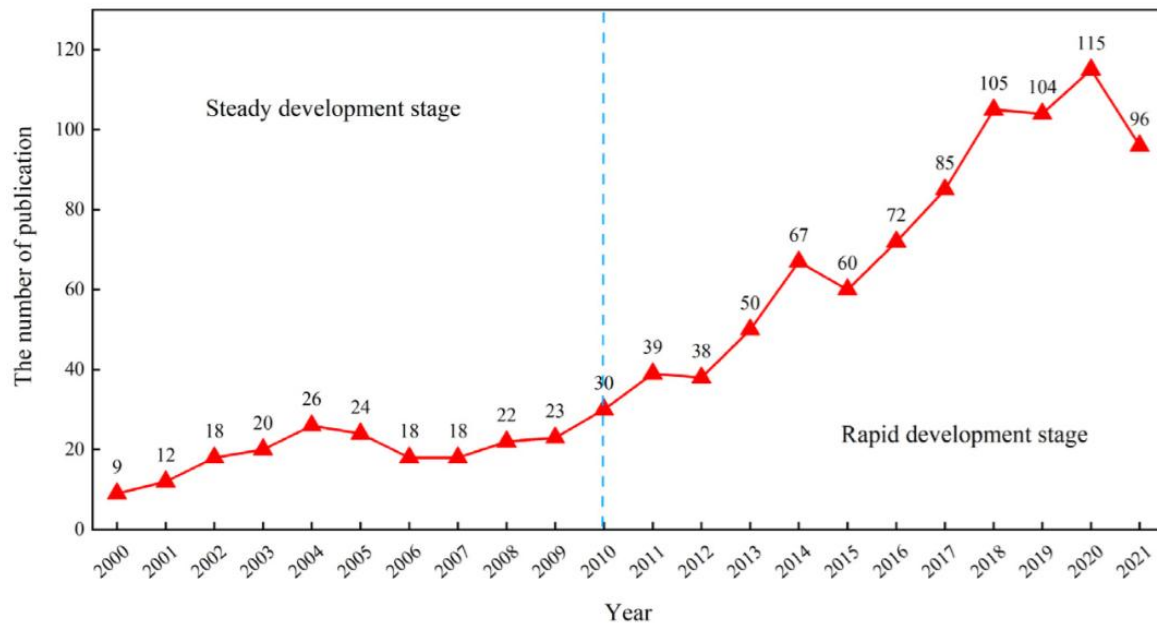
13/02/2025

Doel van de presentatie

1. Overzicht te geven van toepassingen van glasvezeltechniek
Wat hebben we de afgelopen 10 jaar gedaan met glasvezelmetingen bij Deltares?
2. Ontwikkelingen van de apparatuur en glasvezelkabels en de innovaties in het verwerken en analyseren
3. Bruikbaarheid van de technieken voor dijkmonitoring

Monitoring met glasvezel is populair

Zie het aantal publicaties en referenties

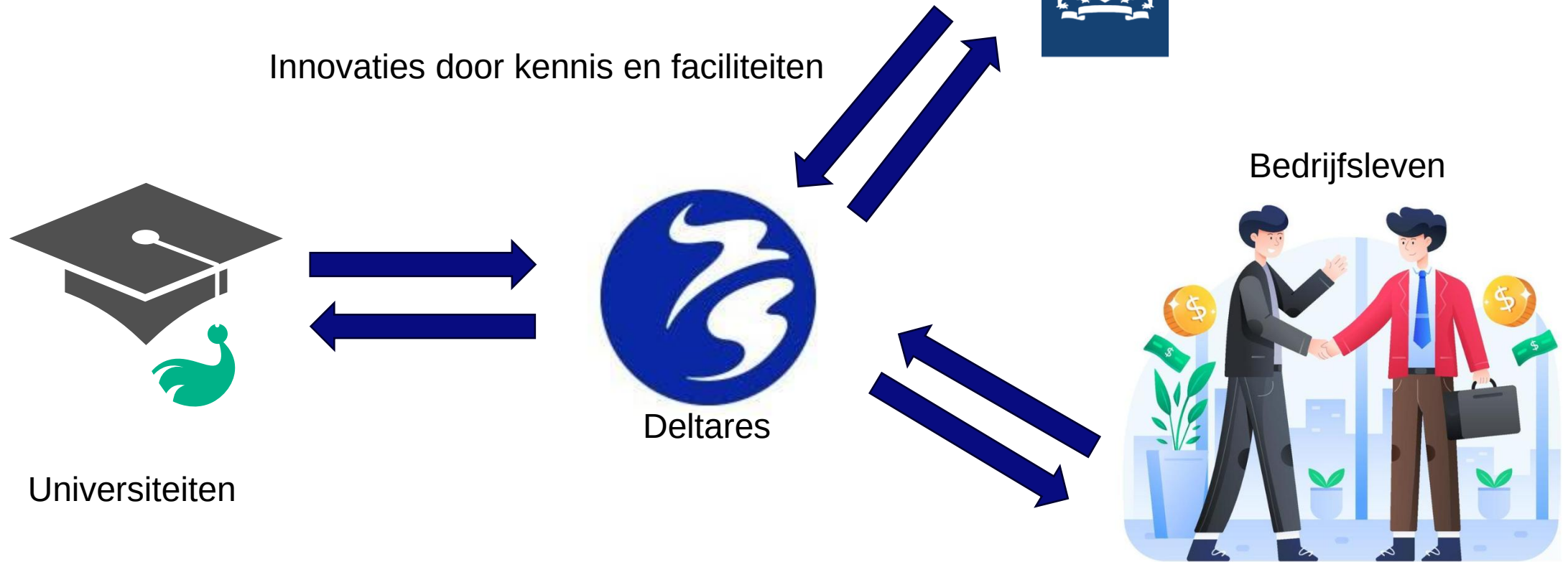


Status glasvezel voor geotechnische toepassingen

Variabele	Scattering	Technieken	Algemene kenmerken	Toepassingen
Trillingen	Raleigh	DAS (10 Hz tot een paar kHz)	De locatie en mate van trilling - 2-10 m interval - Kilometers – 10 tallen kilometer - Niet te exacte amplitude	- Constructies - Akoestisch - Geofysica - veiligheid
Temperatuur	Raman (of Brillouin)	DTS (0.1 graden C)	De locatie en temperatuur - dm to meters - 10 tallen km	- Beton uitharding - Temperatuur verandering bij constructies - Grondwaterstroming - Geothermie
Rek	Brillouin	BOT (10 – 30 microstrain)	De locatie en mate van rek - Elke 0.5 m - Meer dan 10km - Dynamische rek tot 1kHz	- Rekken in constructies - Tunnels - Spoorwegen - Breuk detectie - Pijpleiding - Aardverschuivingen

Rol van Deltares bij waterveiligheid

Afhankelijk van type project



TRL 1:
basic
principle
observed

TRL 2:
technology
concept

TRL 3:
experimental
Proof of
Concept

TRL 4:
validation
in
laboratory

TRL 5:
validation in
relevant
environment

TRL 6:
demonstrate
technology

TRL 7:
prototype
at pilot scale

TRL 8:
system
completed
and qualified

TRL 9:
system
proven in
operation

Wat hebben we bij Deltares de afgelopen 10 jaar gedaan?

- Temperatuur gebruikt als proxy voor grondwaterstroming bij :
 - Wellen
 - Piping
 - Warmte koude opslag
- Temperatuur gebruikt als proxy erosie en depositie bij:
 - Zandsuppletie
- Trillingen en akoestiek voor opbouw baanlichaam en kritische treinsnelheid (ProRail)
- Trillingen en akoestiek voor graverij
- Vervorming en richting
- Waterdruk voor golfoploop
- Waterdruk voor freatische lijn

Temperatuur gebruikt als proxy voor grondwaterstroming bij wellen onderzoek in beken

V.P. Kaandorp et al./Journal of Hydrology X 3 (2019) 100031



<https://www.ootmarsum-dinkelland.nl/over-dinkelland/natuurgebieden/9438-het-springendal-1/>

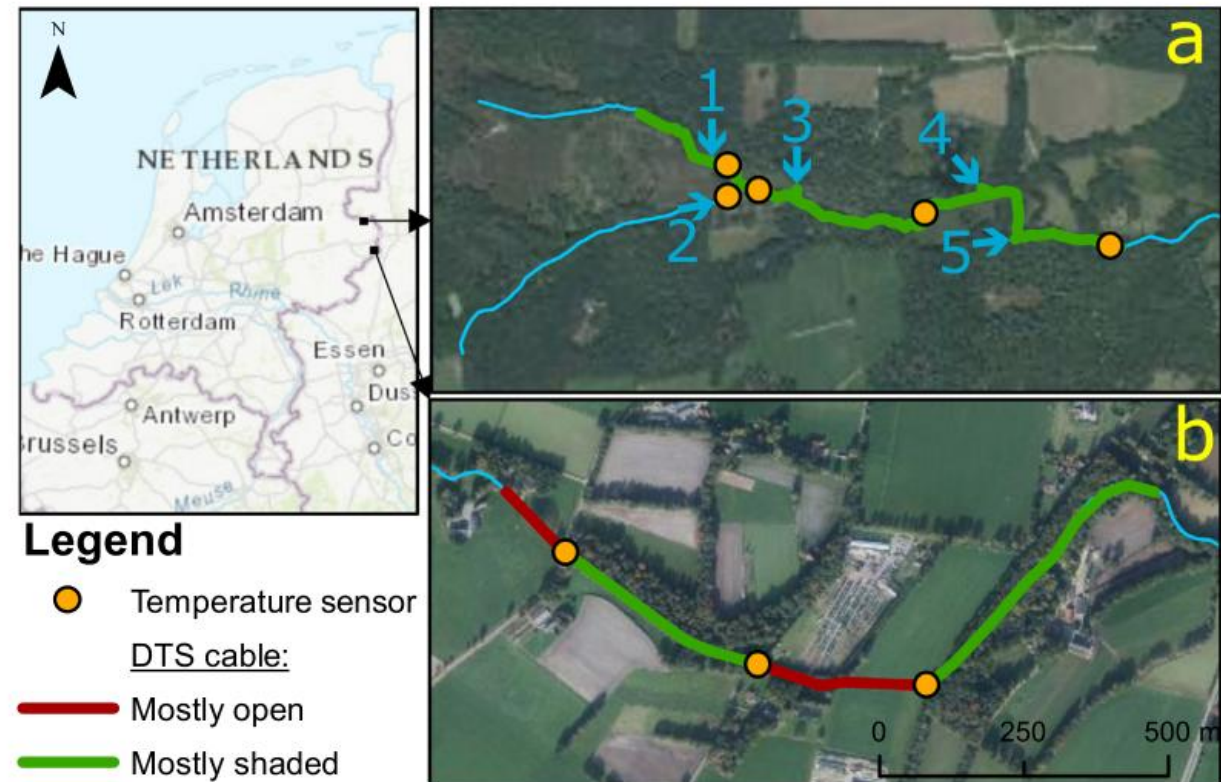
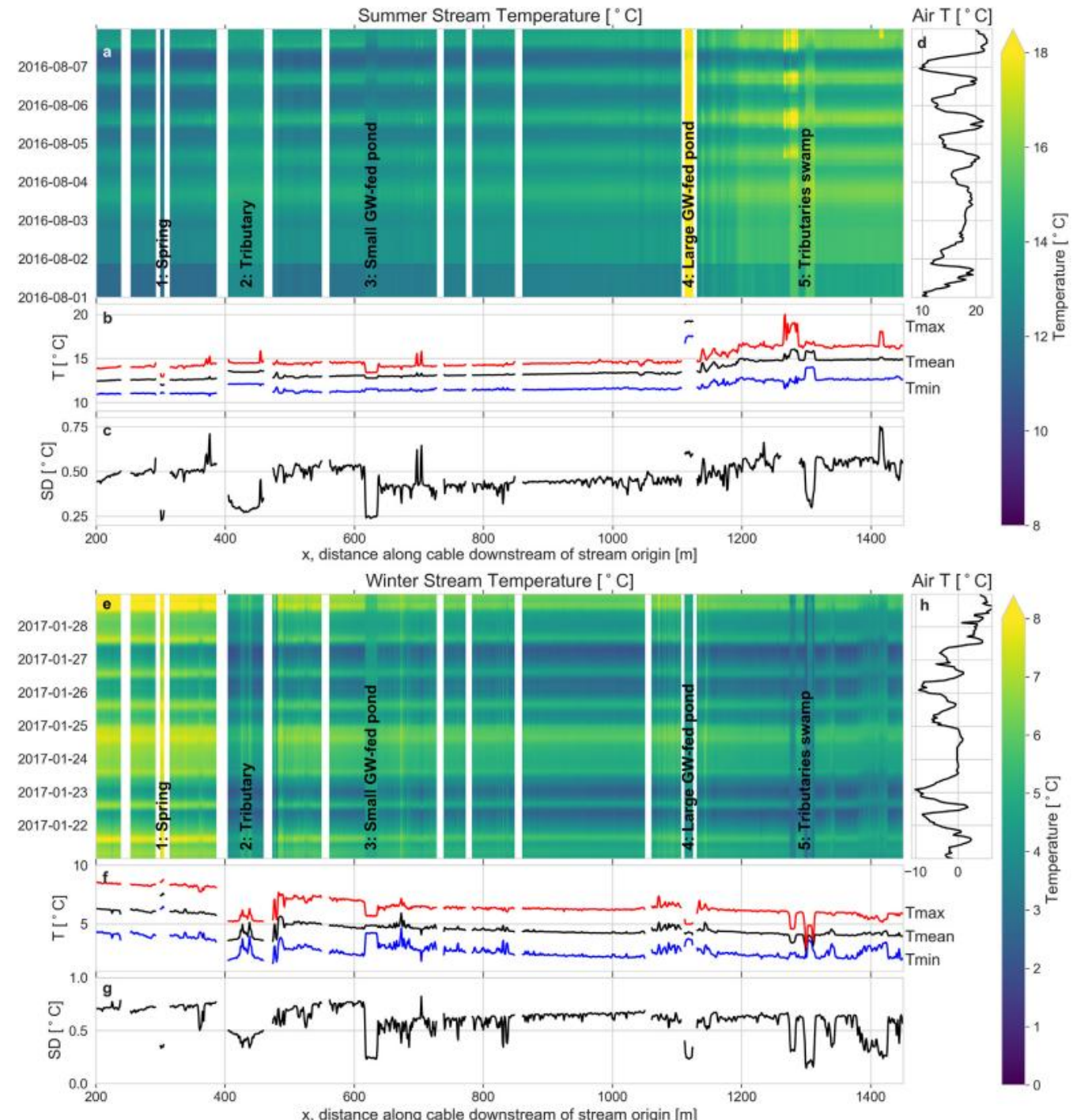


