

**WTI 2017: Handleiding lokaal  
schematiseren met WTI-SOS**





# **WTI 2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS**

Gerard Kruse  
Marc Hijma

1209432-004



**Titel**

WTI 2017: Handleiding lokaal schematiseren met WTI-SOS

<b>Opdrachtgever</b>	<b>Project</b>	<b>Kenmerk</b>	<b>Pagina's</b>
Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving	1209432-004	1209432-004-GEO-0002	62

**Trefwoorden**

WTI 2017, WTI-SOS, grondopbouw, waterkering, stochastisch schematiseren, dijkveiligheid

**Samenvatting**

Deltares ontwikkelt voor Rijkswaterstaat de inhoudelijke componenten voor het Wettelijk Toets Instrumentarium (WTI). Een onderdeel van het WTI is een globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor alle primaire keringen. In deze handleiding wordt beschreven hoe op basis van WTI-SOS de ondergrond van een dijkstrekking lokaal geschematiseerd kan worden ten behoeve van het toetsen van de veiligheid van de waterkeringen. De functie van WTI-SOS is hierin het toeleveren van informatie over de opbouw van de ondergrond en het herkennen en identificeren van relevante ondergrondlagen. Daarnaast helpt WTI-SOS ook bij het eenduidig toewijzen van waarden voor grondparameters. Samen met inzicht in de werking van en invloeden op faalmechanismen kan met de WTI-SOS informatie een verantwoorde lokale schematisatie van de ondergrond worden opgesteld.

In deze handleiding wordt eerst de opzet en doelstelling van WTI-SOS kort beschreven. Vervolgens wordt een stappenplan gegeven om vanuit WTI-SOS tot een lokale schematisatie te komen. Hierna worden verschillende aspecten van het lokaal schematiseren van de ondergrond en het bepalen van het benodigde grondonderzoek nader toegelicht. In het laatste hoofdstuk wordt met een tweetal voorbeelden geïllustreerd hoe het lokaal schematiseren in zijn werk gaat. Het hoofdstuk vormt de brug naar de schematiseringshandleidingen voor de verschillende faalmechanismen.

**Abstract**

Together with Rijkswaterstaat Deltares is developing the Wettelijk Toetsinstrumentarium or WTI. WTI is the instrument that will be used to assess the safety of our primary flood-protection system. A component of WTI is a general stochastic schematisation of the subsurface of this protection system (WTI-SOS). This manual describes how this general schematisation can be used to construct local subsurface schematisations that are necessary for the assessment. WTI-SOS provides information about the build-up of the subsurface, but also helps to recognize and identify relevant subsurface layers. In addition, WTI-SOS helps to assign soil parameters to subsurface layers. In combination with knowledge about failure mechanisms and the influence of the subsurface on these mechanisms, WTI-SOS can be used to construct local schematisation in a reliable way.

This manual starts with a short description of the set-up and goals of WTI-SOS. Next a step-by-step plan for using WTI-SOS as a starting point to construct local schematisations is provided. This is followed by a discussion of several aspects of local schematisation and defining the necessary soil investigation. The final chapter illustrates the workflow with two examples and forms the connection with the manuals for the different failure mechanisms.

**Titel**

WTI 2017: Handleiding lokaal schematiseren met  
WTI-SOS

**Opdrachtgever**

Rijkswaterstaat Water,  
Verkeer en Leefomgeving

**Project**




1209432-004

**Kenmerk**

1209432-004-GEO-0002

**Pagina's**

62

Versie	Datum	Auteur	Paraaf	Review	Paraaf	Goedkeuring	Paraaf
2	dec. 2015	drs. G.A.M. Kruse		ing. J.E.J. Blinde		dr.ir. M.S. Sule	
		dr. M.P. Hijma					

