

Data-gedreven methodes in geotechnische applicaties

Aron Noordam, Bruno Zuada Coelho

Deltares





Geopend in 1963

Italy bridge collapse: furious ministers blame highways firm

Ministers attacks Genoa bridge operator Autostrade per l'Italia as accounts of survival emerge



Geopend in 1967



Geopend in 1975

ProRail vergat bodem falende Kamperlijn te onderzoeken

Label: infra 731



STUDIO ALPHEN LIVE RADIO LIVE TELEVISIE TIP DE REDACTIE

NIEUWS | SPORT | KERNEN | TELEVISIE

Doorgaan verdubbeling treinen Leiden - Alphen - Woerden - Utrecht onzeker

ALPHEN AAN DEN RIJN - Het besluit om vier treinen per uur te laten rijden tussen Alphen aan den Rijn en Utrecht (twee Intercity's van Alphen rechtstreeks naar Utrecht en twee stoptreinen - sprinters - van Alphen via Bodegraven en Woerden naar Utrecht) staat op losse schroeven. De kosten blijken maar liefst 175 miljoen euro duurder uit te vallen.

De ondergrond is te instabiel om intercity's op te laten rijden. Dat concludeert ProRail. De spoorwegbeheerder heeft de afgelopen maanden, nadat vorig jaar november werd besloten dat er extra treinen tussen Leiden en Utrecht gaan rijden, onderzoek gedaan naar de grond onder de rails. Sowieso moet er dubbelspoor worden aangelegd bij Bodegraven zodat treinen elkaar kunnen passeren. Dat gaat, zoals begroot, 65 tot 85 miljoen euro kosten.

Komend najaar gaat staatssecretaris Stientje van Veldhoven (D66) een herziend besluit nemen. Wat vast staat is dat de kosten omlaag gebracht moeten worden, zonder dat de veiligheid in het geding komt. Een van de te onderzoeken alternatieven is het laten rijden van vier stoptreinen (sprinters) tussen Leiden en Utrecht in plaats van twee stoptreinen en twee intercity's.

175 miljoen euro duurder

De ondergrond is te instabiel

Algemene werkwijze

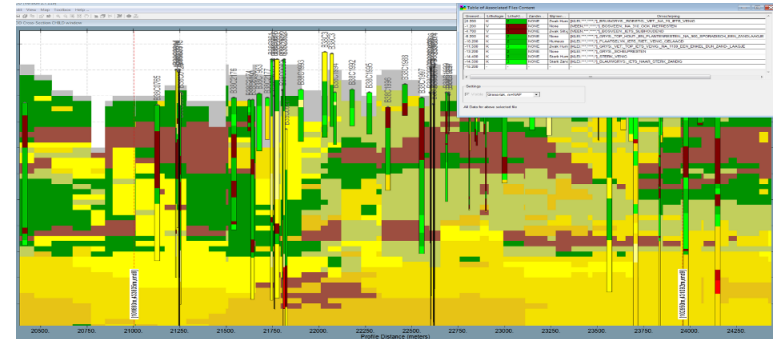
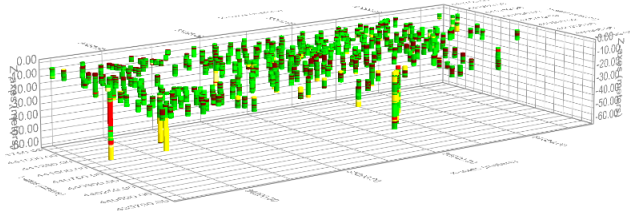
Grondonderzoek
op locatie