Fig. 1. Location of the fibre optic cables and temperature sensors in the Springendalse Beek (a) and Elsbeek (b). The numbered arrows 1 to 5 in panel (a) point to the spring (1), tributary (2), small and large groundwater-fed ponds (3 and 4) and tributaries swamp (5).

Temperatuur gebruikt als proxy voor grondwaterstroming bij wellen onderzoek in beken



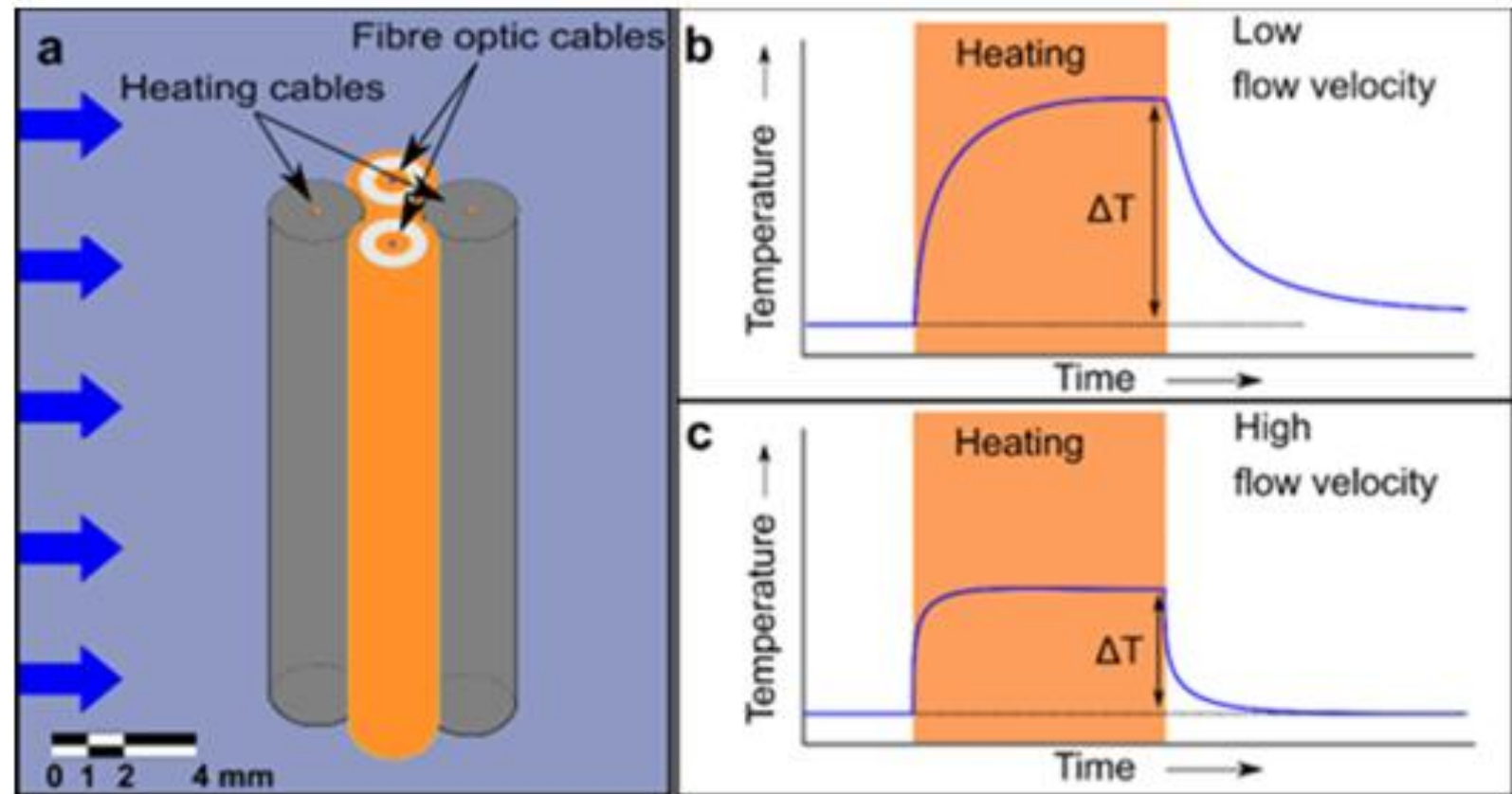
Temperatuur gebruikt als proxy voor grondwaterstroming

Ook toe te passen bij piping ?

Passief en actieve metingen

Actief vanuit ontwikkeling om grondwaterstroming te meten rondom drinkwater putten

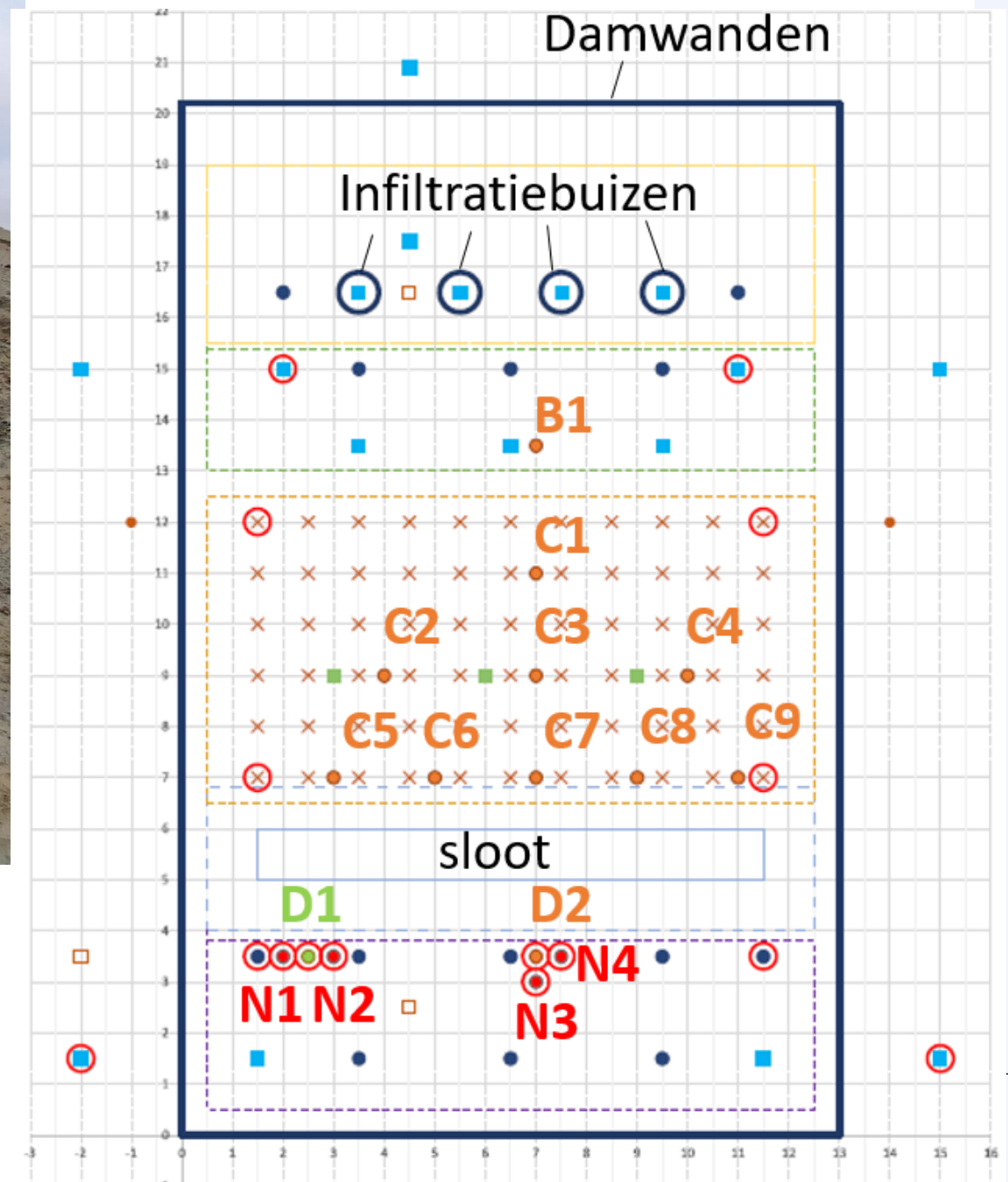
Kan piping gedetecteerd worden en op welke afstanden met temperatuur metingen met glasvezel?