**Status**

definitief

## Inhoud

<b>1 Inleiding</b>	<b>1</b>
1.1 Algemeen	1
1.2 Schematiseren van de ondergrond: huidige werkwijze versus WTI-SOS	1
1.3 De doelstelling en doelgroep van WTI-SOS	5
1.3.1 Doelstelling	5
1.3.2 Doelgroep	5
1.4 Inhoud van WTI-SOS	5
1.5 WTI-SOS en lokaal schematiseren	7
1.6 Afbakening handleiding	9
1.7 Opzet van de handleiding	9
<b>2 Stappen bij het lokaal schematiseren van de ondergrond</b>	<b>11</b>
2.1 STAP 1: Verzamelen gegevens	11
2.2 STAP 2: Ordenen gegevens	11
2.3 STAP 3: Eerste analyse van de grondopbouw met WTI-SOS	11
2.4 STAP 4: Nadere detaillering van de WTI-SOS scenario's	12
2.5 STAP 5: Vaststellen te toetsen scenario's	12
<b>3 Nadere beschrijving van de te volgen stappen</b>	<b>13</b>
3.1 Algemeen	13
3.2 STAP 3: Eerste analyse grondopbouw met WTI-SOS	14
3.3 STAP 4: Nadere detaillering van de WTI-SOS scenario's	16
3.4 STAP 5: Vaststellen te toetsen scenario's	20
<b>4 Aandachtspunten bij het lokaal schematiseren</b>	<b>21</b>
4.1 Algemeen	21
4.2 Aanpassen WTI-SOS segmentgrenzen	21
4.3 Aanpassen WTI-SOS scenario's en scenario kansen	22
4.4 Parameterwaarden voor grondeigenschappen	25
4.5 Opmerkingen over horizontale begrenzingen van lagen en laagdiktes	25
<b>5 Grondonderzoek</b>	<b>29</b>
5.1 Algemeen	29
5.2 Macrostabieleit	29
5.2.1 Relevante afmetingen van de eenheden	29
5.2.2 Meetlocatieafstanden van 200 m	30
5.2.3 Meetlocatieafstanden van 100 m	30
5.2.4 Meetlocatieafstanden van 50 m	30
5.2.5 Samenvattend	30
5.3 Relevante afmetingen van lagen voor het faalmechanisme piping	31
5.3.1 Meetlocatieafstanden van 200 m	31
5.3.2 Meetlocatieafstanden van 100 m	31
5.3.3 Meetlocatieafstanden van 50 m	32
5.3.4 Samenvattend	32
<b>6 Voorbeelden van het opstellen van lokale schematisaties</b>	<b>33</b>
6.1 Algemeen	33
6.1.1 Schematisering voor geohydrologie	33
6.1.2 Gewicht van de grondkolom op een watervoerend pakket	34
6.2 Lokale schematisatie voor piping	35

6.2.1	Voorbeeld: Rijswijk	35
6.2.1.1	Stappen 1 en 2: verzamelen en ordenen van de gegevens	36
6.2.1.2	Stap 3: Eerste analyse grondopbouw	40
6.2.1.3	Stap 4: Nadere detaillering scenario's	43
6.2.1.4	Stap 5: vaststellen te toetsen scenario's	46
6.3	Lokale schematisatie voor macrostabiliteit	47
6.3.1.1	Stappen 1 en 2: verzamelen en ordenen van de gegevens	47
6.3.1.2	Stap 3: Eerste analyse grondopbouw	52
6.3.1.3	Stap 4: Nadere detaillering scenario's	56
6.3.2	Stap 5: vaststellen te toetsen scenario's	58
<b>7</b>	<b>Literatuurlijst</b>	<b>60</b>
<b>A</b>	<b>Definitielijst</b>	<b>A-1</b>



