



# Voorwoord

Deze voortgangsrapportage geeft aan hoe ver Deltares is met het onderzoek naar schade aan woningen langs het Kanaal Almelo – De Haandrik. Het laat de aanpak zien en geeft uitleg waarom deze aanpak is gekozen. Het document geeft een inkijk in het uitgevoerde onderzoek aan de panden en het grond- en laboratorium onderzoek. Ook gaan we in op de vraag hoe het onderzoek verder zal verlopen en welke resultaten de bewoners kunnen verwachten. Conclusies kunnen er op dit moment nog niet getrokken worden. Daar is het simpelweg nog te vroeg voor. Het verdiepingsonderzoek is gestart in april 2021 en kent de nodige tijdsdruk. In september zijn de resultaten bekend en worden dan openbaar gemaakt.

Delft, 14 juli 2021



Figuur 1 Bezoek op 18 mei 2021 van Deltares experts aan het gebied Kanaal Almelo – De Haandrik.

# Inhoud

## Voorwoord

2

---

### Aanpak onderzoek 4

- 1.1 Wat is de vraag? 5
- 1.2 Analyse op pandniveau 5
- 1.3 Informatie uit verschillende invalshoeken 6
- 1.4 Wie voert het onderzoek uit? 7
- 1.5 Onafhankelijke begeleidingscommissie en adviseurs 7
- 1.6 Onderzoeksteam Deltares 8

---

### Grondonderzoek 12

- 3.1 Geologische achtergrond 13
- 3.2 Boringen en sonderingen 13
- 3.3 Peilbuizen en waterdrukmeters 14
- 3.4 Piping-kolomproeven 15

---

### Onderzoek panden 9

- 2.1 Inleiding 10
- 2.2 Inspectie van de panden 10
- 2.3 Handboringen rondom panden 10
- 2.4 Funderingsonderzoek 11
- 2.5 Historische satelliet metingen 11

---

### Voortgang van het onderzoek 16

- 4.1 Pand onderzoek en grondonderzoek 17
- 4.2 Grondwater meetnet 17
- 4.3 Hoe gaat het onderzoek verder? 17
- 4.4 Eindrapport 18



# 1 Aanpak onderzoek





## 1.1 | Wat is de vraag?

Voor de aanleg van Kanaal Almelo de Haandrik rond 1850 bestond het gebied uit een landschap met stuwwallen, dekzandkoppen en beekdalen met daartussen een kussen van hoogveen met een dikte van zo'n 2 meter. Bij het graven van het kanaal is het veen waarschijnlijk weggevoerd en het onderliggende zand gebruikt om de kades op te hogen. Het omringende land is vervolgens ontgonnen waardoor de kade nog grotendeels uit veen bestaat. In de (vroeg) 20ste eeuw zijn langs het kanaal veel huizen gebouwd aan de landzijde van de kade. Het gebied heeft zich daarna verder ontwikkeld.

Tussen 2011 en 2016 heeft de provincie Overijssel het Kanaal Almelo – De Haandrik geschikt gemaakt voor grotere schepen. Omwonenden hebben aangegeven dat er sinds de uitvoering van deze werkzaamheden schade aan hun woningen en percelen is opgetreden. Deltares heeft op verzoek van de provincie in 2019 en 2020 een gebiedsbreed onderzoek gedaan naar het oorzakelijk verband tussen de schades en de werkzaamheden aan het kanaal. Dit onderzoek leverde een gemengd beeld op over waar er een verband is tussen schades en de werkzaamheden aan het kanaal en waar het onzeker is of er een verband is. Het rapport ging niet in op de schademechanismen per pand. In de tussentijd heeft prof. Van Baars, op eigen initiatief, in twee rapporten<sup>2</sup> de mogelijke oorzaken van de schade geanalyseerd. Door het ontbreken van een duidelijke uitspraak over de oorzaak (of oorzaken) van de schade per pand is het toekomstperspectief voor bewoners en eigenaren onzeker.

Om de geschetste redenen heeft de provincie aan Deltares gevraagd een verdiepend onderzoek te doen en de verschillende mogelijke schade-oorzaken te analyseren. Het onderzoeksteam van Deltares zet al haar expertise en onderzoeksmiddelen in om

antwoorden te vinden op de onderzoeksvragen. Een onafhankelijke commissie begeleidt het onderzoek en neemt daarin de input mee van twee adviseurs, waaronder de eerder genoemde prof. Van Baars.

Het doel van het onderzoek en de wens van de provincie is om de getroffen bewoners duidelijkheid te kunnen geven over technische schade-oorzaken en hen perspectief te bieden. Om de schade-oorzaak boven water te krijgen, doet Deltares onderzoek bij 20 geselecteerde panden. Deze integrale onderzoeksvraag valt uiteen in vier onderdelen:

1. Onderzoek of piping<sup>3</sup> een verklarend faalmechanisme<sup>4</sup> is voor de schade aan de panden in het gebied.
2. Beschrijf welke rol de aanwezigheid van veen kan spelen bij het ontstaan van schade en onderzoek of er veen aanwezig is onder een aantal specifieke panden. Zijn er ook andere elementen in de samenstelling van de bodem die tot inklinking en schade kunnen leiden?
3. Indien piping en veen de schades niet kunnen verklaren, onderzoek dan welke andere oorzaken een verklaring kunnen geven voor de schade aan de panden.
4. Ga na of het verlagen van het kanaalpeil als mogelijke (tijdelijke) oplossing effectief is tegen piping en welke consequenties dat met zich meebrengt.

## 1.2 | Analyse op pandniveau

Projecten uitvoeren op of in de Nederlandse ondergrond is niet zonder risico. Kennis over de opbouw van de ondergrond, het grond- en oppervlaktewater, de eigenschappen van de ondergrond en oude en bestaande objecten zijn allemaal van belang om de risico's goed in te schatten. Om de schade-oorzaak te achterhalen



Figuur 2 Historische ontwikkeling van het gebied, voorbeeld van Vroomshoop en omgeving. Boven de situatie in 1900, onder in 1990. Bron: Kadaster.

<sup>1</sup> Gebiedsbreed schade onderzoek aan panden Almelo de Haandrik kanaal (maart 2020)

<sup>2</sup> Onafhankelijk Onderzoek Funderingsschade rondom Kanaal Almelo De Haandrik (januari 2021) en Schade-oorzaken rondom kanaal Almelo – de Haandrik (februari 2021)

<sup>3</sup> Piping is een faalmechanisme waarbij de waterstroom in de ondergrond zo sterk is en andere omstandigheden zodanig zijn dat zandkorrels kunnen worden weggespoeld.

<sup>4</sup> Faalmechanisme is een opeenvolging van gebeurtenissen die leidt tot falen. In de geotechniek wordt dit gebruikt als definitie van een bepaald gedrag van de ondergrond dat leidt tot bezwijken met als gevolg schade.