Algemene werkwijze

Grondonderzoek
op locatie

Schematiseer de
ondergrond



Algemene werkwijze

Grondonderzoek
op locatie

Schematiseer de
ondergrond

Doe lab-testen



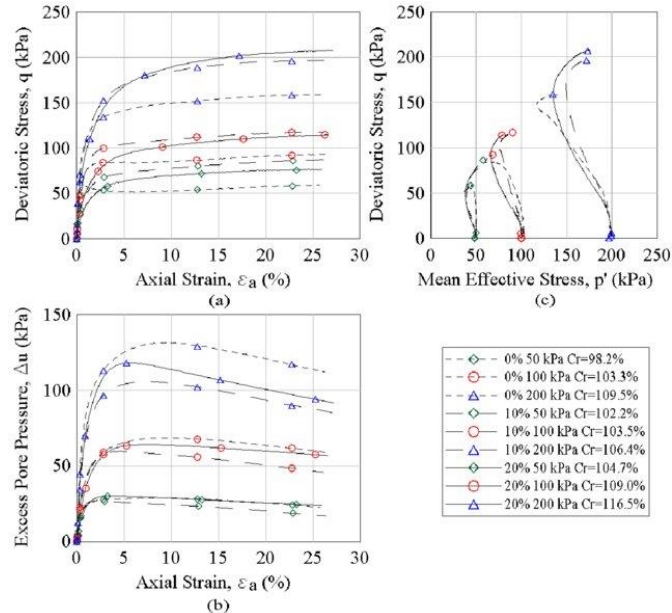
Algemene werkwijze

Grondonderzoek
op locatie

Schematiseer de
ondergrond

Doe lab-testen

Vertaal data naar
parameters



Algemene werkwijze

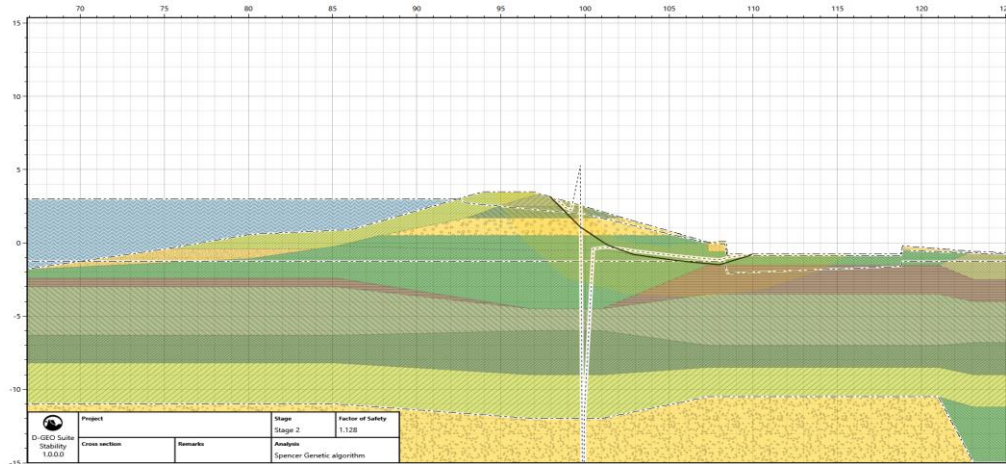
Grondonderzoek
op locatie

Schematiseer de
ondergrond

Doe lab-testen

Vertaal data naar
parameters

Modelleer het
probleem



Algemene werkwijze

Grondonderzoek
op locatie

Schematiseer de
ondergrond

Doe lab-testen

Vertaal data naar
parameters

Modelleer het
probleem

Verkrijg het
resultaat



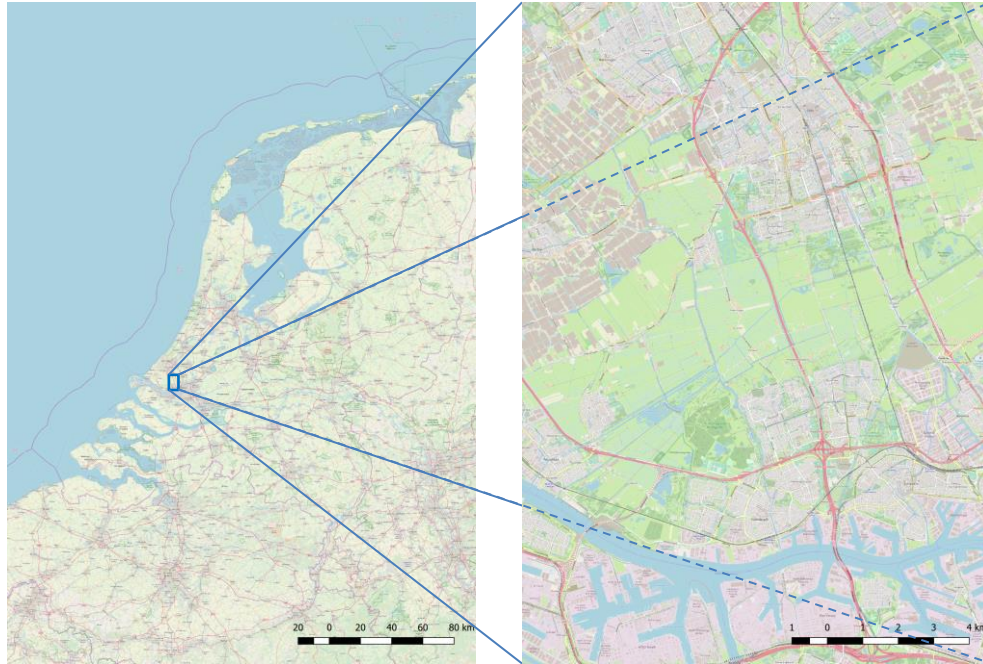
Algemene werkwijze



Machine learning voor weg- deformaties

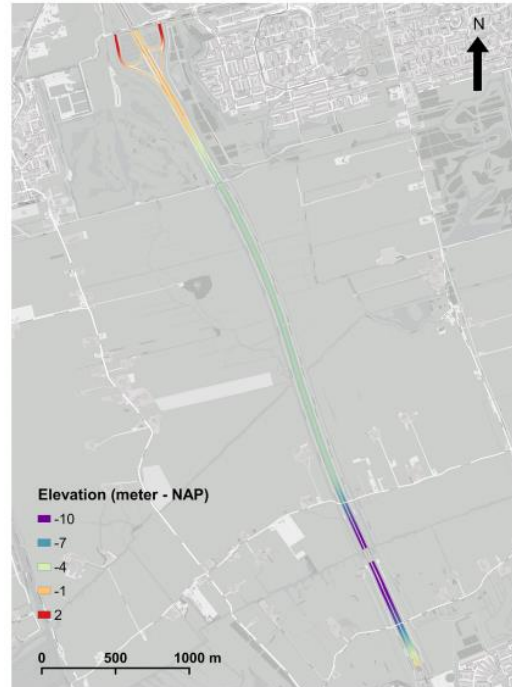
[M. Sajadian Jaghargh, “Spatial and Temporal Analysis of Land Deformation Based on Remote Sensing and Subsurface Exploration”, MSc thesis, TU Delft, 2019.]