Bakx et al 2023



Grote schaalproef piping in getijdenzand bij de Hedwigepolder
 Deltares referentie: 11204565





Piping processen kunnen zeer lokaal zijn en kunnen daardoor moeilijk te detecteren zijn met temperatuurmetingen met glasvezel



Passieve metingen met DTS Ijkdijk

- Mechanisme om piping te detecteren is een verschil in temperatuur tussen rivier en kwellocatie
- Numerieke modellering van kwel en temperatuur is nodig voor interpretatie van temperatuur data en voor optimale monitoringsystemen

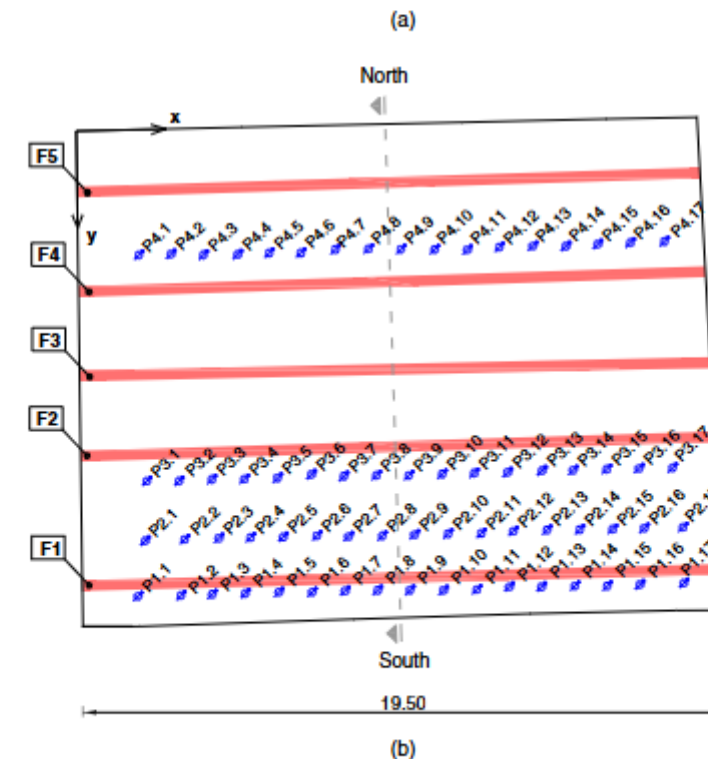
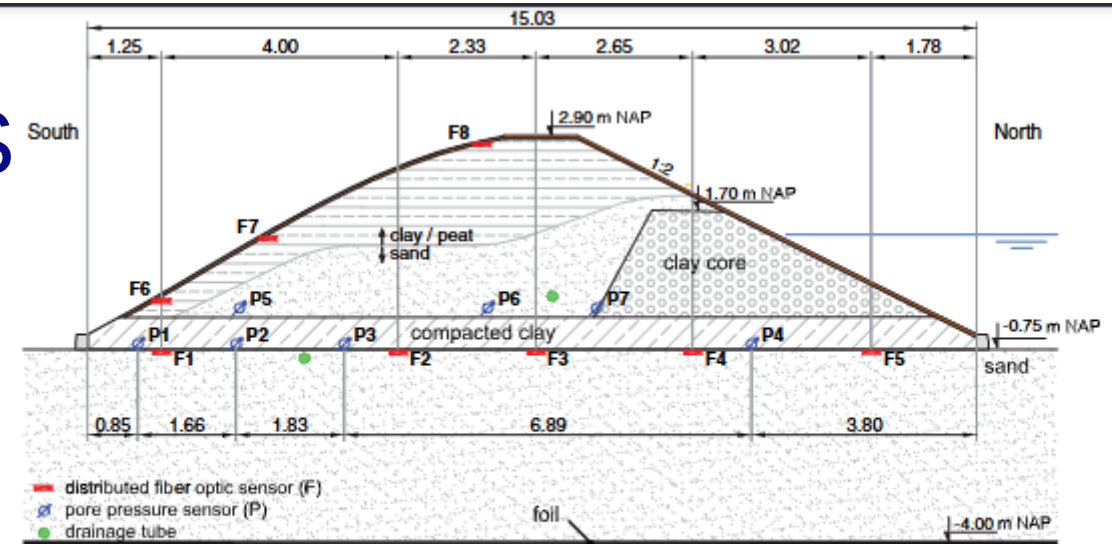


Fig. 2. (a) Cross section; and (b) plan view of the base of the test dike with the positions of the sensors indicated. All the levels are referred to Normaal Amsterdams Peil (NAP).

S. Bersan; A. Koelewijn; M. Putti; Paolo Simonini 2019

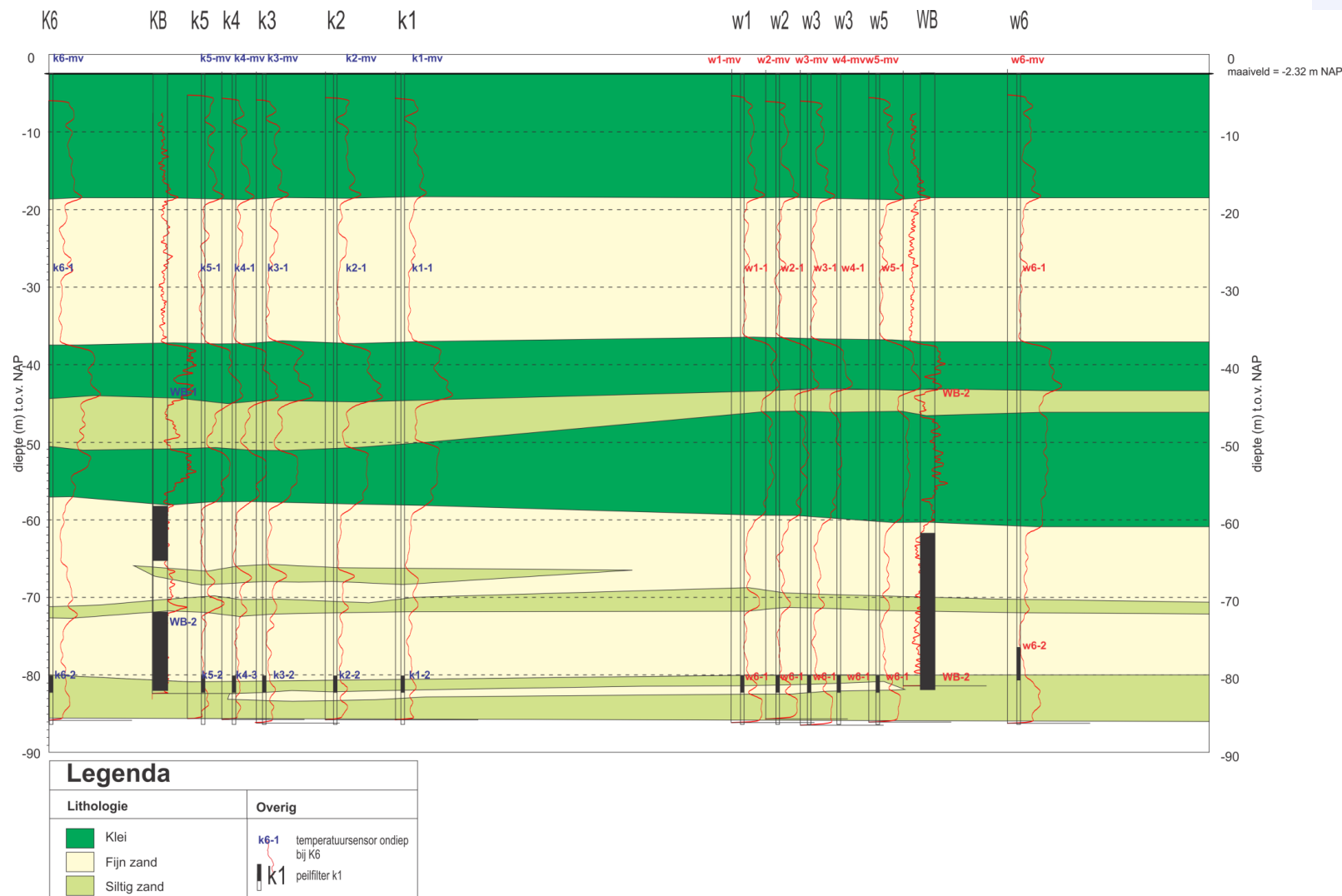
Temperatuur monitoring van de Warmte koude opslag en spreiding van de bel in de ondergrond



Deltares

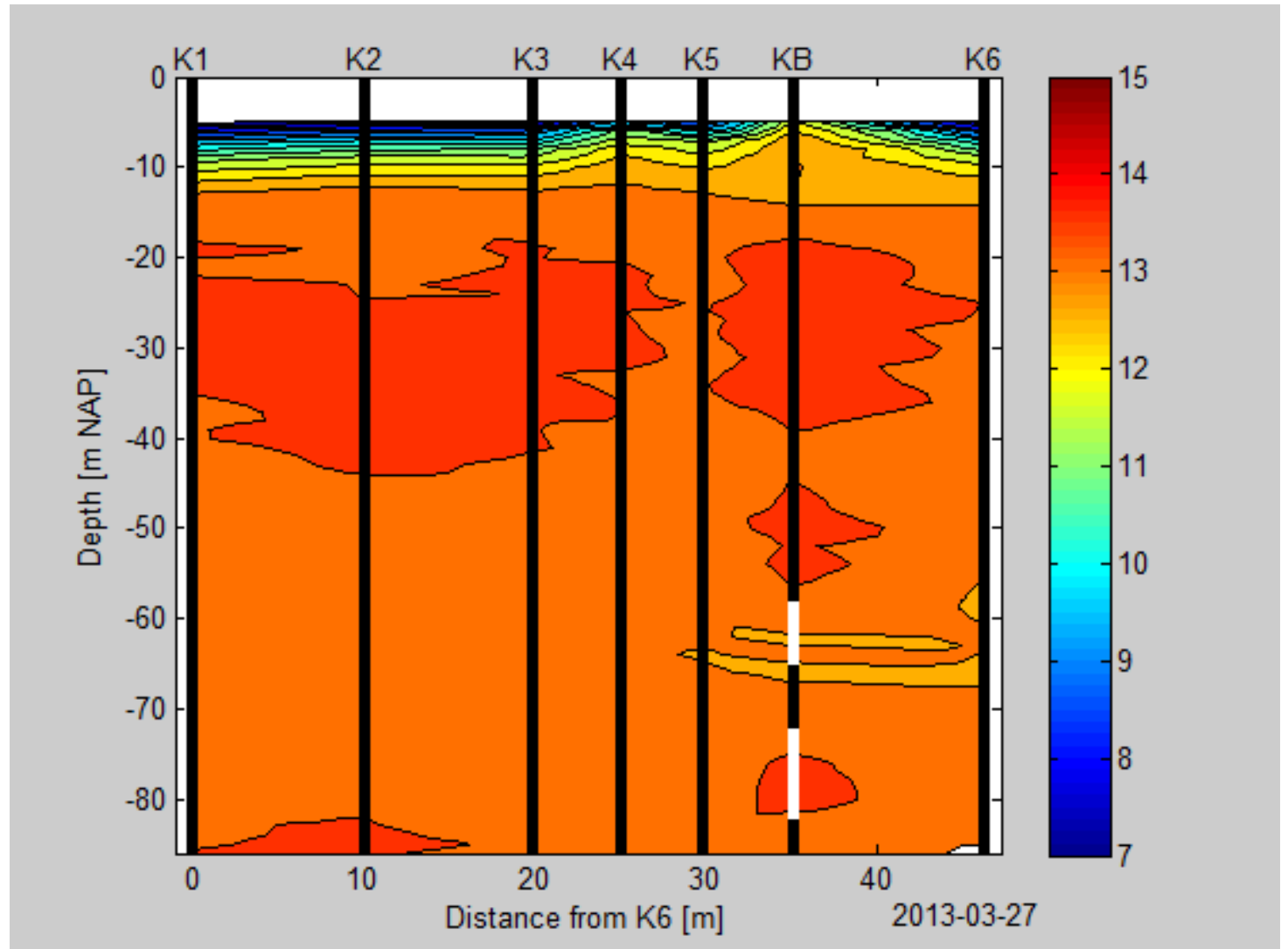
— Profile

Lithologisch profiel op basis van boorgatmeting



Temperatuur als proxy voor geohydrologische processen - Ontwikkeling koude bel

- Langjarige temp monitoring van warme en koude bel laat ademen zien van de bronnen
- Doorbraakcurves kunnen gebruikt worden om snelheden te bepalen
- Lagen in de ondergrond met hogere doorlatendheid worden zichtbaar