# 1 Inleiding

## 1.1 Algemeen

Deltares ontwikkelt voor Rijkswaterstaat de inhoudelijke componenten voor het Wettelijk Toets Instrumentarium (WTI). Het WTI moet in 2017 bruikbaar zijn voor het uitvoeren van de vierde toetsronde van de waterkeringen. Een onderdeel van het WTI is een globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS, WTI Stochastische Ondergrond Schematisatie) voor alle primaire keringen, een totaal van meer dan 3500 km (Categorie a-b-c, behalve de duinen). WTI-SOS is een toepassingsonafhankelijke ondergrondschematisatie en is opgezet om te worden gebruikt bij het opstellen van lokale schematisaties waarmee het toetsen van de keringen voor verschillende faalmechanismen wordt uitgevoerd (Hijma en Lam, 2015, zie ook Figuur 1.1). WTI-SOS vat de inzichten in en kennis over de opbouw van de ondergrond samen, zodat die efficiënt ingezet kunnen worden voor de lokale schematisaties. De functie van WTI-SOS is hierin het toeleveren van informatie over de opbouw van de ondergrond en het herkennen en identificeren van relevante ondergrondlagen. Daarnaast is WTI-SOS ook de basis voor het eenduidig toewijzen van waarden voor grondparameters. Samen met inzicht in de werking van en invloeden op faalmechanismen kan met de WTI-SOS informatie een verantwoorde lokale schematisatie van de ondergrond worden opgesteld (Figuur 1.1). De lokale schematisaties vallen onder de verantwoordelijkheden van de waterkeringbeheerders.

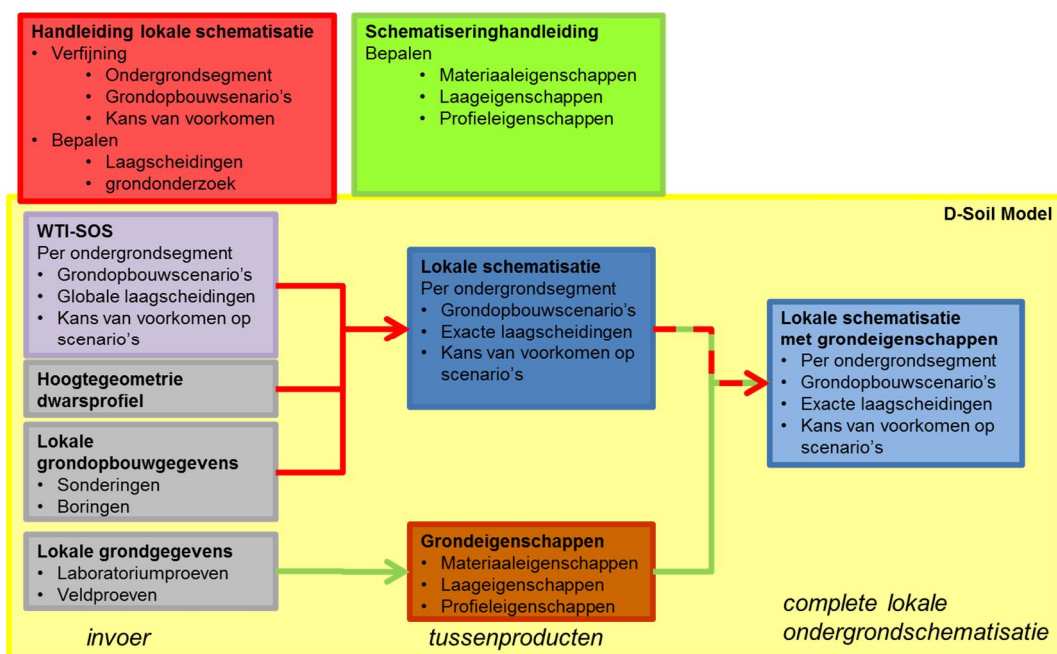
In deze handleiding wordt beschreven hoe een gebruiker met behulp van WTI-SOS een lokale schematisatie van de ondergrond van een dijkstrekking kan opstellen (zie bijlage A voor definities van veelgebruikte termen). De persoon die verantwoordelijk is voor het uitvoeren van het toetsen wordt hier verder de gebruiker genoemd.

Het schematiseren van de ondergrond bij het toetsen van waterkeringen binnen WTI 2017 verschilt met de gehanteerde werkwijze bij eerdere toetsrondes. In de volgende paragrafen worden deze verschillen aangestipt en wordt aangegeven waarom WTI-SOS is opgezet en wat de doelstelling is van WTI-SOS. Daarnaast wordt kort aangegeven hoe WTI-SOS ingezet wordt bij het lokaal schematiseren en welke ervaring daarbij vereist is. De voorlaatste paragraaf van dit hoofdstuk beschrijft de afbakening van deze handleiding en hoe deze handleiding in verhouding staat tot de schematiseringshandleidingen voor de verschillende faalmechanismen. De laatste paragraaf beschrijft de opzet van de handleiding.