Case study A4 tussen Delft en Schiedam



Beschikbare datasets:

- 47 bruikbare CPT's en Boringen
- InSar dataset
- Digital elevation model

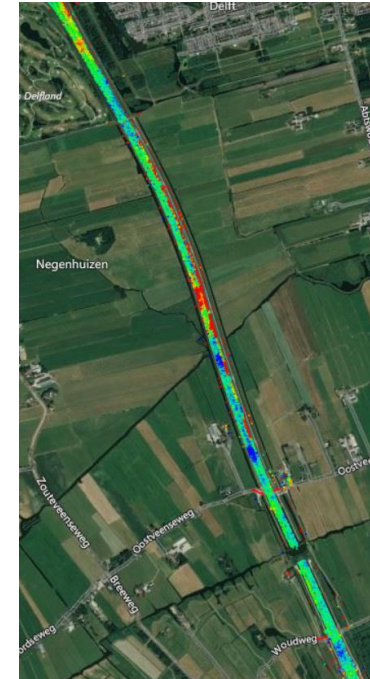
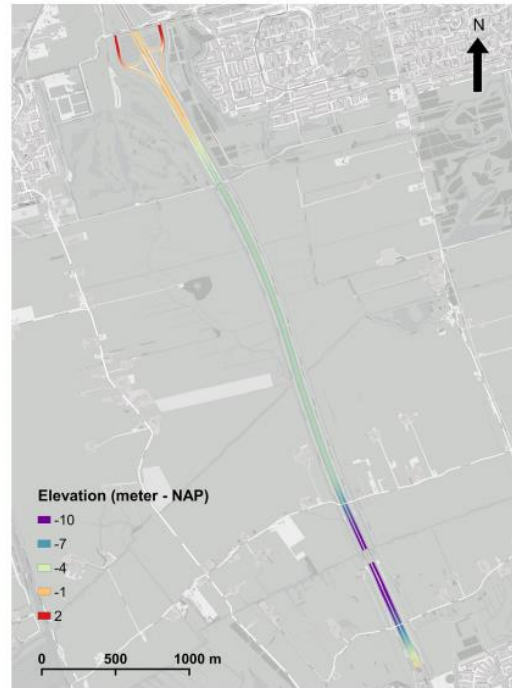


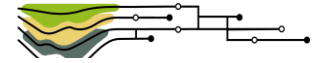
Beschikbare datasets:

- 47 bruikbare CPT's en Boringen
- InSar dataset
- Digital elevation model

Methodes machine learning:

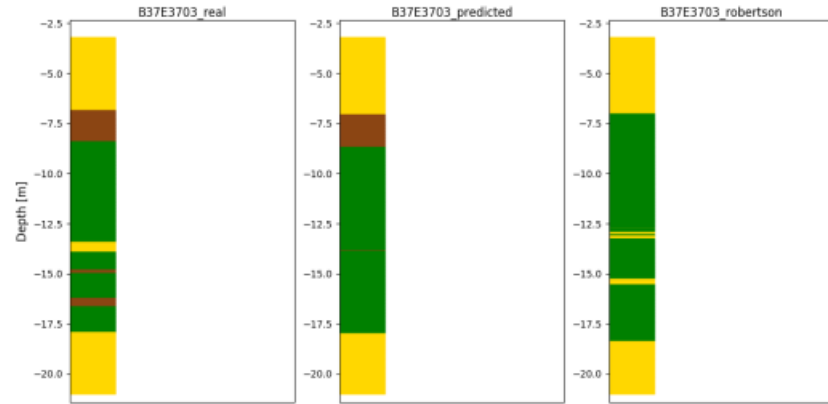
- Kwalitatieve kenmerken
- Kwantitatieve kenmerken





Kwalitatieve kenmerken:

- Bepaling laagindeling
- Bepaling grondverplaatsing



	<i>Correcte predictie Veen [%]</i>	<i>Correcte predictie Klei [%]</i>	<i>Correcte predictie Zand/silt/grind [%]</i>
<i>Machine learning (SVM)</i>	51	83	82
<i>Robertson</i>	36	78	80

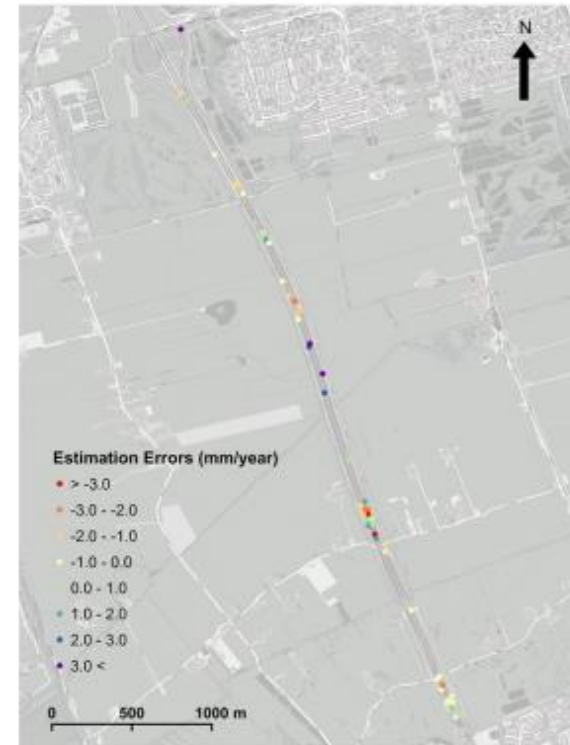
Kwantitatieve kenmerken:

- Conusweerstand q_c , wrijvingsgetal R_f
- Mediaan
- Standaard deviatie
- Mate van heterogeniteit
- Contrast met aanliggende lagen



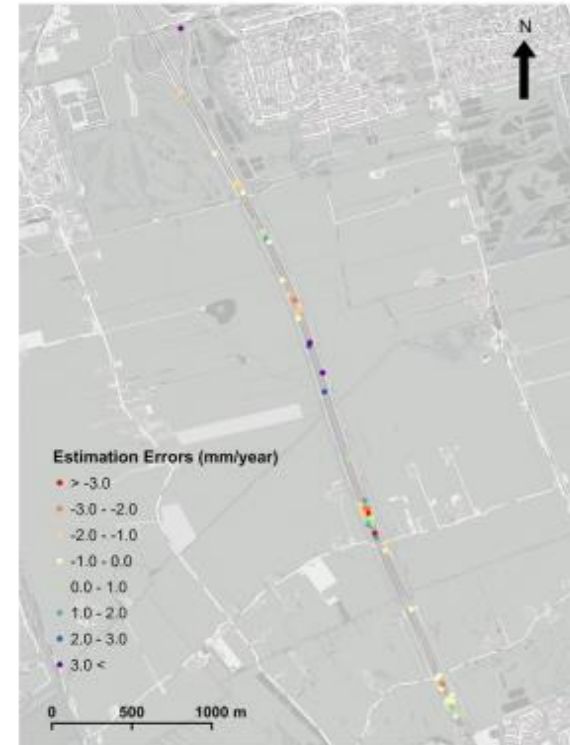
Resultaten:

- Beste resultaat met kwalitatieve kenmerken
- Gemiddelde fout van 1.1 mm/jaar
- R^2 van 0.5



Resultaten:

- Beste resultaat met kwalitatieve kenmerken
- Gemiddelde fout van 1.1 mm/jaar
- R^2 van 0.5
- Complexiteit te hoog
- Meer data benodigd dan initieel gedacht



Multi-sensor Data-Fusion

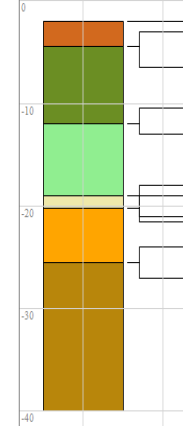
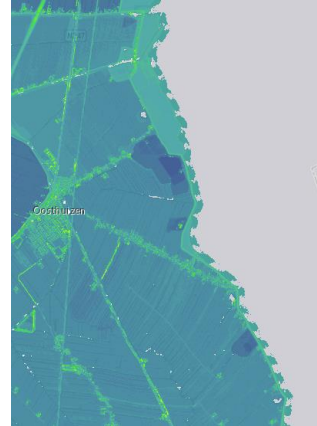
[Noordam *et al.*, “Data-fusion in geotechnical applications”, in 3rd ICITG, Guimarães, Portugal, 2019]

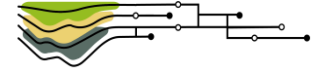
Case study Markermeerdijk



Beschikbare datasets:

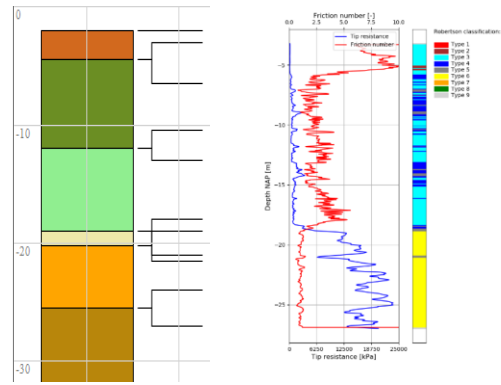
- 40 CPT's
- InSar dataset tussen april 1992 en oktober 2010
- Lidar datasets (tussen 2011 en 2016)
- 12 stochastische ondergrond scenario's