<sup>5</sup> Geohydrologie is een toegepaste wetenschap die zich bezighoudt met de bestudering van de stroming van water in de ondergrond.

zal het onderzoeksteam op al deze punten een antwoord moeten geven. Al met al een complexe puzzel voor het gebied langs Kanaal Almelo-De Haandrik. Het gebied heeft een sterk wisselend geologisch en geohydrologisch<sup>5</sup> karakter waarin over de afgelopen eeuwen veel menselijke ingrepen zijn gepleegd. De baggerwerkzaamheden zijn jaren geleden uitgevoerd en er is weinig gedocumenteerd. De panden zijn over het algemeen aangelegd in de vorige eeuw en voor veel panden geldt dat er geen tekeningen zijn van de funderingen en informatie ontbreekt over hoe de grondopbouw er onder de panden uitziet.

Om de schade-oorzaak te achterhalen wordt nu dus niet gebiedsbreed gekeken, zoals dat in het eerdere onderzoek werd gedaan, maar focust Deltares zich op 20 panden. In dit onderzoek wordt dus juist heel lokaal gekeken. Hiervoor zijn pandinspecties gedaan om de staat aan het pand te analyseren. Rondom de panden zijn handboringen uitgevoerd om onder andere de bodemopbouw en het grondwaterpeil te bepalen. Zo nodig is een inspectieput gegraven, zodat zichtbaar is hoe de fundering eruit ziet en tot welke diepte deze reikt. In dwarsprofielen wordt het verloop van de bodemopbouw nauwkeurig in beeld gebracht en worden berekeningen gemaakt aan grondwaterstanden in verschillende omstandigheden.

De verwachting is dat er voor de onderzochte panden redelijkerwijs een uitspraak over schade-oorzaak (of schade-oorzaken) kan worden gedaan en hoe deze schade zich, naar verwachting, in de toekomst zal ontwikkelen. Het is op voorhand echter niet te zeggen of dit voldoende is om meer gebiedsbrede uitspraken te doen. Het is nu eenmaal niet mogelijk om, binnen de gestelde tijd en middelen, voor ieder pand met schade langs het kanaal een dergelijk uitgebreid en gedetailleerd onderzoek te doen.

### 1.3 | Informatie uit verschillende invalshoeken

Sinds de start van dit onderzoek is al heel veel informatie verzameld. De zoektocht naar de oorzaak van de schade aan de panden is een complex samenspel waarvan de volgende elementen in beeld worden gebracht:

- De lokale condities zoals maaiveldhoogte, afstand tot kanaal, werkzaamheden aan het kanaal en damwanden.
- De constructie van het pand en de fundering van het pand.
- De ondergrond die aanwezig is onder de fundering en rondom het pand.
- De grondwaterstanden en grondwaterstroming.
- De mogelijkheid dat piping is opgetreden. Dit mechanisme werd in de recente rapporten van prof. Van Baars aangewezen als mogelijke oorzaak.
- Vervormingen van panden, wegen en erven in het verleden.

Natuurlijk is de opdracht dat er antwoord moet komen op de vragen over piping en veen als oorzaak van de schade, maar het is belangrijk om een open vizier te houden voor andere mogelijke oorzaken. Daarom is informatie uit verschillende invalshoeken verzameld en is het onderzoeksteam kritisch bevraagd door de begeleidingscommissie om zo een tunnelvisie te voorkomen. Ook de historische gegevens over de aanleg van het kanaal, het ontstaan van de bebouwing en de ontginning van het gebied zijn bestudeerd. Daarnaast zijn de nieuwste technieken, zoals metingen van vervormingen met satellieten, ingezet voor gebiedsbrede analyse van de situatie. De verzamelde gegevens worden gebruikt om rekenmodellen te voeden en te ijken. Hiermee worden verschillende situaties die in het verleden kunnen zijn opgetreden doorgerekend op hun effecten, ook als er uit het verleden geen metingen zijn.





## 1.4 | Wie voert het onderzoek uit?

Er is sprake van een groot en breed ingestoken onderzoek met inzet van de best mogelijke kennis en expertise. Deltares voert het onderzoek uit en werkt hierin samen met TNO voor de constructieve aspecten, zoals gevels, vloeren, dak, kelder en bouwkundige staat van het pand. Voor het verzamelen van gegevens zijn andere partijen betrokken:

- Fugro voor het grondonderzoek,
- Wiertsema & Partners voor het laboratoriumonderzoek,
- VWB Bodem voor de handboringen rondom de panden,
- Bureau Vermeer voor pandopnamen en metingen aan panden,
- SkyGeo voor analyse van de historische satellietbeelden en
- GEOxyz voor metingen aan de onderwaterbodem van het kanaal.

Kwaliteit en onafhankelijkheid vindt Deltares belangrijk. Om dit te waarborgen bestaat het Deltares onderzoeksteam voor een deel uit onderzoekers die niet eerder bij het onderzoek betrokken zijn geweest en wel over de juiste expertise beschikken om antwoord te geven op de vragen. Tijdens het project wordt de kwaliteit van het onderzoek op verschillende momenten intern gecontroleerd door andere experts. Hiermee wordt erop toegezien dat het onderzoeksresultaat voldoet aan het kwaliteitsniveau dat van Deltares mag worden verwacht.

Nu, en in de toekomst, veilig en duurzaam leven is waar we als onafhankelijk kennisinstituut Deltares aan werken vanuit onze brede en diepgaande kennis over water en ondergrond. Wereldwijd werken we daarin aan slimme innovaties, oplossingen en toepassingen voor de complexe en urgente maatschappelijke uitdagingen. Deltares stelt hoge eisen aan de kwaliteit van de kennis en de adviezen. Dat doen we samen met overheden, bedrijfsleven en kennisinstellingen. Daarnaast hechten wij aan openheid en transparantie. Bij Deltares werken 850 medewerkers met 42 verschillende nationaliteiten.

## 1.5 | Onafhankelijke begeleidingscommissie en adviseurs

Om de onafhankelijkheid te waarborgen heeft de provincie een externe begeleidingscommissie samengesteld. De leden, die geselecteerd zijn op hun deskundigheid, kijken kritisch naar de inhoud en de aanpak en zien er op toe dat er geen aspecten over het hoofd worden gezien. Deze commissie wordt geadviseerd door Prof. dr. ir. S. (Stefan) van Baars en Prof. dr. ir. M. (Matthijs) Kok. De provincie legt de bevindingen van het onderzoek voor aan de begeleidingscommissie en aan de adviseurs die daarover hun mening en advies geven.

De onafhankelijke begeleidingscommissie bestaat uit:

- Prof. dr. ir. S.N. (Bas) Jonkman, hoogleraar Waterbouwkunde aan de TU Delft
- Ir. C. (Kees) Maas, geohydroloog
- Em. prof. ir. J. (Jan) Maertens, emeritus hoofddocent Grondmechanica aan de KU Leuven
- Dr. ir. J.J. (Jetse) Stoorvogel, universitair hoofddocent Bodem – Landgebruik aan de WUR
- Em. prof. drs. ir. J.H. (Han) Vrijling, emeritus hoogleraar Waterbouwkunde aan de TU Delft



## 1.6 | Onderzoeksteam Deltares

Bij het project zijn vele experts van binnen en buiten Deltares betrokken. De kern van het Deltares onderzoeksteam bestaat uit de volgende sleutelpersonen.