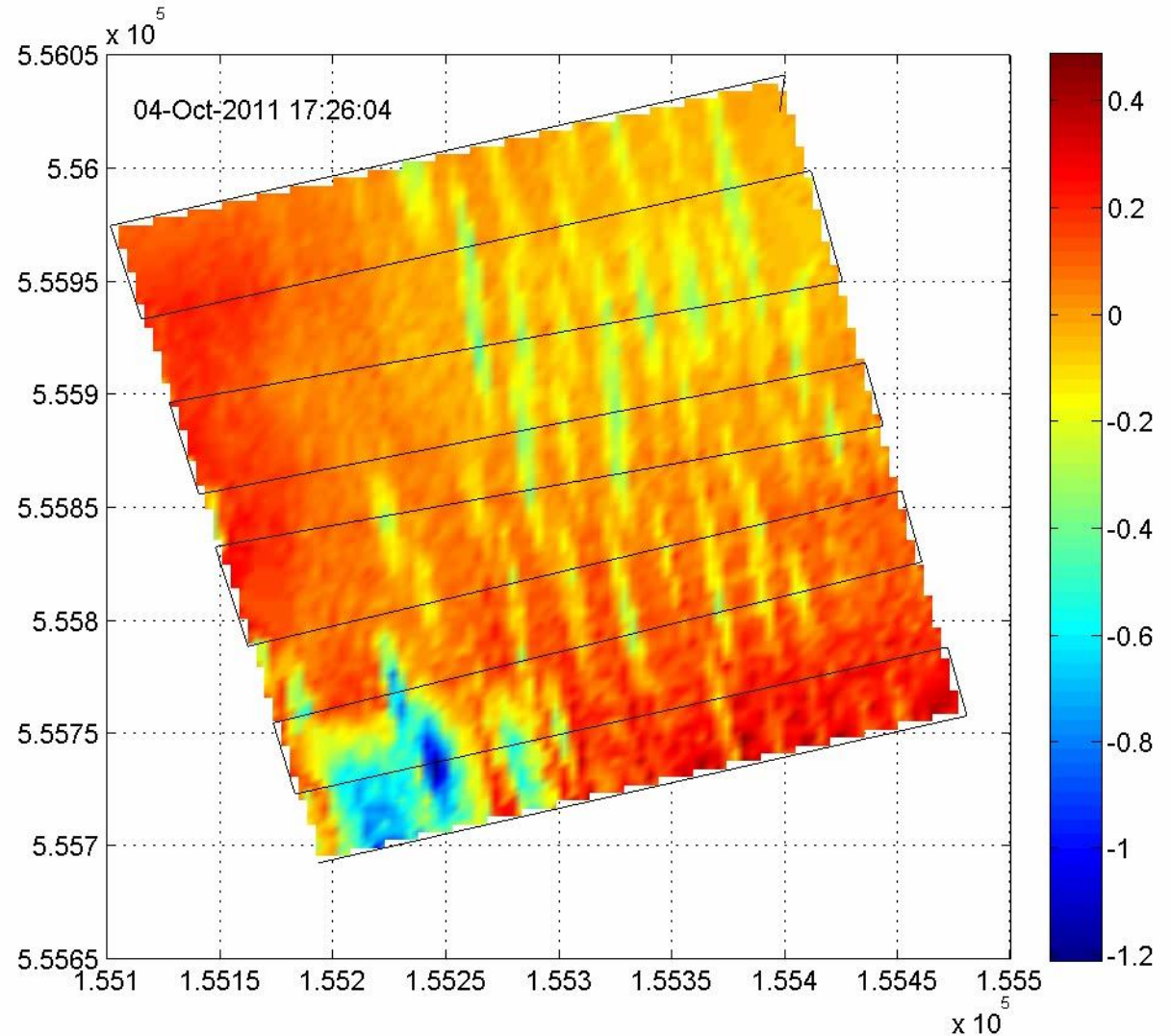


Temperatuur gebruikt als proxy voor erosie en deposiete bij suppletie Workumerwaard



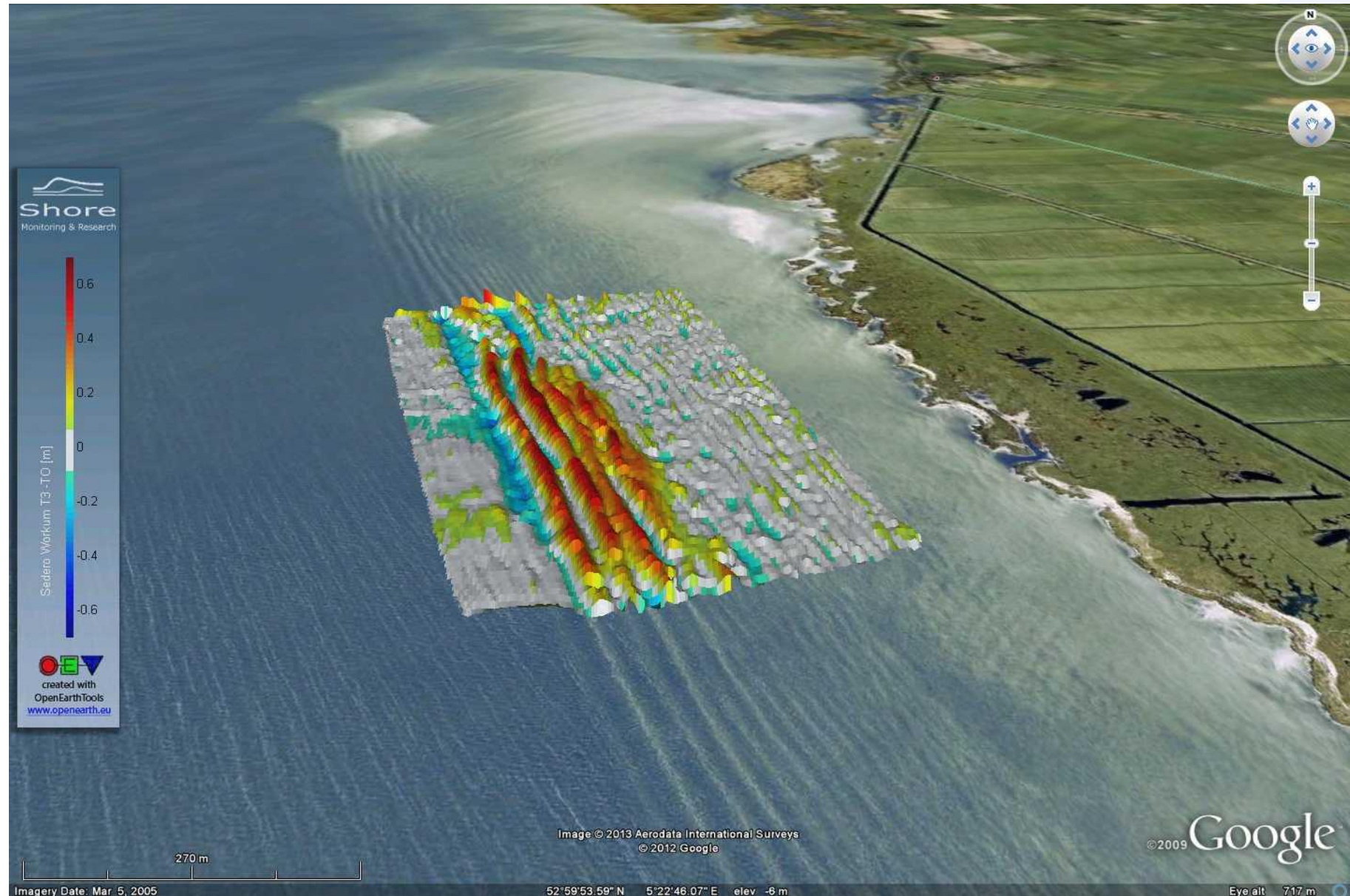
Temperatuur gebruikt als monitoring van suppletie bij Workumerwaard

- Volgen van temperatuursverandering door sediment heen (veroorzaakt door verschil in dag en nacht temperatuur)
- Op locaties waar er meer sediment ligt is de verandering minder groot
- Maar wanneer vergeleken met watertemperatuur juist het grootst



Bathymetrische metingen – multibeam

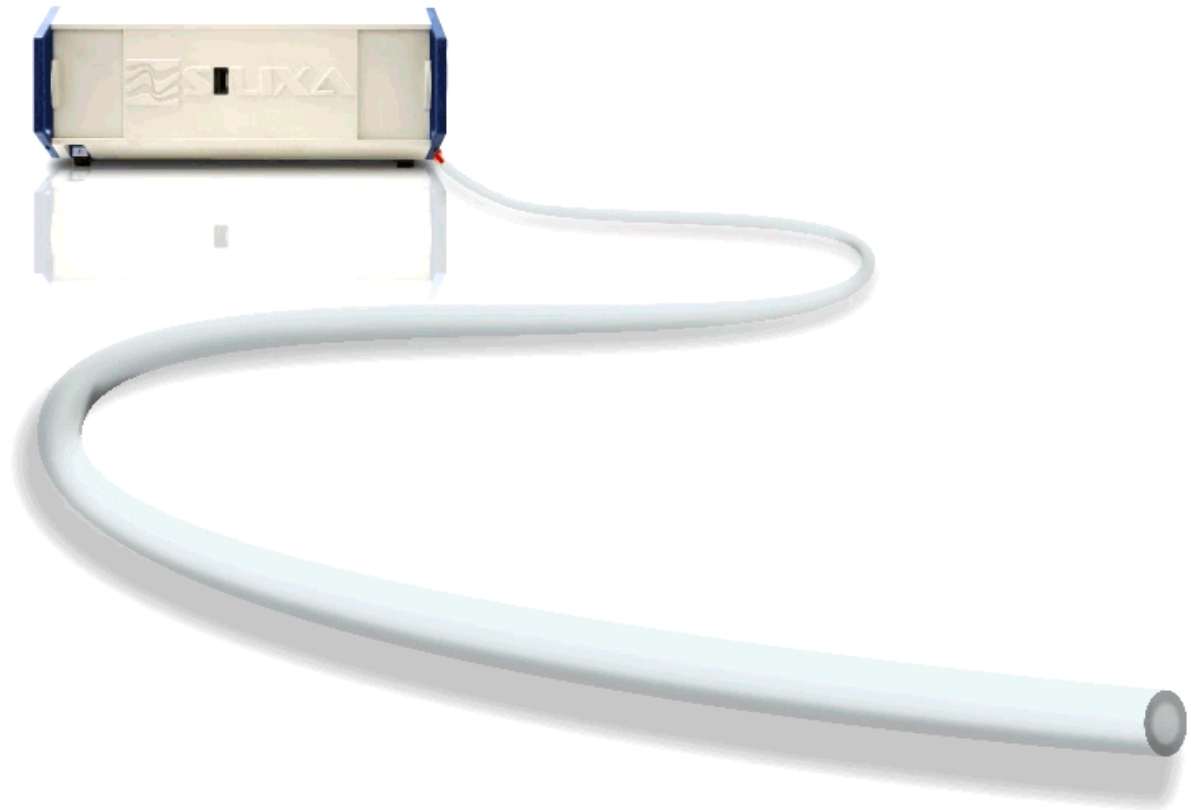
- Suppletie verandert in parallelle zandruggen



Opbouw baanlichaam spoor en kritische treinsnelheid samen met ProRail

Kan glasvezeltechnologie ingezet worden om treinen

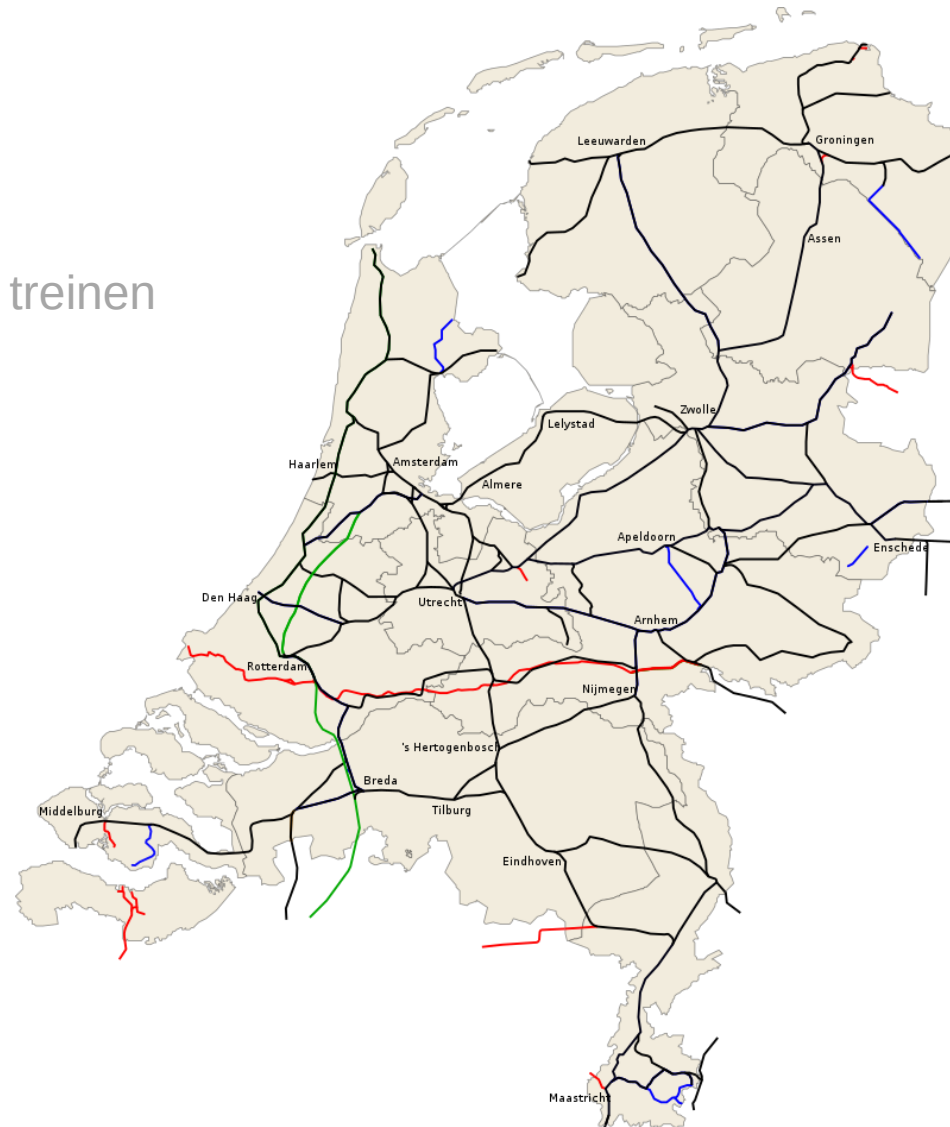
- > frequenter
- > efficiënter
- > en met minder hinder te laten rijden?