Bepaling van de ondergrond laagindeling

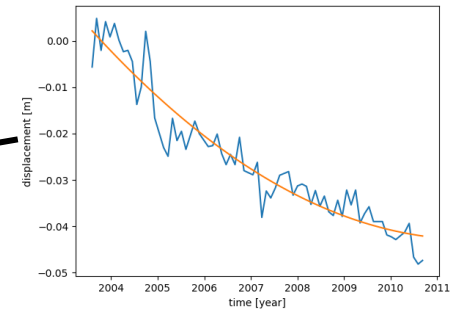
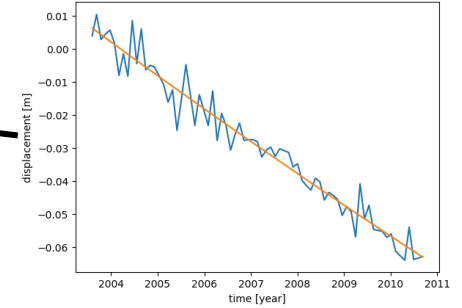
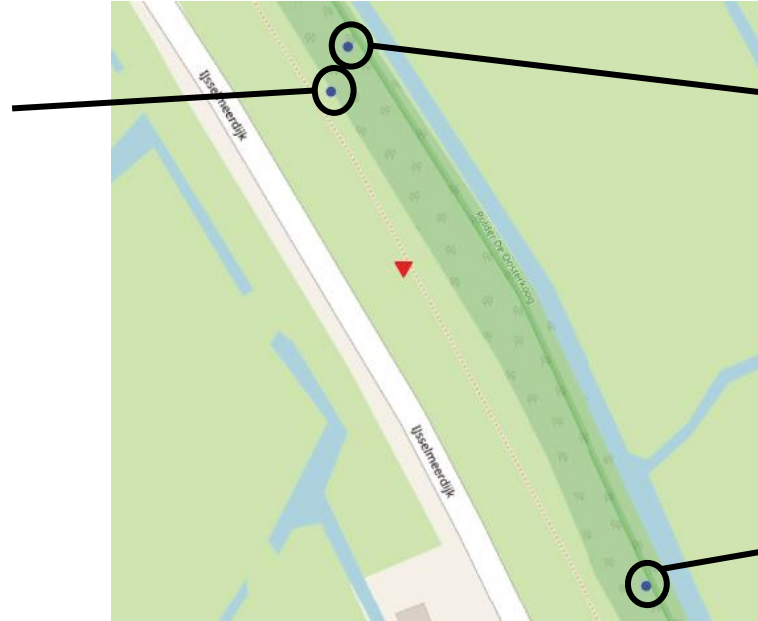
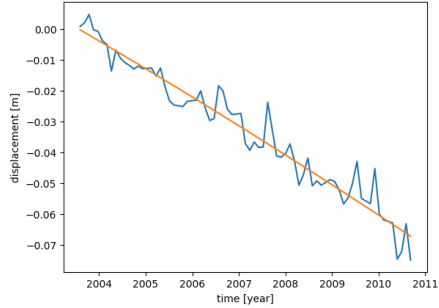
- Verkrijg het best passende ondergrond scenario voor alle CPT's



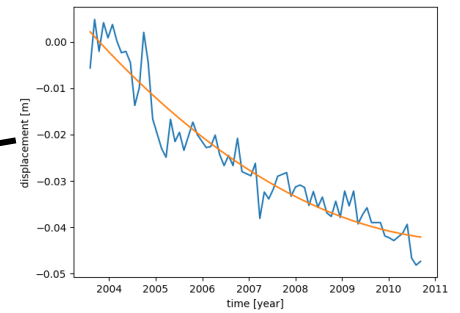
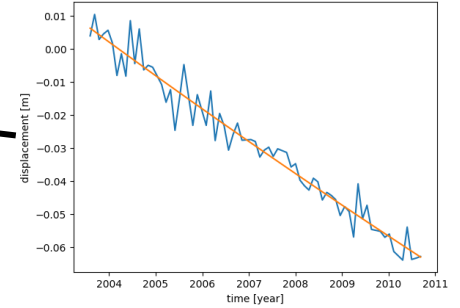
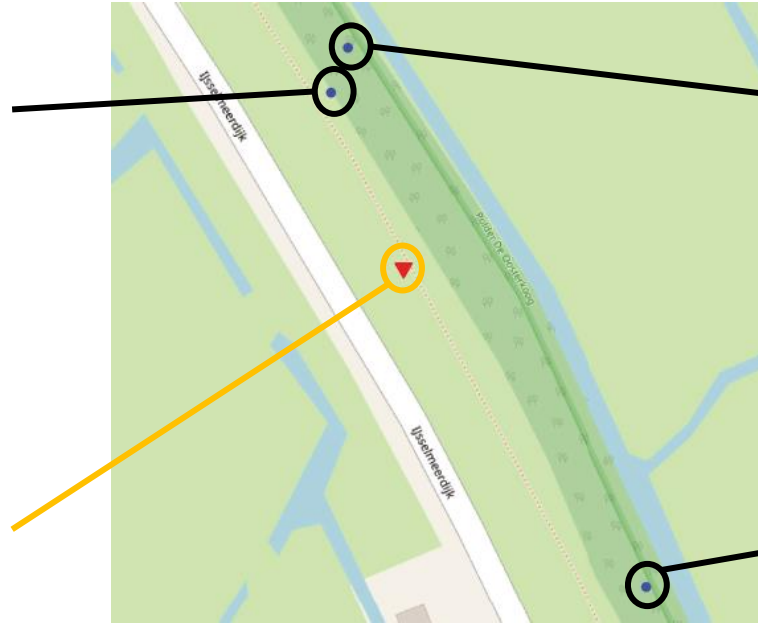
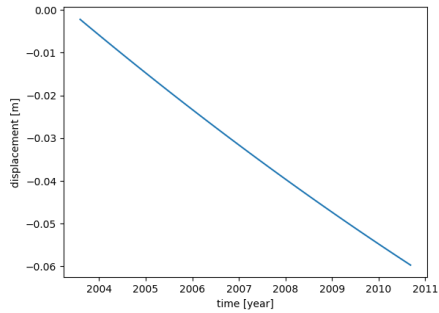
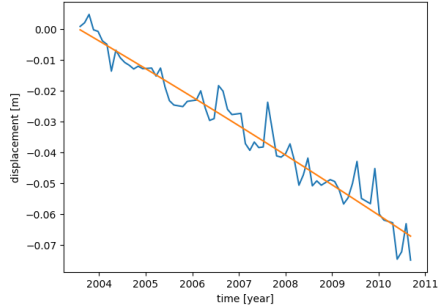
Bepaling van de zettingen op de CPT locaties