Em. prof. ir. Frits van Tol, emeritus hoogleraar Grondmechanica en Funderingstechniek aan de TU Delft. Funderingsexpert met 46 jaar ervaring in funderingstechniek en ondergronds bouwen in Nederland. Getuige-deskundige in talrijke rechtszaken, arbiter bij de Raad van Arbitrage voor de Bouw, expert in diverse second opinion- en audit commissies.



Dr. Vera van Beek, gepromoveerd op het proefschrift *'Backward erosion piping: Initiation and progression'*. Senior expert met 16 jaar internationale ervaring met dijkenbouw in het algemeen en piping en interne erosie in het bijzonder.



Ir. Toine Vergroesen, hydroloog. Senior expert met 33 jaar internationale ervaring op het gebied van hydrologische en hydrogeologische studies in stedelijk en landelijk gebied en meetnetten. Gespecialiseerd in geïntegreerde oppervlaktewater en grondwater studies, zowel met modellen als met metingen.



Dr. Ane Wiersma, geoloog. Senior expert met ruime kennis van de Nederlandse ondergrond en 19 jaar internationale ervaring op het gebied van sediment geologie, interpretatie van grondonderzoek en grondwatermodellering. Secretaris van de Nederlandse werkgroep van de International Association of Hydrogeologists.



Dr. Cor Zwanenburg, gepromoveerd op het proefschrift *'Consolidation behaviour of peat'*. Senior expert met 26 jaar internationale ervaring over het gedrag van veen en bodemdaling. Voorzitter van de internationale commissie *'Geotechnical Aspects of Dykes, Levees and Shore Protection'*.



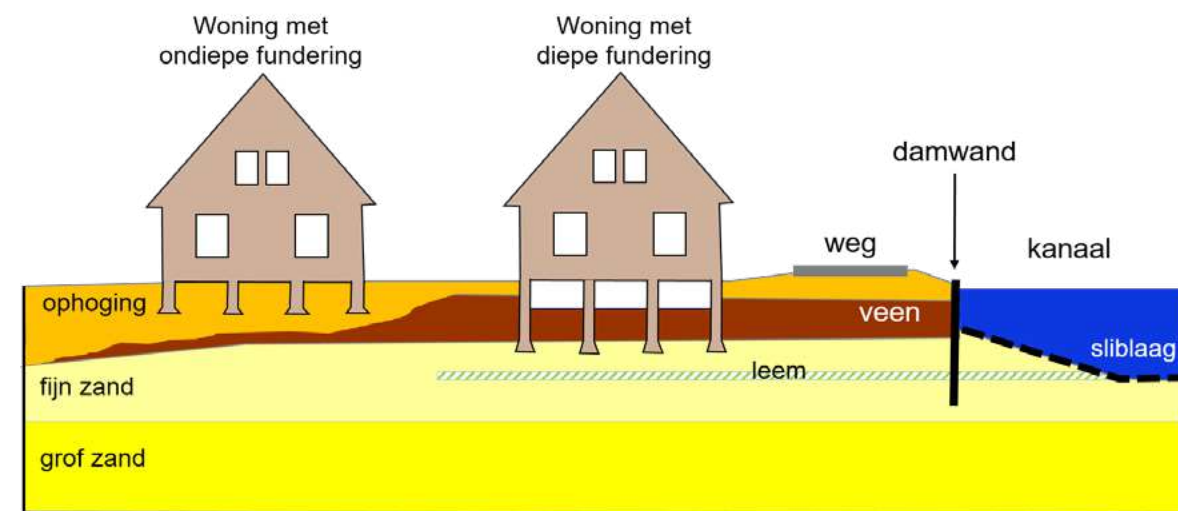
## 2 Onderzoek Panden





## 2.1 | Inleiding

In de (vroeg) 20ste eeuw zijn langs het kanaal veel huizen gebouwd aan de landzijde van de kade. Een deel van de woningen is in de loop van de tijd uitgebreid. In het gebied zijn verschillende bouwwijzen toegepast. Een belangrijke vraag is hoe de huizen zijn gefundeerd en op welke type grond de fundering rust. In de figuur rechts is voor de aanleg van de fundering van de woning (met kelder) het veen weggegraven en de fundering diep aangelegd tot op het zandpakket. In deze situatie is daardoor weinig zakking te verwachten zolang het maximale draagvermogen van het zand niet wordt overschreden door het gewicht van het huis. Bij een ondiepe fundering met bijvoorbeeld veen onder het aanlegniveau (figuur links) is de kans op zakkingen beduidend groter. Met name ongelijke zakkingen van de fundering kunnen leiden tot scheuren in de gevel van de woning.



**Figuur 3** Schematische doorsnede van de opbouw van de ondergrond en fundering van woningen met verschillende grondopbouw en bouwwijze. De figuur is ter illustratie, lokaal kan de situatie afwijken.

Om de oorzaak van schade vast te stellen is het essentieel om te weten of deze door verschillen in zakking van de fundering zijn ontstaan, bijvoorbeeld als gevolg van zetting van samendrukbare grond zoals veen. Ook is het mogelijk dat de schade het gevolg zijn van trillingen, bijvoorbeeld tijdens het installeren van damwanden of ankers. Ook bouwkundige oorzaken kunnen een rol spelen. Onder bouwkundige oorzaken zijn tal van processen denkbaar zoals scheuren door krimp van bouwmaterialen, doorbuiging (bijvoorbeeld van lateien), corrosie van stalen bouwelementen, inwerking van vocht en temperatuur, veroudering van de fundering en realisatie van aanbouwen in het verleden.

Deze stap van het onderzoek is daarom gericht op het onderzoeken van de technische staat van de panden en de funderingen in relatie tot de ondergrond en de waterhuishouding. Er is hiervoor een selectie gemaakt van 20 panden. Een deel zijn panden met veel schade die zijn aangedragen door de provincie. Een ander deel wordt genoemd in de rapporten van prof. Van Baars.

## 2.2 | Inspectie van de panden

Bij alle panden is eerst een dossierstudie uitgevoerd, waarbij zoveel mogelijk (historische) informatie over de panden is verzameld en beoordeeld. Hierin zijn, bij toestemming van de bewoners, ook eerdere opnamen van schade door bouwkundige bureaus opgenomen. Het dossier vormt de basis voor het onderzoek per pand waarin deskundigen van Deltares en TNO de constructie en, indien aanwezig en toegankelijk, de kruipruimte van de panden hebben geïnspecteerd.