Aanleiding

Kan glasvezeltechnologie ingezet worden om treinen

- > frequenter
- > efficiënter
- > en met minder hinder te laten rijden?



Het bestaande ProRail glasvezelnet is één groot meetinstrument langs het hele netwerk!



Figuur 1 Overzicht van de positie van de glasvezel, het schouwpad, het ballast bed, baanlichaam, de zachte laag en de stijve harde laag voor een deel van het onderzoekgebied.

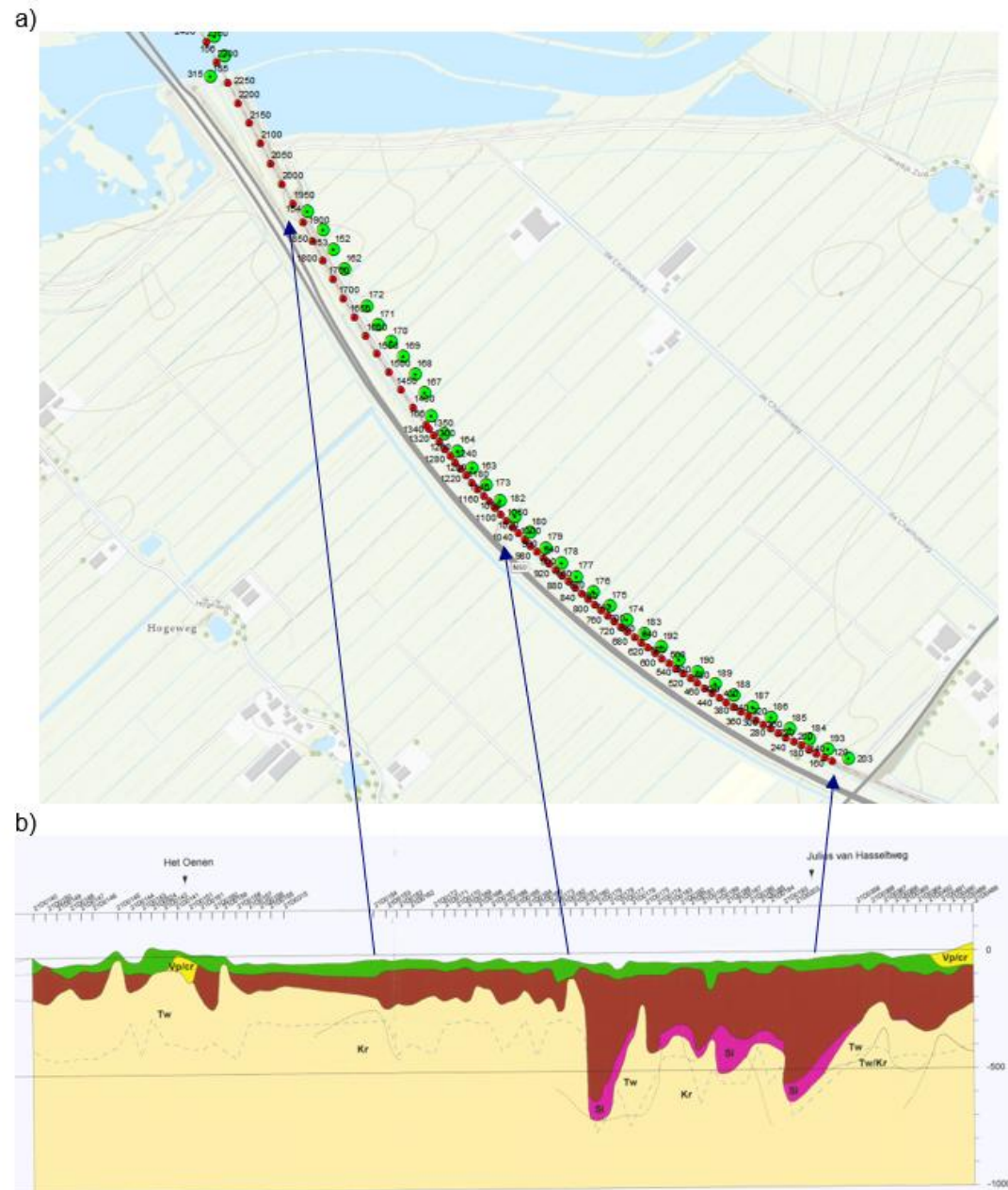
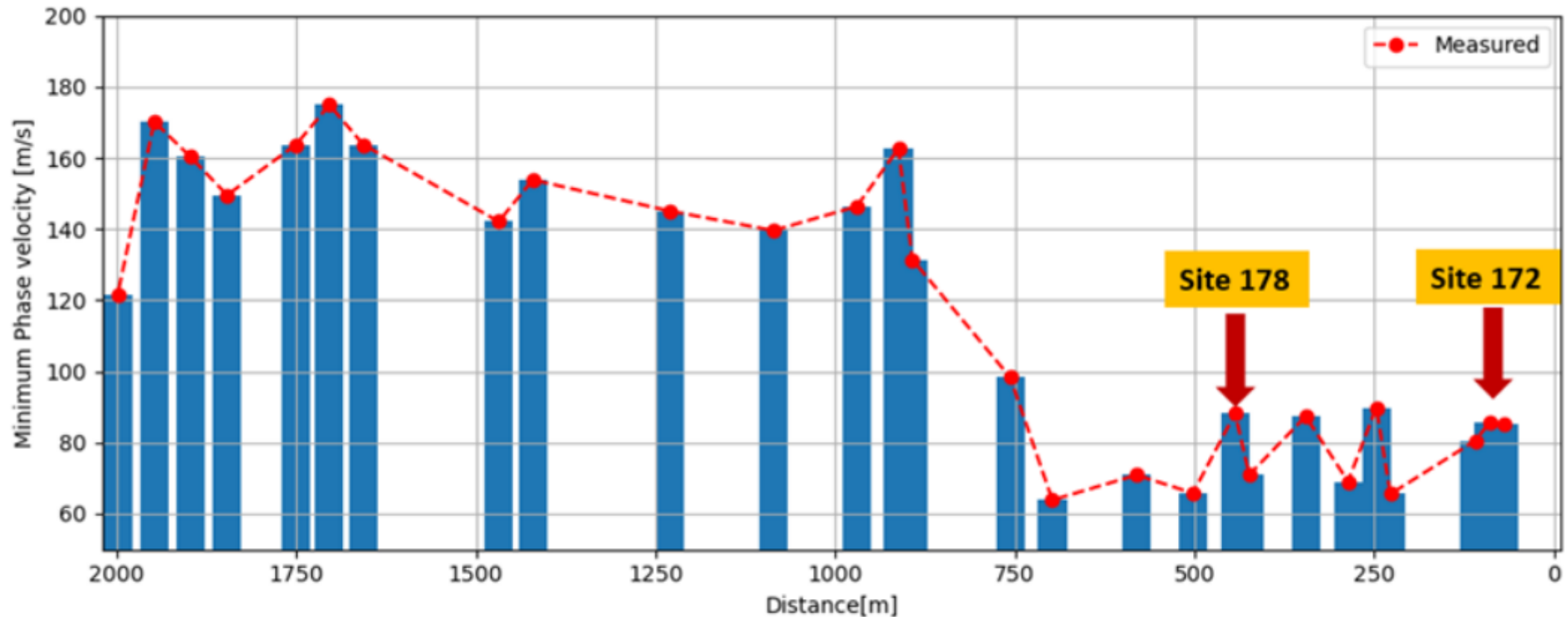


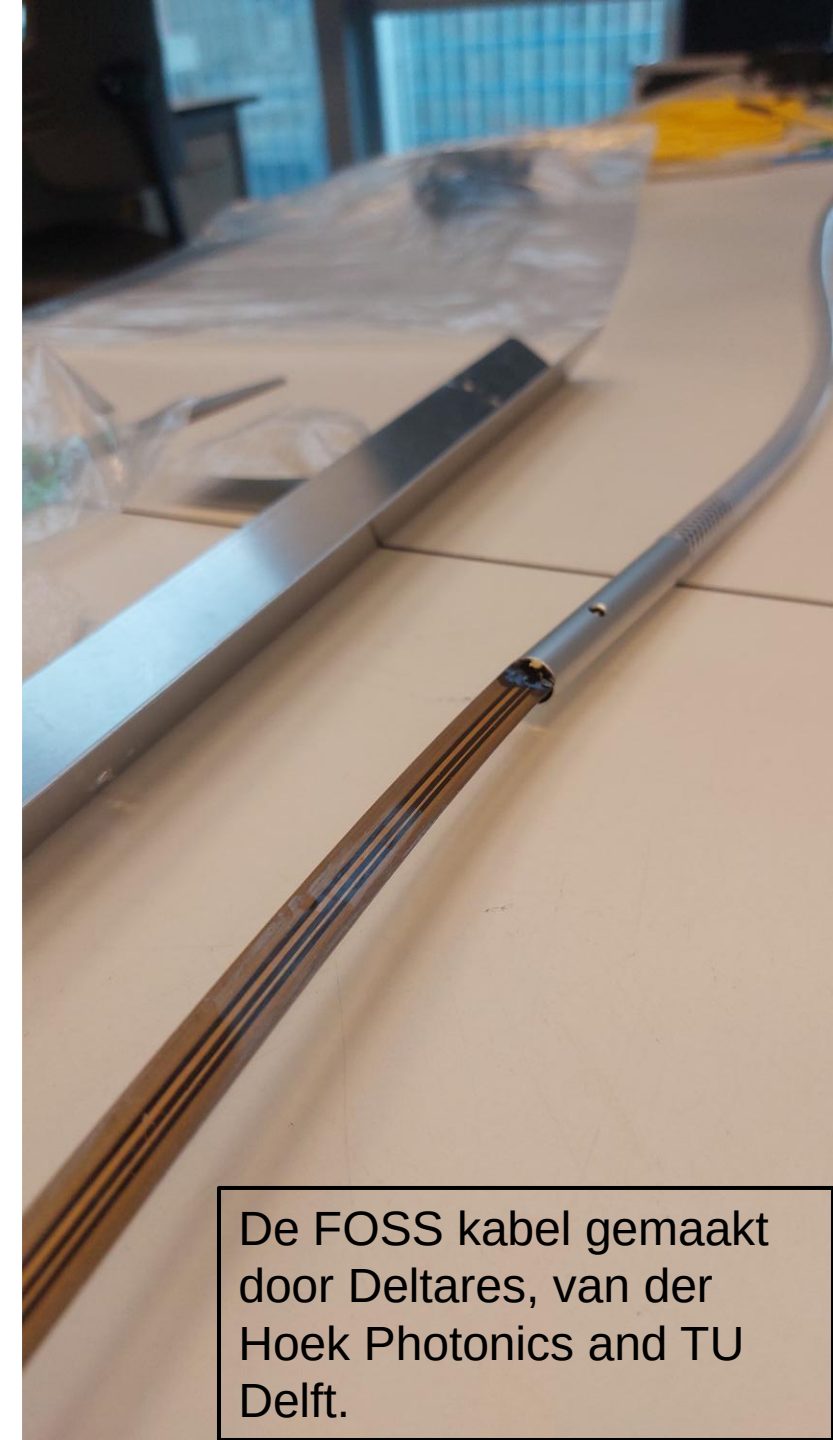
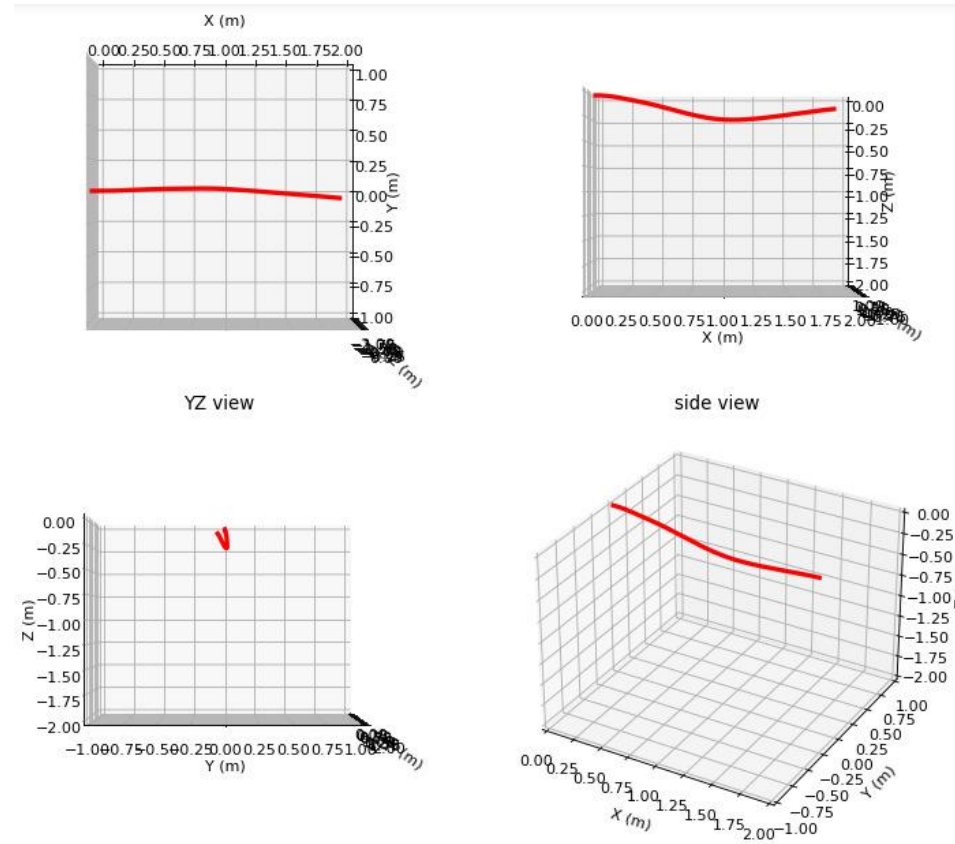
Figure 3-1. a) position of fibre optic cable in relation to the lithological profile, b) lithology section. Red dots constitute the fibre optic cable and the numbers at the left side are the channels numbers. Green dots are the borings positions used to draw the lithology cross-section. The number of the green dots corresponds to the numbers of the lithology section.