## 1.2 Schematiseren van de ondergrond: huidige werkwijze versus WTI-SOS

De relevante aspecten van de grondopbouw voor het toetsen van waterkeringen moeten geschematiseerd worden. Met schematiseren wordt hier bedoeld het samenvatten van de werkelijkheid met een beperkt aantal variabelen voor een specifieke toepassing. Om te schematiseren moet er dus informatie zijn over de werkelijkheid en over het doel van de schematisering. Voor de ondergrond betreft dat:

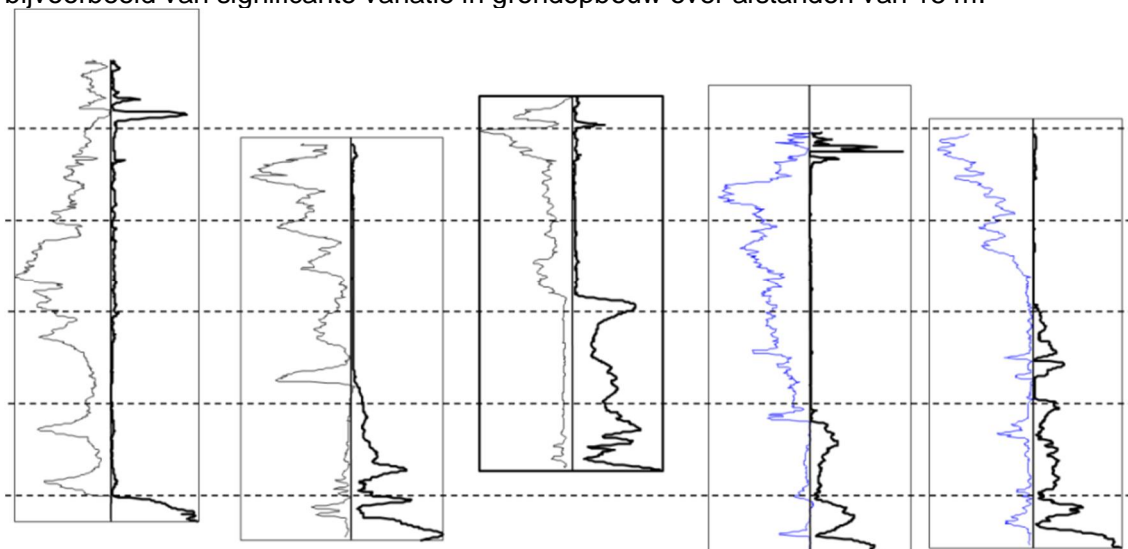
- Informatie over de vereisten van de toepassing, zoals macrostabiliteit, piping, of zettingsvloeiing.
- Informatie over de ondergrond zoals data over opbouw en eigenschappen van de grond (vooral sondeer- en boorstaten), proefresultaten, digitale hoogtemodellen enzovoorts;
- Informatie over de achtergronden van grondeigenschappen en het systeem in de ruimtelijke variatie in de opbouw van de ondergrond. Dit laatste is nodig omdat het niet mogelijk is om met alleen data, zoals sondeer- en boorstaten en grondeigenschappen van grondmonsters, een representatieve verantwoorde schematisatie van de ondergrond te maken.



Figuur 1.1 Stroomschema van het lokaal schematiseren van de ondergrond. Deze handleiding (rode box) geeft de werkwijze om te komen tot een lokale schematisatie van de ondergrond. De schematiseringshandleidingen voor de faalmechanismen gaan in op de andere aspecten van het toetsen, waaronder de bepaling van de materiaaleigenschappen (groene box). WTI-SOS (paarse box) wordt op basis van lokale informatie (bovenste twee grijze boxen) gedetailleerd tot een lokale schematisatie (donkerblauwe box). Na het toekennen van grondeigenschappen (lichtbruine box, proevenverzamelingen) ontstaat een lokale schematisatie met grondeigenschappen (lichtblauwe box) die gebruikt kan worden bij het toetsen. De gele box geeft aan waar het programma D-Soil Model ondersteuning biedt.