Uitgangspunt voor het onderzoek naar andere schade oorzaken is de volgende indeling:

- Schade door ongelijke zakkingen
- Schade door trillingen
- Overige bouwkundige schade

Per pand wordt vastgesteld of er sprake is van schade als gevolg van zakkingsverschillen of schade die niet het gevolg is van zakkingsverschillen. Verder zal zo goed mogelijk worden vastgesteld of het gaat om oude of doorgaande verzakkingen. In totaal zijn tot begin juli 17 pandinspecties uitgevoerd. De vaststelling van deze drie categorieën zal na de pandinspectie worden gedaan in samenhang met de resultaten van andere delen van het onderzoek.

<sup>6</sup> Zetting is het proces waar grond onder invloed van een belasting wordt samengedrukt. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot zakking van de fundering van een woning.



## 2.3 | Handboringen rondom panden

Als aanvulling op het overige grondonderzoek zijn rondom het pand handboringen uitgevoerd. Dit zijn boringen, met een kleine diameter, tot een diepte van ongeveer 3 tot 4 meter. Met deze boringen is gekeken hoe de bodemsamenstelling is, komt er bijvoorbeeld veen of andere samendrukbare grond in voor. In totaal zijn 62 van deze boringen uitgevoerd.

## 2.4 | Funderingsonderzoek

Om mogelijke schade-oorzaken te achterhalen, is het nodig te weten hoe de huizen zijn gefundeerd. Hiervoor is gedetailleerde informatie nodig. Soms zijn bouwtekeningen beschikbaar van de fundering, maar vaak niet of zijn de tekeningen niet voldoende duidelijk. Het is belangrijk om de staat van de fundering te kennen, nadat die decennia in gebruik is geweest.



**Figuur 4** Inspectie in de gegraven put (foto links) en de aangetroffen fundering (foto rechts)

Op basis van eventueel bestaande bouwtekeningen, de handboringen en de pandinspectie is beoordeeld bij welke woningen inspectieputten nodig zijn. In overleg met de bewoners is een geschikte locatie gezocht, zijn de putten gegraven en is de fundering geïnspecteerd. Voor het aanleggen van de inspectieput is een aannemer ingeschakeld die onder andere een kleine machine heeft ingezet voor het graafwerk. Na inspectie is de put weer opgevuld en de situatie hersteld. Tot begin juli zijn funderingsonderzoeken bij 12 panden uitgevoerd.

## 2.5 | Historische satelliet metingen

Om een langjarig, historisch beeld te krijgen van vervormingen van panden en erven is gebruik gemaakt van InSAR satelliet informatie. InSAR staat voor 'Interferometric Synthetic Aperture Radar'. InSAR werkt met radarpulsen, uitgezonden door satellieten. Deze satellieten nemen beelden op van het aardoppervlak om langzame vervormingspatronen van bijvoorbeeld huizen, wegen en ander objecten te visualiseren. De satellietbeelden zijn gebruikt om afwijkingen ('trendbreuken') in de vervormingspatronen te identificeren, de gemiddelde zakkingsnelheid van het gebied te bepalen en eventuele seizoensinvloeden te analyseren. De resultaten kunnen aanwijzingen geven over welke faalmechanismen spelen, en wanneer vervorming is opgetreden.

Het onderzoek omvat de analyse van de vervormingen van de 20 panden. Ook wordt gezocht naar verbanden en patronen die gebiedsbreed spelen.