Figuur 3 Op de y-as staat minimum phase velocity die gerelateerd wordt aan de kritische treinsnelheid. De Kritische treinsnelheid wordt afgeleid uit de glasvezelmetingen over het traject vanaf het Reevediep (links) tot het relaishuis bij de Jules van Hasselt weg (rechts), een traject van 2 km.

Fiber Optic Shape Sensing (FOSS) Positie bepaling

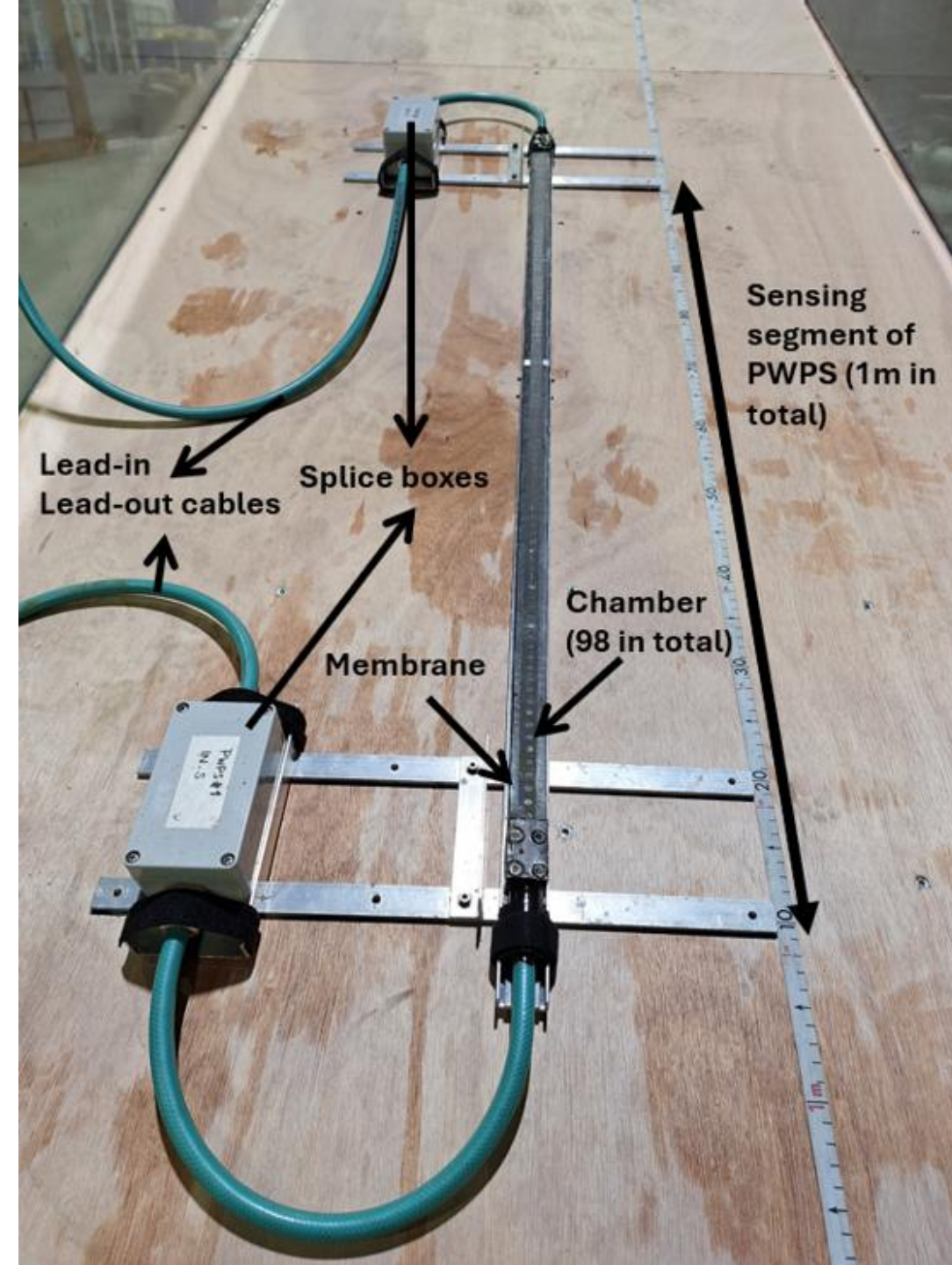
- De detectiekabel bevat minimaal 3 optische vezels
- Elke optische vezel registreert de spanning.
- Door padvariabelen af te leiden, wordt de 3D-vorm van de detectiekabel gereconstrueerd.
- Bij een dijk kunnen veranderingen in de vorm van de sensorkabel het gevolg zijn van processen zoals vervorming en verzakking.

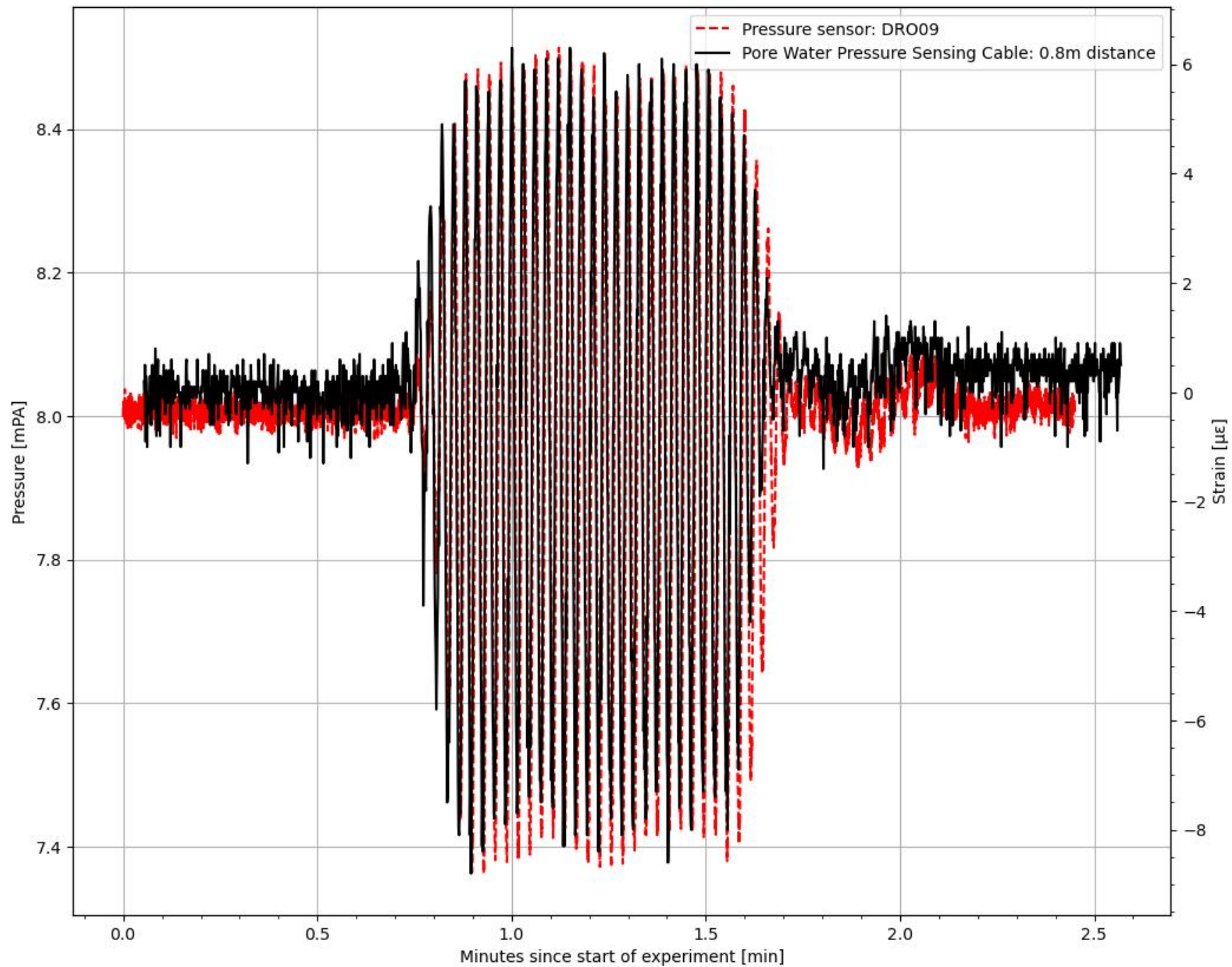


De FOSS kabel gemaakt door Deltares, van der Hoek Photonics and TU Delft.