Bepaling van de zettingen op de CPT locaties

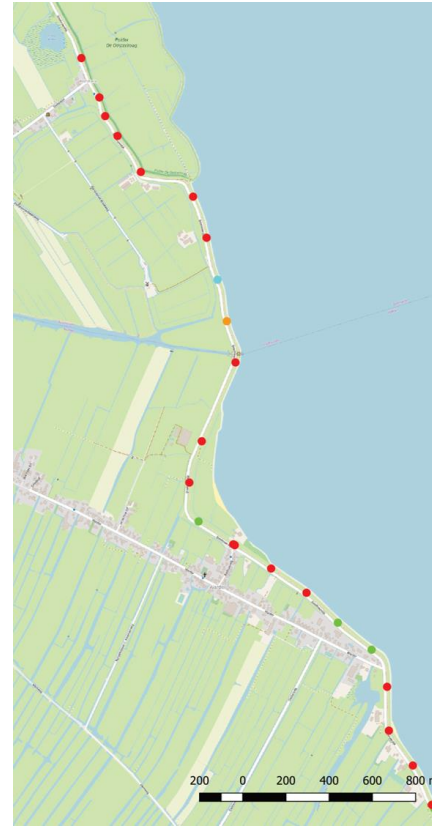
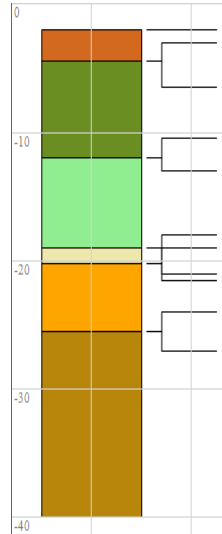
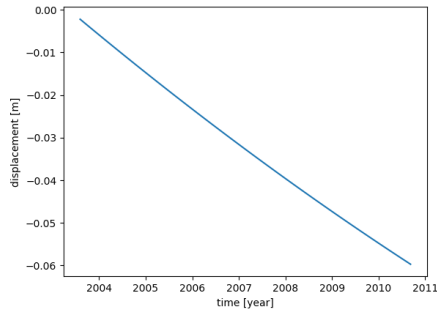


Bepaling van de zettingen op de CPT locaties



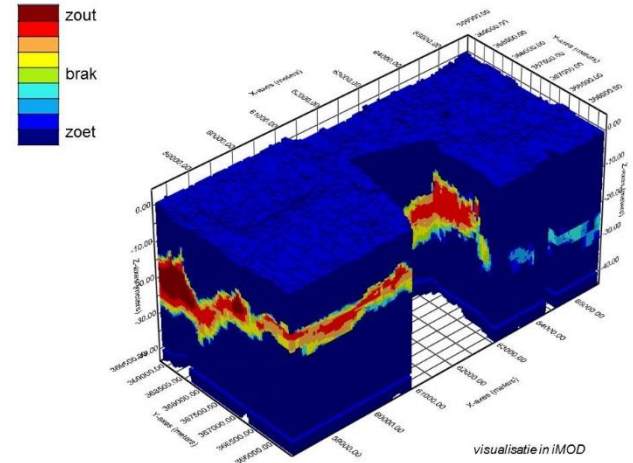
Bepaling van de ondergrond laagindeling

- Relatie zetting laagindeling
- Interpoleer zettingen over heel traject
- Gebruik relatie voor bepaling laagindeling



Vervolgstappen

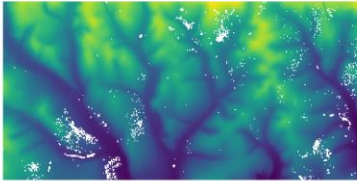
- Combineren met elektromagnetische data



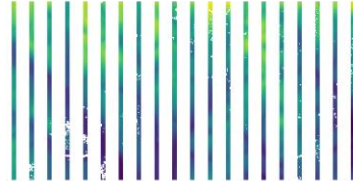
Vervolgstappen

- Combineren met elektromagnetische data
- Gebruiken van betere interpolatietechnieken

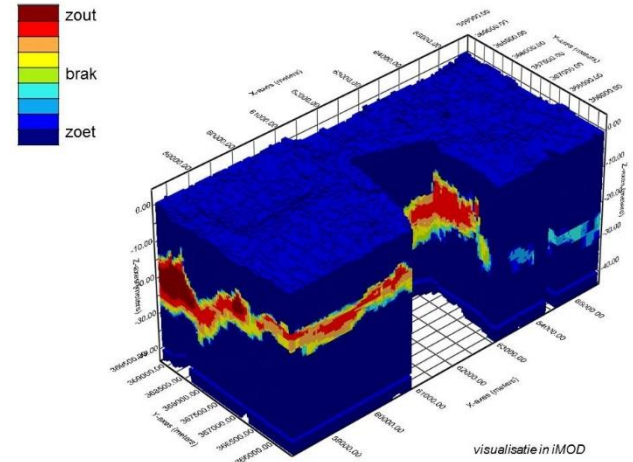
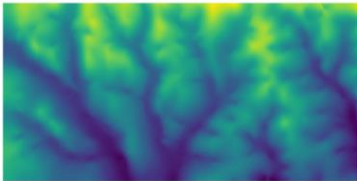
werkelijk