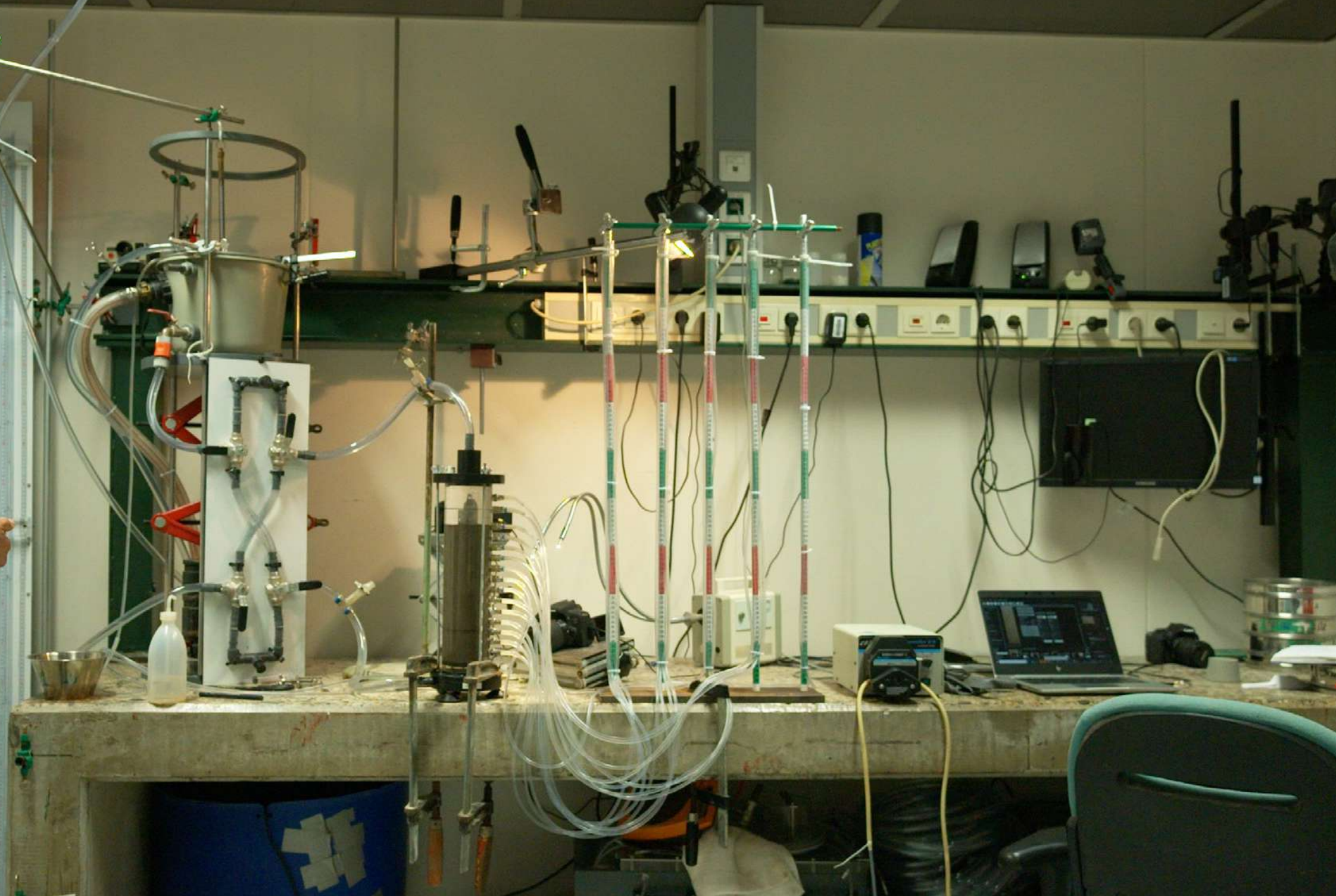


**Figuur 5** Voorbeeld van een InSAR kaart met resultaat langjarige zakkingsnelheden in het gebied.

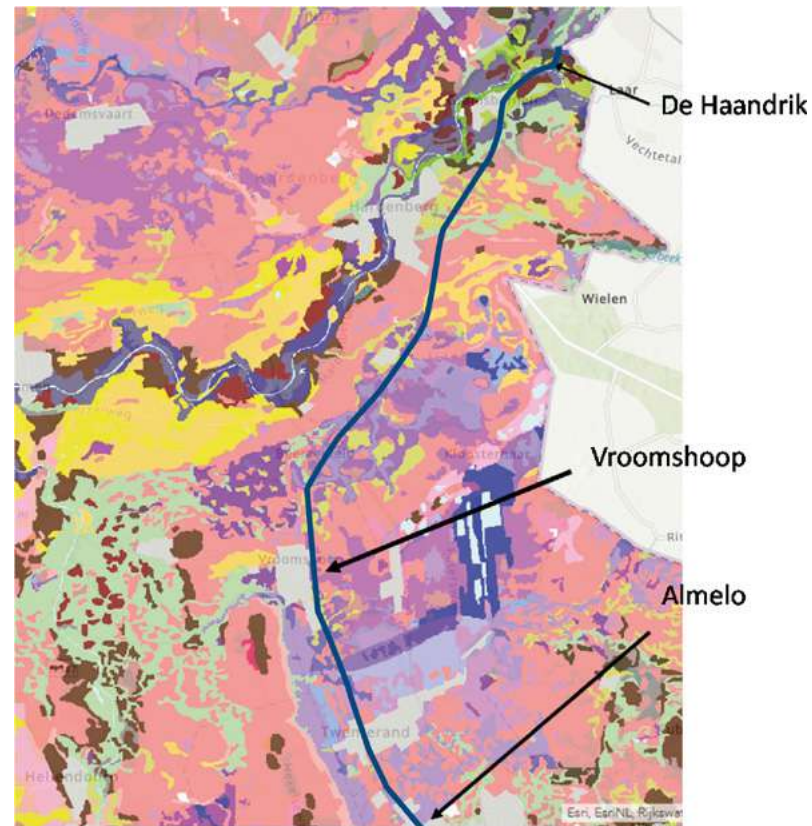
In de figuur wordt een voorbeeld gepresenteerd van het resultaat van InSAR metingen. Elke stip is een meetpunt dat een indicatie geeft van de snelheid van de vervormingen in millimeters per jaar (mm/y). De kleur van de meetpunten geeft de gemiddelde zakkingsnelheid tussen 2010 en 2018 volgens de legenda linksboven. Rood-oranje punten zakken het hardst, geel-groene punten bewegen weinig en blauwe punten bewegen omhoog.



### 3 Grondonderzoek







**Figuur 6** Bodemkaart van Nederland, ingezoomd op de ligging van het kanaal (blauwe lijn), bron: Alterra ArcGIS, 2021. In de blauwe en paarse gebieden komt veen voor in de ondergrond.

### 3.1 | Geologische achtergrond

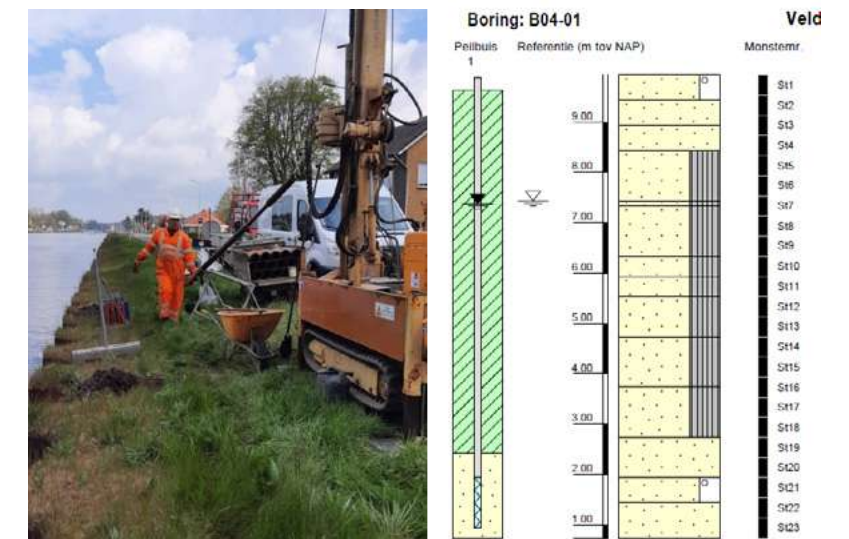
Het Kanaal Almelo – De Haandrik bevindt zich in een gebied met een sterk wisselende samenstelling van de ondergrond. Dit is een gevolg van de geologische geschiedenis van het gebied en de menselijke activiteiten door de eeuwen heen. Denk bijvoorbeeld aan het afgraven van veen voor turfwinning of de aanleg van het kanaal rond 1850. Als basis voor het onderzoek is een gedetailleerd inzicht nodig in de laagopbouw van de ondergrond, het type grond (zand, klei, veen of een mengvorm) en de geotechnische en geohydrologische eigenschappen van de grond. Bij deze eigenschappen van grond gaat het met name om de vraag hoe makkelijk water kan stromen door grond (waterdoorlatendheid) en hoe de grond zich gedraagt onder het gewicht van bijvoorbeeld een huis (draagvermogen en samendrukbaarheid).

### 3.2 | Boringen en sonderingen

Op basis van de onderzoeksvragen, beschikbare informatie en een eerste locatiebezoek heeft het onderzoeksteam een grondonderzoek laten uitvoeren, bestaande uit:

- 51 Mechanische en 51 handmatige boringen. Hiermee is het type grond vastgesteld en zijn grondmonsters genomen ten behoeve van het laboratorium onderzoek.
- 38 Sonderingen. Bij een sondering wordt een stang de grond in gedrukt en wordt gemeten wat het draagvermogen is van de grondlagen.
- 270 Laboratorium proeven om het type grond vast te stellen (classificeren) en geotechnische en geohydrologische eigenschappen te bepalen.