Power Water Pressure Sensor (PWPS)

- Gebaseerd op de DSS (Distributed Strain Sensing) techniek .
- Hiermee kan hydrostatische druk worden gemeten, wat een proxy is voor waterdruk .
- Gebruikt in experiment om golfhoogte en golf oploop te meten





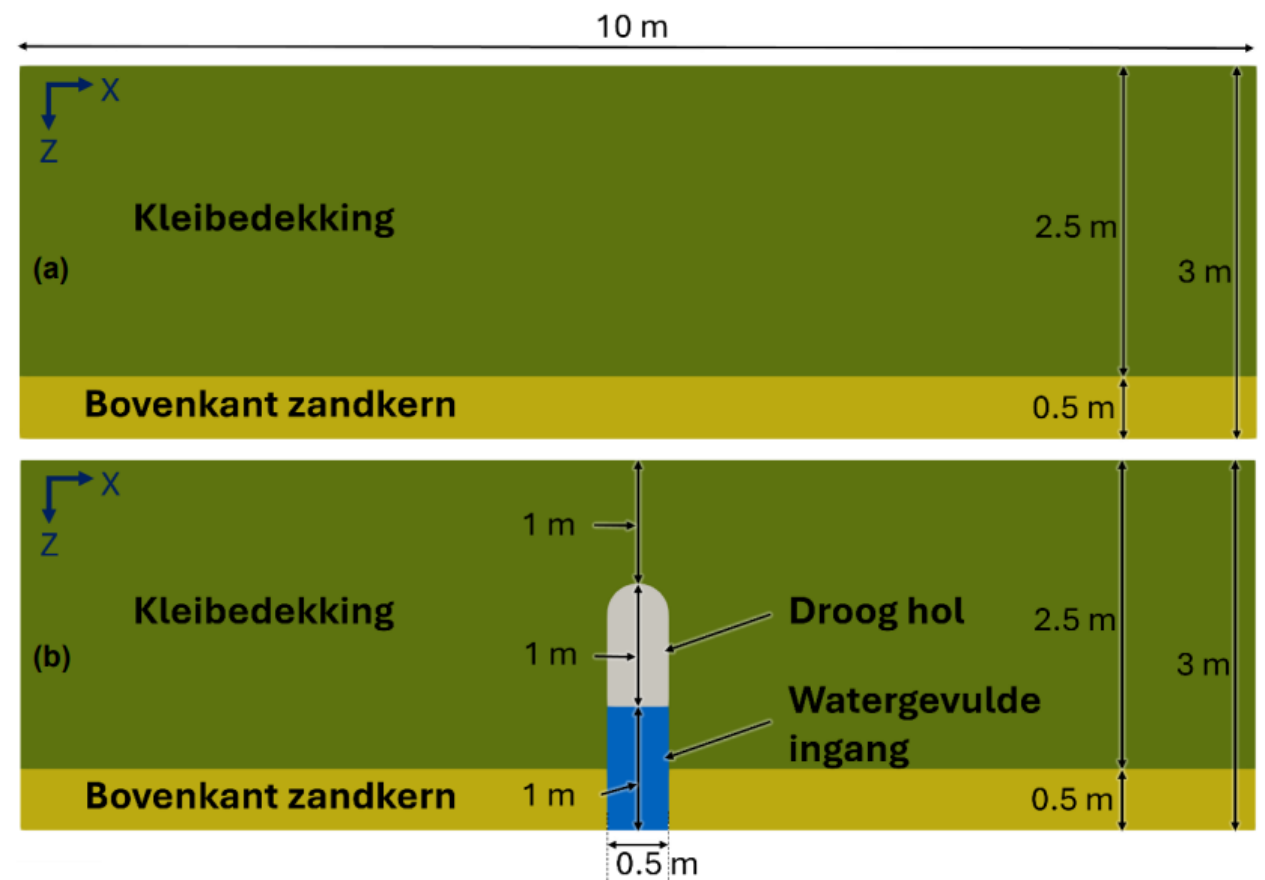
Gemeten rek signaal uitgezet
tegen gemeten waterdruk met een
conventionele druksensor

DAS voor graverij



Gat in dijk gegraven door bevers

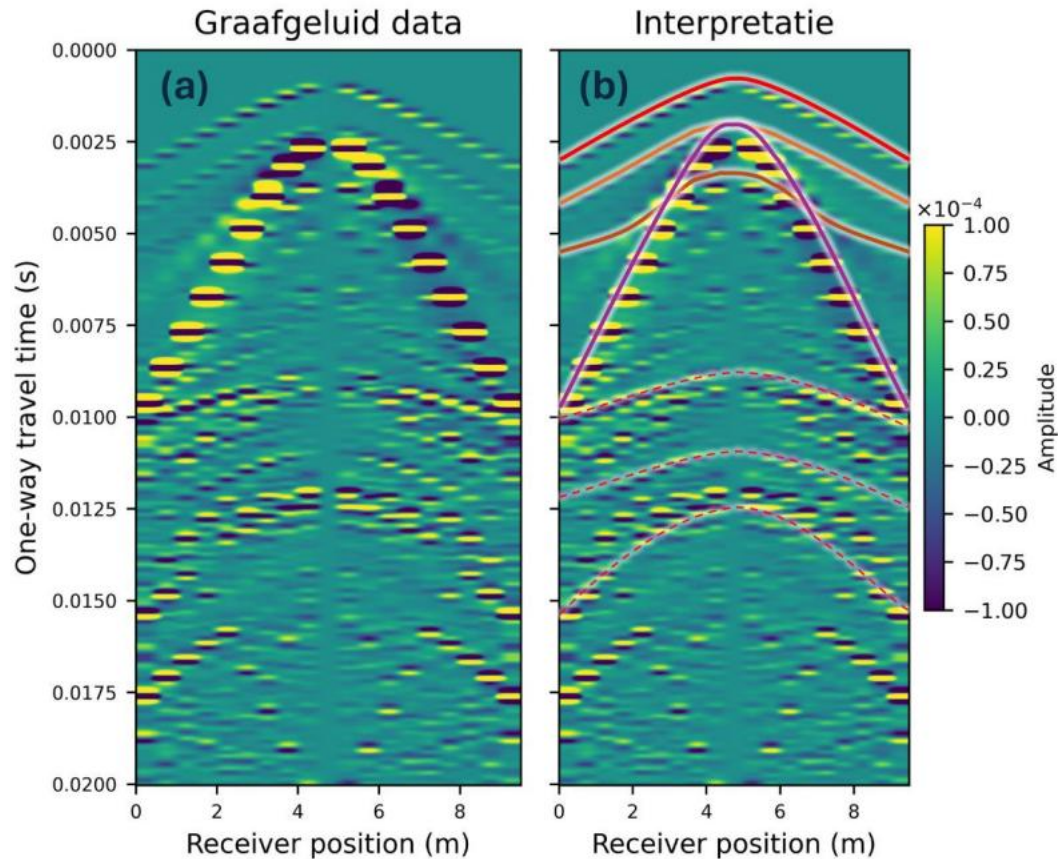
<https://www.waterschaplimburg.nl/projectinformatie/landingspagina/bevervrije-dijk/>



Figuur 3.2 (a) Schematisatie van een langsdoorsnede van een kleidijk met een zandige kern. (b) Hier is een 0,5 m diameter beverhol erbij gegraven met een droge kamer en een watergevulde ingang.

Tabel 3.1 Akoestische-elastische parameterisatie.

Medium	Dichtheid (ρ) [kg/m ³]	Druk golfsnelheid (V_p) [m/s]	Schuifgolfsnelheid (V_s) [m/s]
Kleibedekking	1784	1700	500
Zandkern	1886	1600	400
Watergevulde gang	1000	1480	-
Droog hol (lucht)	1	343	-



Direct graafgeluid uit graafgang in een dijk

Interferentie omgevingstrillingen en -geluid met graafgang in een dijk

Figuur 3.3 DAS kabel detectie van direct bever graafgeluid uit een graafgang. (a) Ruwe data en (2) interpretatie toegevoegd. De drukgolf is het snelst en komt als eerst binnen (rood) gevolgd door de schuifgolf (oranje) en de daardoor geïnitieerde oppervlaktégolf (Rayleigh, paars). Alle golfvormen vormen een parabool waarbij de locatie van de apex de horizontale locatie van de graafgang geeft, en de aankomsttijd van de golf een indicatie voor de diepte van de top van de graafgang geeft.

Wat is de meerwaarde van monitoring met glasvezelkabels?

- Goedkope manier om grote hoeveelheid data kan verzamelen
- Sensor niet gemaakt voor sensor dus bestaande glasvezel kan gebruikt worden , bijvoorbeeld bij DAS toepassingen
- Makkelijker in onderhoud en minder gevoelig voor verwerking in de tijd.
- Multi sensor approach , meerdere type metingen op verschillende vezels in 1 kabel
- Uitdagingen voor de toepasbaarheid van glasvezel of sensing in het algemeen
 - Waar kan de glasvezel het beste neergelegd worden of meerdere glasvezels
 - Wanneer kan de kabel in de dijk gelegd worden

Ontwikkelingen van apparatuur en data processing

- **Distributed Acoustic Sensing (DAS):** Maakt gebruik van akoestische golven om bodemverplaatsingen en rekveranderingen in dijkstructuren te detecteren.
- **Distributed Temperature Sensing (DTS):** Meet temperatuurvariaties langs de dijk om doorsijpeling en lekkage te identificeren, ook voor inzichtbodem vocht
- **Distributed Strain Sensing (DSS):** Identificeert vervormingen of structurele veranderingen in real-time.
- **DFO Druksensoren:** Nieuw ontwikkelde sensoren meten bodem- en poriewaterdruk, wat helpt bij de vroege detectie van erosie en stabiliteitsproblemen, golfoploop

Hoe kunnen de glasvezels gebruikt worden in dijkmonitoring?

- Bestaande glasvezels langs dijk
- Aansluiten bij nieuw aan te leggen glasvezels op dijken
- Nieuwe dijken, uitrusten met multi sense kabels

Nieuwe toepassingen

- Golf oploop / belasting
- Vochtgehalte monitoring om inzicht te krijgen sterkte toplaag erosiebestendigheid vegetatie

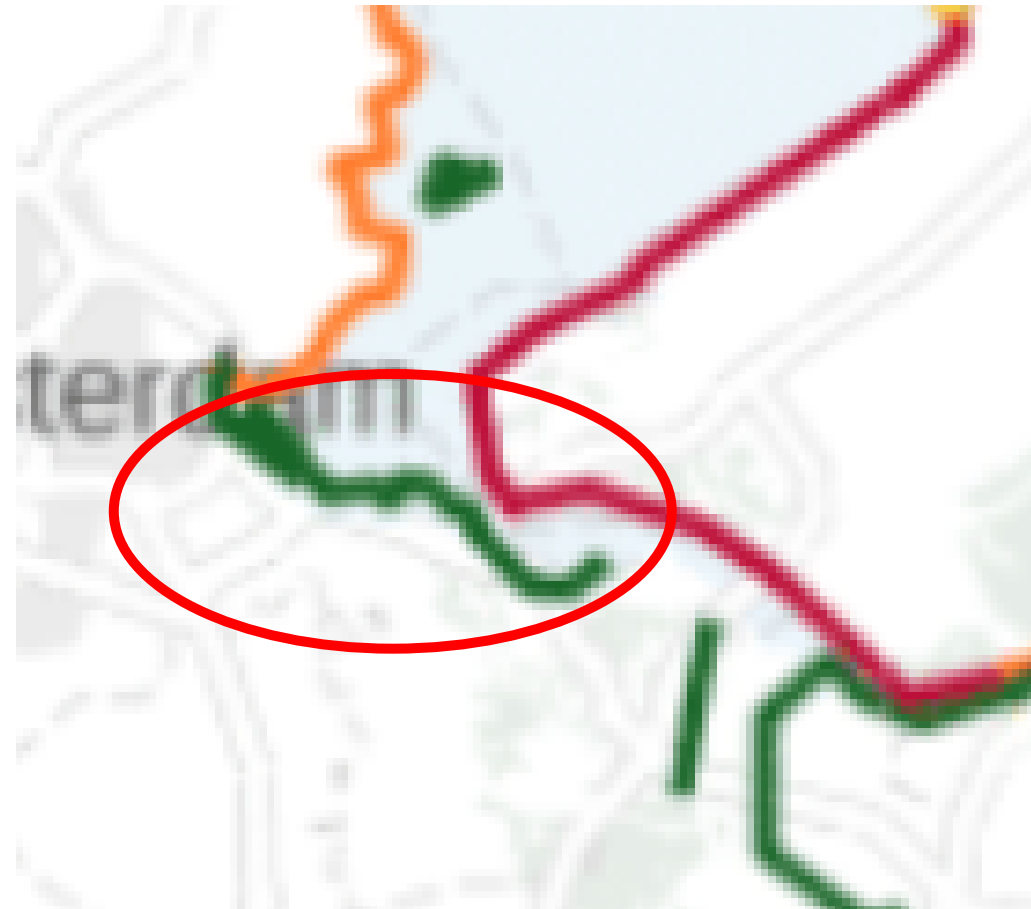
Bestaande glasvezels langs dijk

Kunnen we bestaande glasvezelnetwerken gebruiken als monitoringsinstrument voor waterveiligheid?