invoer



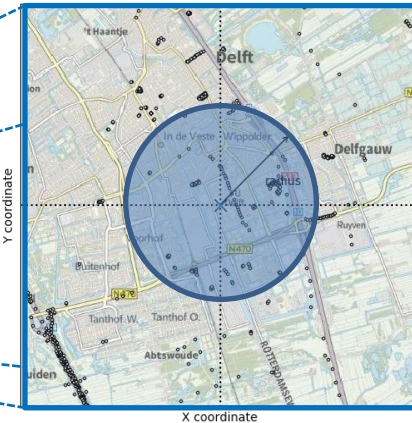
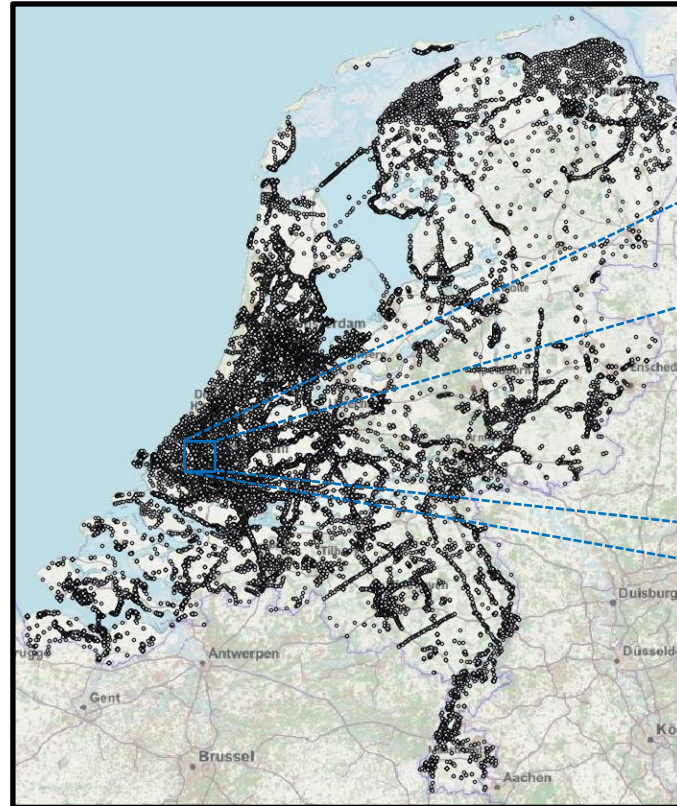
geïnterpoleerd



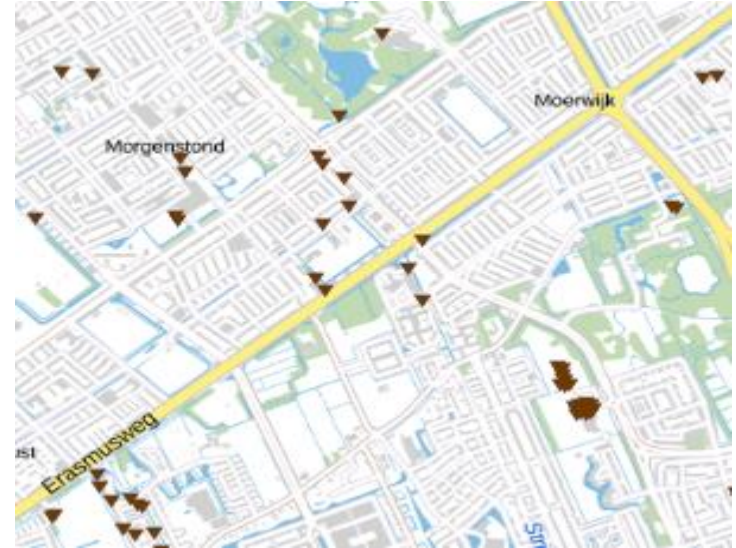
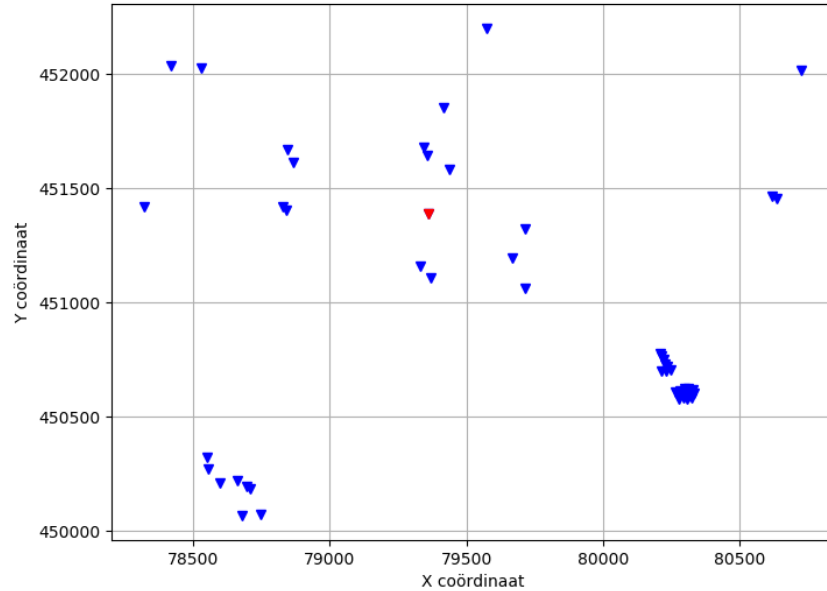
Geostatistiek met BRO data