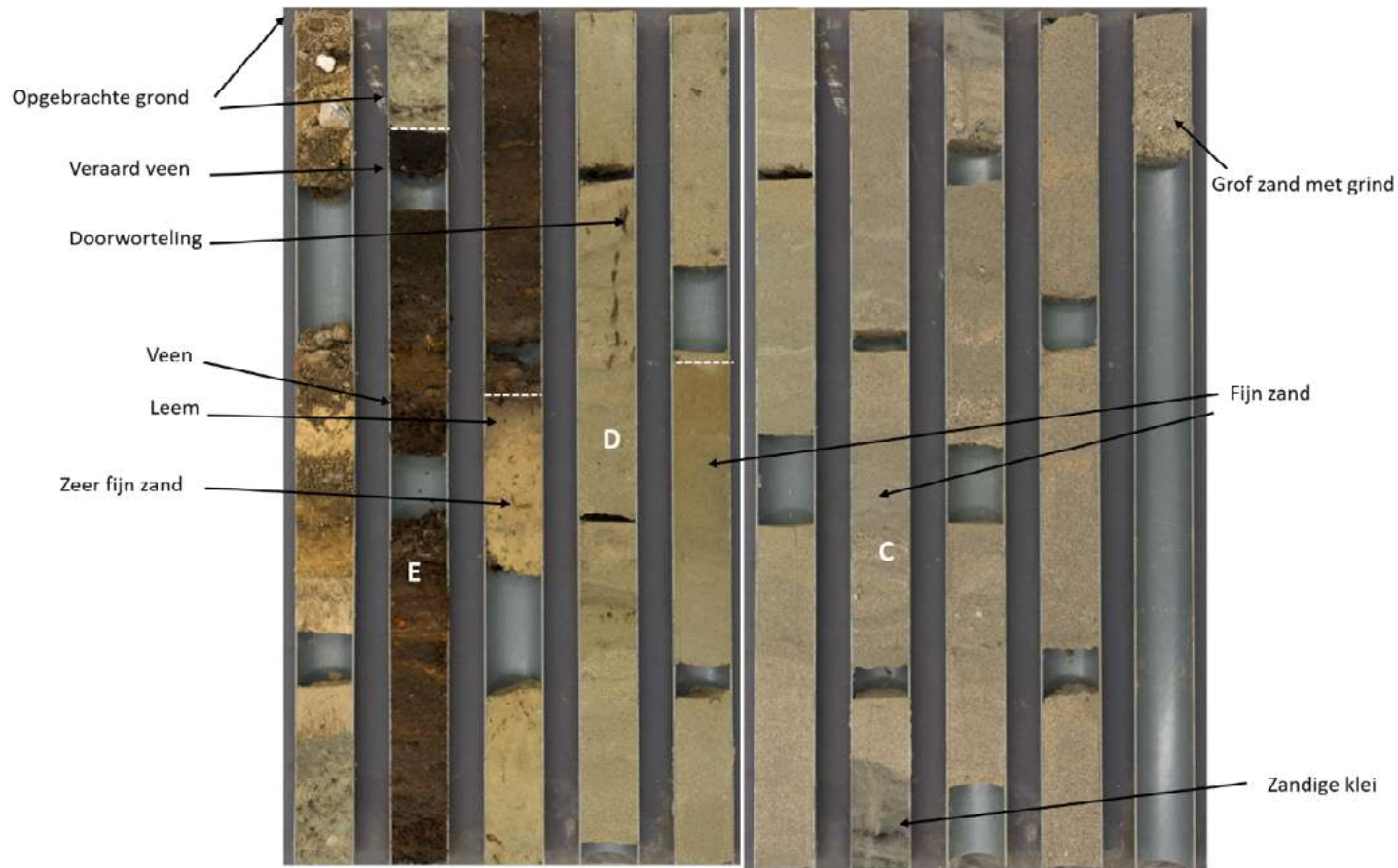
De werkzaamheden zijn deels met de hand en deels met machine uitgevoerd tot diepten variërend tot 10 meter beneden het maaiveld. Daar waar nodig is gewerkt met relatief kleine boor- en sondeer-machines om de overlast voor omwonenden zoveel mogelijk te beperken.



**Figuur 7** Uitvoering van een mechanische boring (links) en voorbeeld resultaat boring (rechts)

De aangetroffen laagopbouw uit boringen en sonderingen wordt gebruikt om de ondergrond te schematiseren in profielen vanaf het kanaal tot en met het bebouwde gebied. Bij deze interpretatie-slag wordt door de experts geologische gebiedskennis gebruikt. Met de eigenschappen van de grond vormt dit de basis voor een zogenaamd geotechnisch model van de ondergrond. Met het geotechnisch model kunnen berekeningen worden verricht om bepaalde oorzaken van de schades te analyseren. Dit gebeurt in samenhang met andere informatiebronnen en uitkomsten van andere onderdelen van het onderzoek.

<sup>7</sup> Geotechniek is een toegepaste wetenschap gericht op het bestuderen van grondgedrag met als doel het bouwen in en op grond.

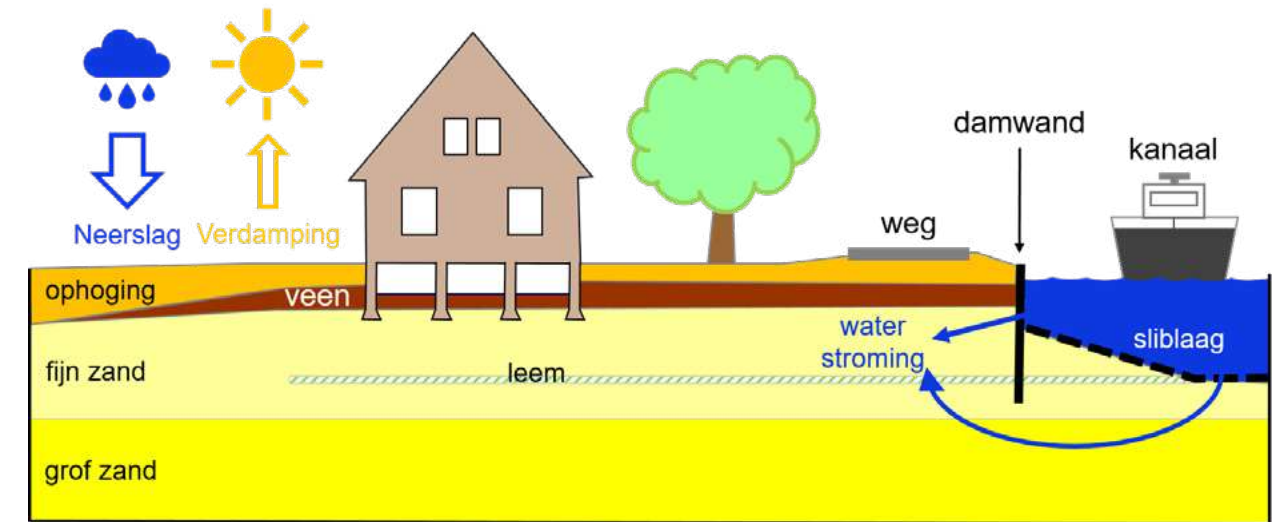


**Figuur 8** Foto van een in het laboratorium uitgelegde boring. Het maaiveld (linksboven in de boring) ligt op +9,20 m NAP. De kernen in de figuur zijn ieder 1 m hoog. De bovenste 1,20 m is opgebrachte grond. Uit de boringen zijn eerst monsters genomen voor proeven, vandaar de 'gaten' in het boorprofiel.

De uitvoerders van de grondonderzoeken zijn overigens wettelijk verplicht de resultaten van boringen, sonderingen en grondwaterstand metingen te verstrekken aan een centrale database, de Basis Registratie Ondergrond (BRO). Dit gebeurt dus ook met de gegevens verzameld in dit gebied.