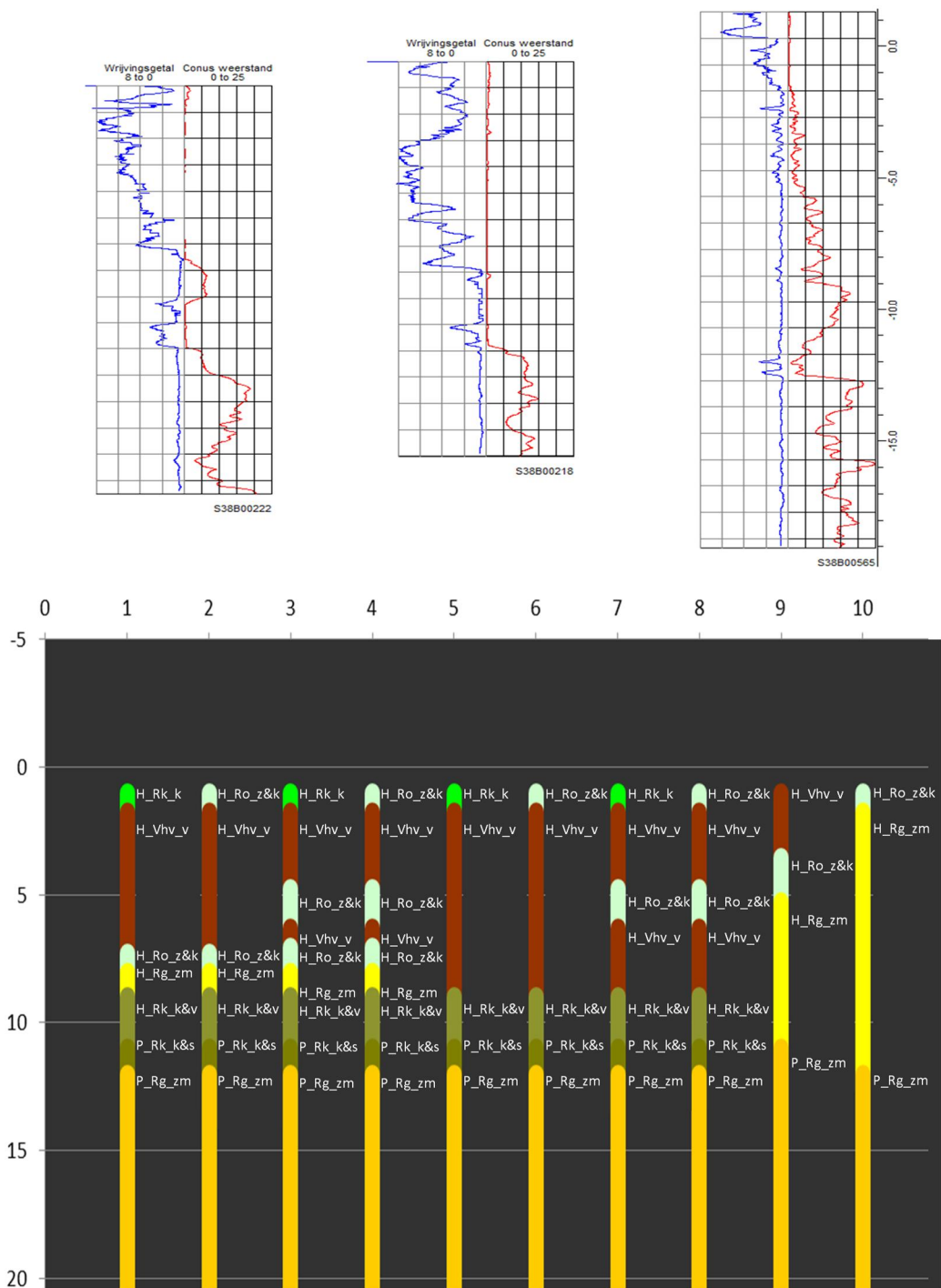
Er zijn in het verleden verschillende strategieën ontwikkeld om de opbouw van de ondergrond mee te nemen bij veiligheidsbeschouwingen. Een veel gebruikte strategie is het in ruimtelijk verband tonen van sonderingen en boringen en daarin herkende overeenkomsten van patronen in diepte-intervallen te markeren als laaggrenzen. Die “laaggrenzen” worden dan geïnterpoleerd tussen de waarnemingen. Hiermee wordt een schets van een lagenopbouw gemaakt, zoals in bijvoorbeeld een geotechnisch profiel. In de praktijk wordt zo'n schets soms als een rechtstreekse weergave van de opbouw van de ondergrond opgevat en wordt de grondopbouw voor berekeningen er 1-op-1 op gebaseerd. Aangezien er geen eenduidige criteria bestaan voor het onderscheiden van lagen en het deterministisch interpoleren tussen puntwaarnemingen, zijn er behoorlijke verschillen in de mate van differentiatie, detaillering en omschrijven van de lagen tussen de verschillende opstellers. Deze verschillen leiden tot mogelijk grote verschillen in de uitkomst van de toets. Los van deze verschillen, bestaat er bij deze aanpak grote onzekerheid over de ruimtelijke variatie in de ondergrond, zeker over de verschillende soorten grondopbouw die niet in de waarnemingen in de strekking zijn aangetroffen. De lokale variatie in grondopbouw wordt daarbij vaak onderschat. Er kan namelijk in de meeste gebieden in Nederland niet zonder meer worden aangenomen dat een waarneming, zoals een sondeerstaat, de ondergrond tot meer dan 30 m afstand ervan voldoende weergeeft. Interpolatie tussen ligging van dieptegrenzen in boor- en sondeerstaten of tussen materiaaleigenschappen van de lagen in de ondergrond geeft de grondopbouw daarom niet met voldoende zekerheid weer als de waarnemingen meer dan 10-30 m uit elkaar liggen (zie Hijma en Lam, 2015).