Wet Basisregistratie Ondergrond (BRO)

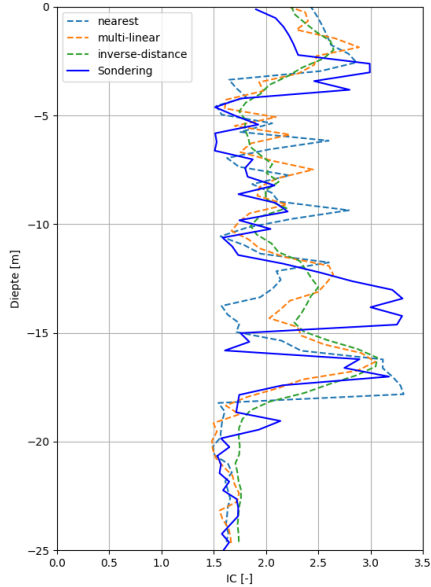
- Aanleverplicht
- Afneemplicht
- grondwatermonitoringsput
- sondeeronderzoek
- boringen



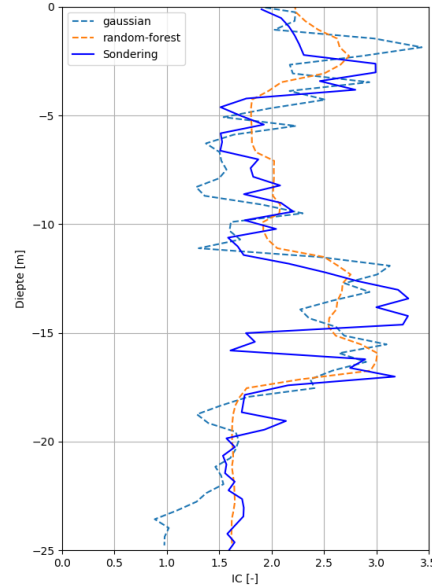
Case study Den Haag



Interpolatietechnieken



Op basis van afstand



Op basis van geostatistiek

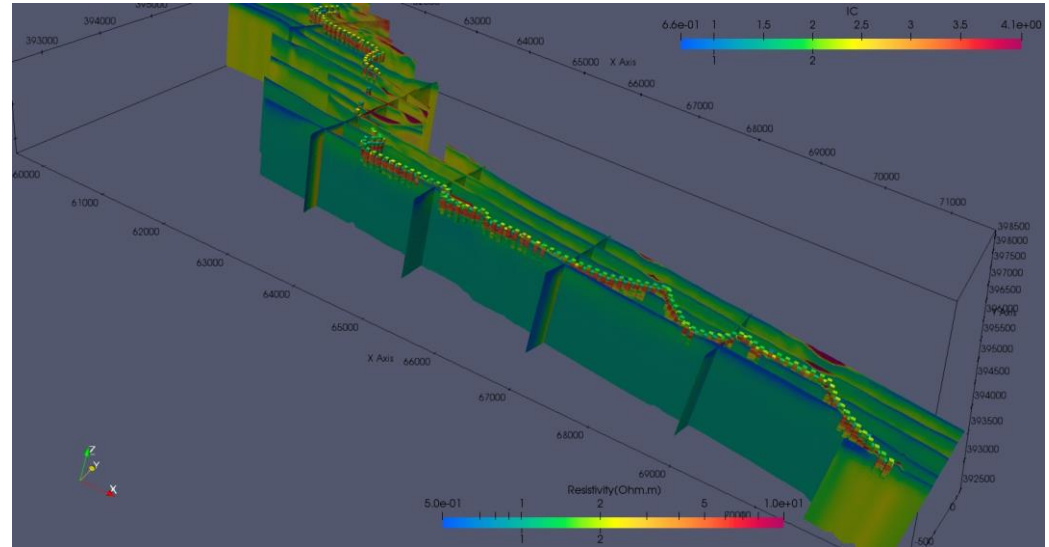
	methode	rmse
Afstand	Nearest	0.57
	Multi-linear	0.44
	Inverse-distance	0.41
Geostatistiek	Gaussian	0.51
	Random-forest	0.37

Vervolgstappen

- B-spline
- Support vector regression
- Kriging variaties

Vervolgstappen

- B-spline
- Support vector regression
- Kriging variaties
- Fusion met elektromagnetische data



Samenvatting

- Machine learning is gebruikt voor het voorspellen van bodemverplaatsingen
- Data-fusion is gebruikt om continue laagindeling te bepalen
- Geostatistiek met BRO data is gebruikt om een beter beeld van de ondergrond te krijgen

Vereist aandacht

- Data kwaliteit
- Data management

Bedankt voor de aandacht

Aron Noordam, aron.noordam@deltares.nl

Data-gedreven methodes in geotechnische applicaties