### 3.3 | Peilbuizen en waterdrukmeters

De waterhuishouding rondom de panden en het kanaal is de drijvende kracht achter een deel van de faalmechanismen die kunnen leiden tot verklaring van schades aan de huizen. De lokale geohydrologie is een complex geheel dat wordt beïnvloed door vele factoren zoals neerslag, verdamping, stroming uit het kanaal via de kanaalbodem of damwanden en grote bomen.



**Figuur 9** Schematische weergave geohydrologie rondom het kanaal, kaden en woningen. De figuur is ter illustratie, lokaal kan de situatie afwijken.

Wanneer er een verschil is tussen twee waterstanden dan zal er een waterstroming ontstaan. De snelheid van de waterstroom wordt bepaald door het verschil in waterstand en de doorlatendheid van de grond. Vanwege de korrelstructuur, kent zand een relatief hoge waterdoorlatendheid ten opzichte van klei en veen. De aanwezigheid van zandige lagen en hoever deze lagen zich uitstrekken tussen kanaal en woningen is dus van belang voor het onderzoek. De aanwezigheid en samenstelling van de zandlaag (korrelverdeling<sup>8</sup>) en de stroomsnelheid zijn een aantal van de bepalende factoren voor het beantwoorden van de vraag of het faalmechanisme piping<sup>9</sup> is opgetreden.



Het draagvermogen van klei- en veenlagen wordt beïnvloed door de grondwaterstand en de vervorming ervan wordt mede bepaald door het watergehalte<sup>10</sup>. Een voorbeeld van een faalmechanisme dat hiermee samenhangt is oxidatie<sup>11</sup> en verwerking van veen als gevolg van uitdroging. Dat kan leiden tot inklinking van de veenlaag. Wanneer het veen zich onder de fundering van een huis bevindt, is verzakking van de fundering en schade aan de woning een reële mogelijkheid. Een ander voorbeeld, tegenovergesteld aan veenverwerking, is zwel van klei- en leemlagen door vernatting als gevolg van hogere waterstanden. Hierdoor kunnen maaiveld en fundering juist omhoog worden gedrukt. Het vaststellen van dit soort effecten wordt bemoeilijkt doordat er ook sprake kan zijn van seizoensinvloeden.

Het grondonderzoek heeft inzicht opgeleverd in de laagopbouw en de eigenschappen van de grondlagen. Dit is aangevuld met het onderzoek naar de waterhuishouding:

- Nadat de boring op diepte is gekomen is in het boorgat een peilbuis geplaatst om de waterstand in de ondergrond te volgen. De 51 peilbuizen zijn voorzien van waterdruk meetsensoren.
- Het direct op diepte plaatsen van 21 waterdruckmeters. Dit is gebeurd met een sondeervoertuig of een ingehuurde kraan.

8 Met behulp van o.a. zeefanalyses wordt een verdeling gemaakt van de percentages zand met een bepaalde korrelgrootte. Dit wordt gepresenteerd in een zogenaamd korrelverdelingsdiagram.

9 Piping is een faalmechanisme waarbij de waterstroom in de ondergrond zo sterk is en andere omstandigheden zodanig zijn dat zandkorrels kunnen worden weggespoeld.

10 Het watergehalte geeft de verhouding aan tussen het gewicht van water en grond.

11 Veen is een natte, sponsachtige grondsoort die veel organisch materiaal bevat. Veen dat aan buitenlucht wordt blootgesteld 'verbrandt' langzaam waardoor de veenlaag dunner wordt en zelfs kan verdwijnen.

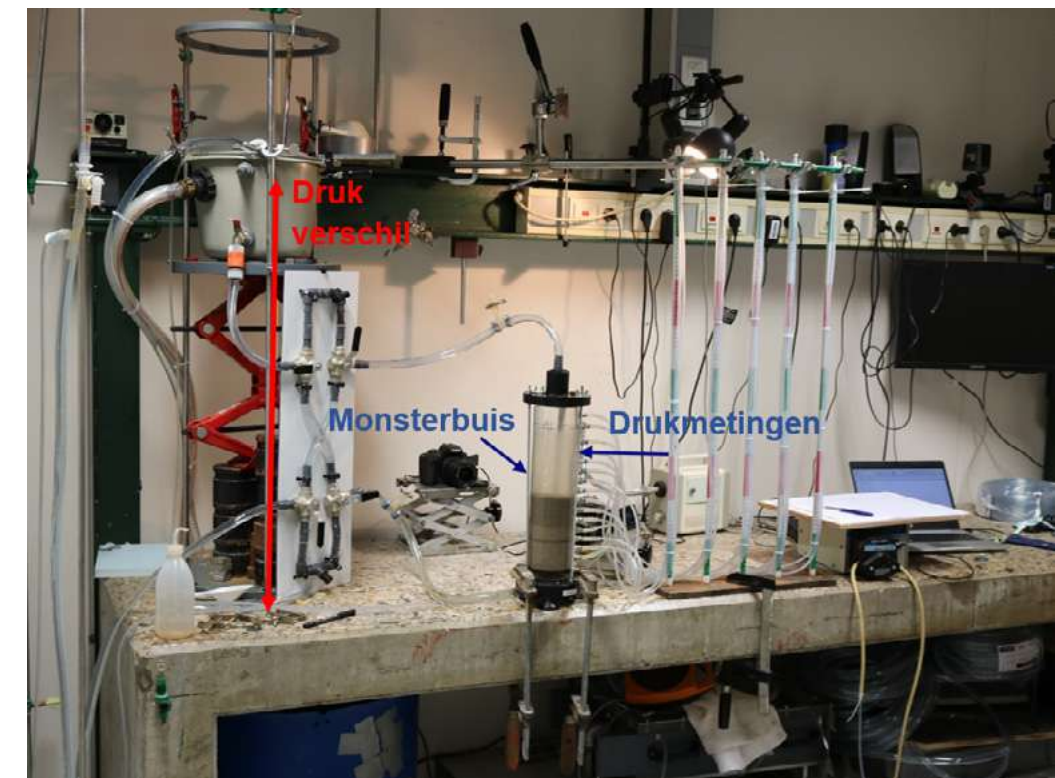
Doel van het gehele meetsysteem is het continu monitoren van de grondwaterstanden. De metingen worden automatisch verricht en per dag doorgezonden voor verdere verwerking en interpretatie. Hierdoor hoeven er ter plekke alleen onderhoud en incidentele metingen te worden uitgevoerd. Het meetsysteem is nu operationeel en kan desgewenst gedurende een lange tijd operationeel blijven als uit het onderzoek aanwijzingen volgen dat lange termijn aspecten een rol spelen.