Bestaande glasvezelnetwerken ...

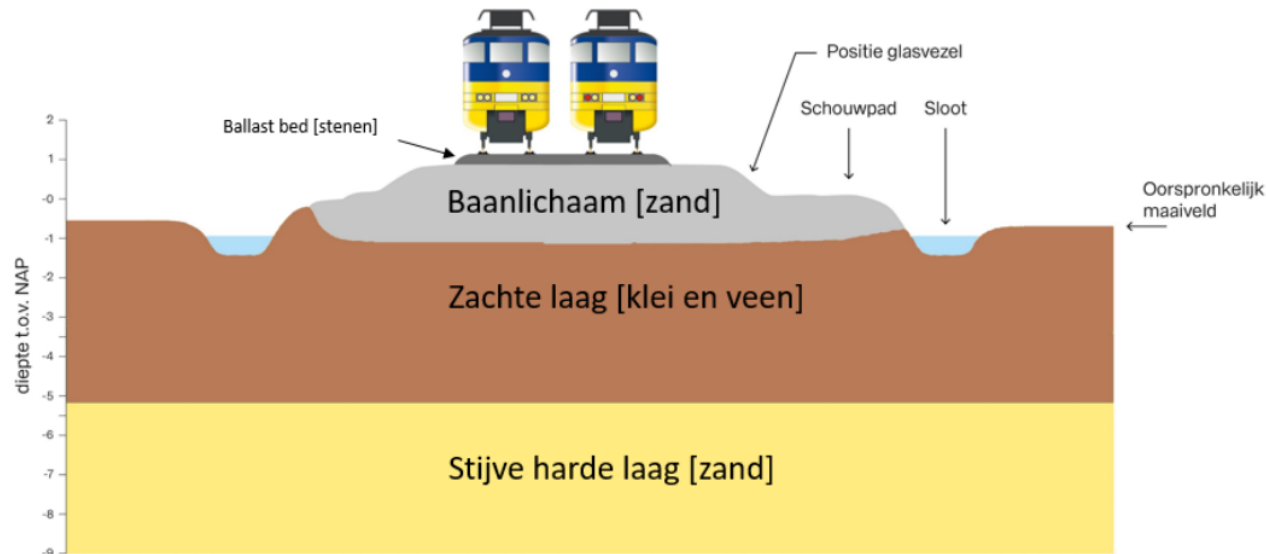


Bestaande waterkeringen kaart



Bestaande glasvezels langs dijk

- Voor welke toepassingen zouden we deze kunnen gebruiken?
Akoestische metingen om
 - Opbouw van het dijklichaam
 - Stijfheid van je dijklichaam (materiaal eigenschappen veranderingen, waterdruk)
 - Graverij
 - Waar zitten ie zandbanen in de ondergrond?



Figuur 1 Overzicht van de positie van de glasvezel, het schouwpad, het ballast bed, baanlichaam, de zachte laag en de stijve harde laag voor een deel van het onderzoeksgebied.



<https://waarnemingen.be/species/375/>

Kunnen we aansluiten bij nieuw aan te leggen glasvezelkabels in dijken?



[De voordelen](#)

[Telecomaanbieders](#)

[Over ons](#)

[Zakelijk Glasvezel](#)



geen postcode opgegeven



Hierbij zou een keuze gemaakt kunnen worden welke type glasvezel en welk type toepassing gemonitord kan worden

Nieuw aan te leggen dijken

Kunnen we bij nieuw aan te leggen dijken de juiste keuze maken van geometrie en type glasvezel?
Kunnen we de dijken uitrusten met multi sense kabels ?

D. Moser et al.

Structures 67 (2024) 106968

Temperatuur, rek, trillingen
en akoestiek in 1 Multi sense kabel

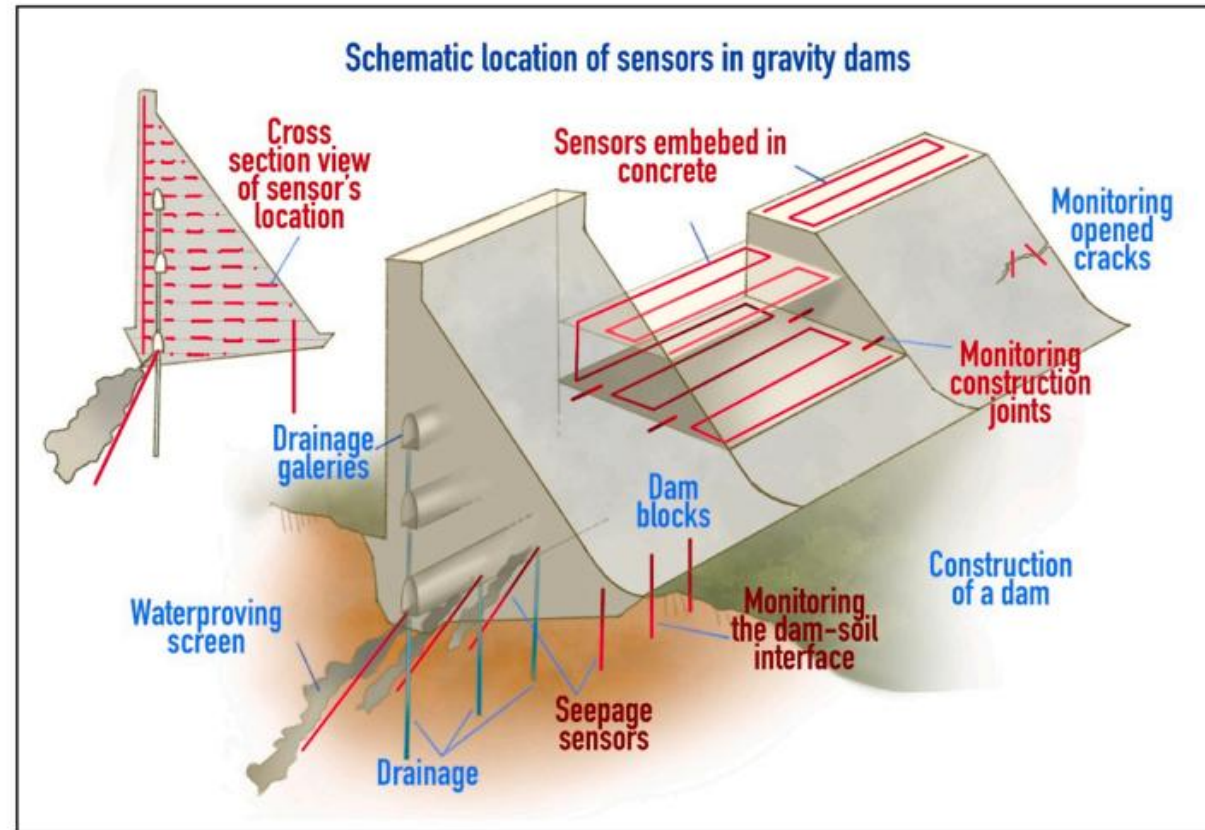
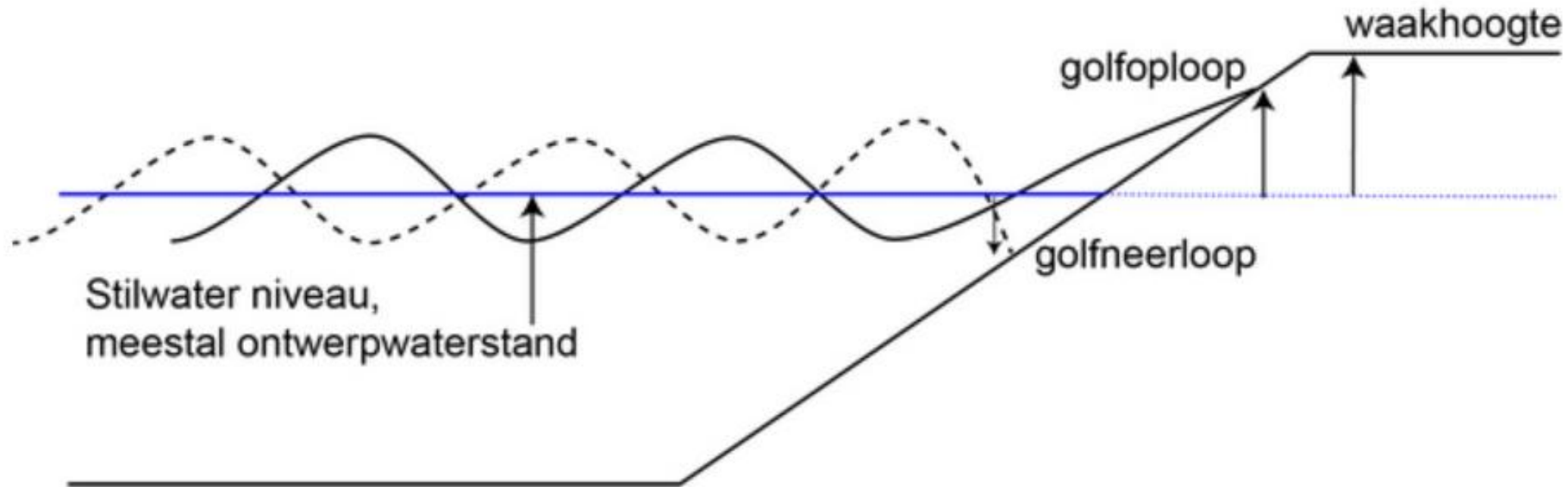


Fig. 6. Schematic location of optic-fiber sensors in gravity dams. The fiber should be distributed in horizontal layers at several levels during the construction of the dam. The distribution of the fiber should follow the longitudinal direction of the dam, close to the borders, but also make sure to cover the interior of the block. Seepage sensors should be installed behind the water-proving screen, and all opened cracks should be monitored.

Golfoploop / belasting

- Makkelijk aan te leggen
- Hoge resolutie in de ruimte en in de tijd



<https://kennis.hunzeenaas.nl/index.php/Id-295f36ec-ef1a-4843-b5a1-0223c2a0e211>

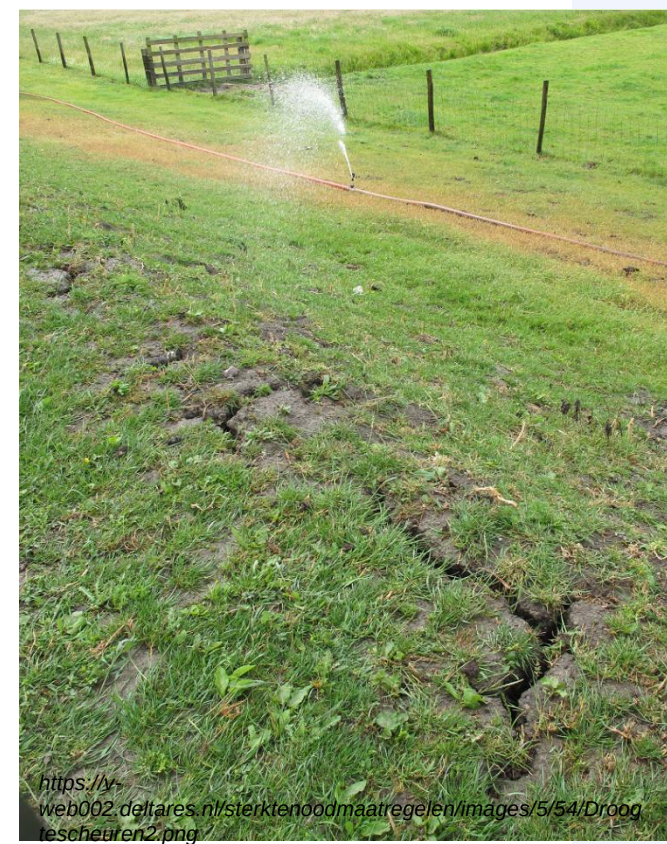
Bodemvochtgehalte monitoring met AH-DTS

Waarom?

Belangrijke component in de water balans

Inzicht te krijgen in scheurvorming

Om inzicht te krijgen sterkte toplaag
erosiebestendigheid vegetatie



Waarom met glasvezel?

Hoge ruimtelijke variatie die moeilijk te meten zijn met punt metingen