### 3.4 | Piping-kolomproeven

Een zandmonster zoals dat van nature voorkomt, bestaat uit een mengsel van zandkorrels met verschillende korrelgrootten variërend van uiterst fijn tot en met uiterst grof. Bij een bepaalde vorm van piping kan, onder invloed van waterstroming, fijn zandmateriaal getransporteerd worden naar een zandlaag van grover materiaal. Het fijne zand past dan in de poriën van het grovere materiaal. Om dit effect te bestuderen, zijn de zandmonsters uit het gebied onderzocht in een speciaal voor dit onderzoek opgezet experiment: de piping-kolomproef. Doel van de piping-kolomproef is vast te stellen of dit transport van fijn materiaal in een grove zandstructuur mogelijk is en bij welke verschillen in waterstand het effect dan optreedt. Dit resultaat levert een eerste aanwijzing voor het beantwoorden van de vraag of deze vorm van piping in dit gebied kan optreden.

In de piping-kolomproef bevindt het zand uit de praktijk zich in de perspex monsterbuis, waarbij het is aangebracht op een zandlaag met een grovere korrelstapeling. Via de slangen aan de bovenzijde en onderzijde van de monsterbuis wordt een bepaald verschil in waterdruk aangebracht en de optredende waterstroom gemeten. Een camera legt de verandering in monstervolume en zichtbaar

transport van zandkorrels vast. De aansluitingen aan de zijkant geven een beeld van de waterdrukverdeling over de hoogte van het monster. Indien het effect van transport van fijn materiaal in de grovere korrelstapeling optreedt dan zal de waterdrukverdeling veranderen als gevolg van verandering van de waterdoorlatendheid van dat deel van het monster. Tijdens de proef is stapsgewijs het verschil in waterdruk opgevoerd en geobserveerd hoe het zandmonster reageert. In totaal zijn 10 monsters van verschillende samenstelling beproefd.



Figuur 10 Opstelling piping-kolomproef in het laboratorium van Deltares



## 4 Voortgang van het onderzoek





## 4.1 | Pand onderzoek en grondonderzoek

Het onderzoek van de panden is nagenoeg afgerond en bevat handboringen rondom de panden, pandinspecties en in veel gevallen het graven van een inspectieput. Zo is ter plekke van een pand bekeken of er veen en andere samendrukbare grond aanwezig is onder de fundering en is de constructieve staat van pand en fundering vastgesteld. Dit geeft per pand een zoveel mogelijk samenhangend beeld van de opgetreden schade, de constructie van de woning en de fundering, de ondergrond en de invloeden van buitenaf. Het beeld ter plaatse beantwoordt per pand de vraag of de oorzaak van schade ligt in het wegspoelen van zand (piping), de aanwezigheid van veen of andere samendrukbare lagen of andere oorzaken.

Het grondonderzoek langs het kanaal en bij de panden is gereed. Met boringen en sonderingen is de ondergrond in kaart gebracht. Uit de boringen zijn monsters genomen voor laboratorium-onderzoek. De boringen en sonderingen zijn geïnterpreteerd door geologen en geotechnici van Deltares. Er is zo een goed beeld verkregen van de opbouw en eigenschappen van de ondergrond en de aanwezigheid van veen en andere samendrukbare grondlagen. De eigenschappen van de zandlagen zijn van belang voor de piping-analyse. De eigenschappen van de klei- en veenlagen zijn belangrijk voor analyse van zakkingsen.

## 4.2 | Grondwater meetnet

Tegelijkertijd is de opbouw van waterdoorlatende en waterremmende lagen van belang voor het modelleren van de grondwaterstroming. Hiervoor zijn ook de metingen van grondwaterstanden beschikbaar. Het monitoringsysteem van grondwaterstanden is operationeel. De grondwaterstanden en de variatie daarin geven een actueel beeld. Hieraan kan het grondwaterstromingsmodel worden geijkt zodat ook omstandigheden uit het verleden kunnen worden doorgerekend.

## 4.3 | Hoe gaat het onderzoek verder?

Met het beschikbaar komen van steeds meer gegevens krijgen de analyses van de deskundigen ook steeds meer inhoud. Er is en wordt hard gewerkt door een team van deskundigen met complementaire expertise: geologen, geohydrologen, geotechnici, piping-deskundigen, veenexperts, funderingsdeskundigen, constructeurs en laboranten. De resultaten worden gedeeld met de begeleidingscommissie en de adviseurs zodat zij een eigen oordeel kunnen vormen. Voor het onderzoek zijn in het laboratorium speciale piping-kolomproeven uitgevoerd om te zien of er zand uit kan spoelen. Het uiteindelijke doel is dat de bevindingen van alle onderzoeken en alle experts samen tot antwoorden op de vragen leidt.

Tot eind juli wordt door het onderzoeksteam verder gewerkt aan het completeren van de analyses per deelgebied en aan het samenbrengen van de bevindingen. De duiding van het totaalbeeld moet nog plaatsvinden. Uit oogpunt van zorgvuldigheid kunnen daarover nog geen tussentijdse conclusies naar buiten worden gebracht.



Figuur 11 Overzicht omvang uitgevoerd onderzoek panden en grondonderzoek Kanaal Almelo - De Haandrik



Per pand dat onderzocht is wordt geconcludeerd wat de meest waarschijnlijke oorzaak van de opgetreden schades is en hoe deze schade zich, naar verwachting, in de toekomst zal ontwikkelen. Soms is dat mogelijk een samenspel van oorzaken. Het is op dit moment nog niet te zeggen of dit voor alle onderzochte panden hetzelfde beeld oplevert, of dat er verschillende oorzaken voor de schades worden aangewezen. Dit geeft op dit moment ook onzekerheid over de vraag of de bevindingen van het onderzoek naar de panden vertaald kunnen worden naar gebiedsbrede conclusies.

Om vast te kunnen stellen of uit te sluiten dat piping een mogelijke oorzaak is, wordt er een hydrologisch model van de ondergrond ontwikkeld. De gegevens uit het grondonderzoek en de metingen van de verschillen in waterstanden vormen de basis voor dit model. Met het model kan worden berekend of hoe sterk de waterstroming is. De piping-kolomproeven en bepalingen van de korrelverdeling van het zand worden geanalyseerd. Samen met de uitkomsten van het hydrologisch model geeft dit een antwoord op de vraag of piping kan zijn opgetreden. Ook kan dan worden berekend of peilverlaging van het kanaal een oplossing voor het optreden van piping zou kunnen bieden, mocht dit nodig zijn.

## 4.4 | Eindrapport

De bevindingen van Deltares worden regelmatig gedeeld met de begeleidingscommissie en de adviseurs van de begeleidingscommissie. De begeleidingscommissie doet zo nodig ook aanbevelingen om bepaalde aspecten nader uit te zoeken. De commissie en de adviseurs hebben ook in het laboratorium de piping-kolomproeven en grondmonsters bekeken en er zal nog een werkbezoek aan het gebied plaatsvinden.



Figuur 12 bezoek op 21 juni 2021 van de begeleidingscommissie en adviseurs aan het laboratorium van Deltares.

Het definitieve eindrapport van Deltares, met daarbij een oordeel van de begeleidingscommissie, wordt in september verwacht. De provincie Overijssel communiceert de resultaten vervolgens met publiek en politiek. Het besluitvormingstraject bij de provincie start na het verschijnen van het eindrapport.