Voor een completer overzicht van de verschillende strategieën). Figuur 1.2 geeft een bijvoorbeeld van significante variatie in grondopbouw over afstanden van 15 m.



*Figuur 1.2 Illustratie van de ruimtelijke variatie in grondopbouw binnen 50 m. De sonderingen staan op onderlinge afstanden van ongeveer 15 m (niet in een rechte lijn). De grijze en donkerblauwe lijnen geven het wrijvingsgetal weer, de zwarte lijnen de conusweerstand. De sonderingen laten zien dat over afstanden van minder dan 25 m zand, klei en veen naast elkaar kunnen voorkomen. Dergelijke ruimtelijke variatie is algemeen in grotere delen van de ondergrond van Nederland. De ruimtelijke variatie die relevant is voor het toetsen is soms wat minder en soms ook meer uitgesproken dan in deze illustratie.*

Om de onzekerheid die er bestaat over de opbouw van de ondergrond expliciet mee te nemen is voor WTI 2017 gekozen voor een alternatieve strategie die zich richt op het benoemen en kwantificeren van de onzekerheid, zodat de aannames die gedaan worden in de keuze van een representatieve grondopbouw objectiever en meer rationeel worden (Kruse en Van Meurs, 2013; Hijma en Lam, 2015). Hierbij wordt voor een strekking van een waterkering de ondergrond weergegeven met een aantal grondopbouwscenario's, WTI-SOS scenario's, die elk een kans van aantreffen hebben. De toegekende kansen zijn gebaseerd op de waarnemingen in het betreffende gebied bij de dijk en op inzicht in het systeem in de ondergrond. De scenario's bestaan uit WTI-SOS eenheden die gebruikt worden om lagen in de ondergrond te karakteriseren (Figuur 1.3). De eenheden omvatten al de lagen die voor toetsen gespecificeerd moeten worden (zie Hijma en Lam (2015) voor een lijst van de eenheden). Ze kunnen ook gebruikt worden als referentieclassificatie voor het opstellen en gebruiken van proevenverzamelingen. Per WTI-SOS eenheid kunnen de parameters vastgesteld worden, hetzij op basis van bestaande proevenverzamelingen, hetzij op basis van nieuwe gegevens. Op basis van WTI-SOS wordt de opbouw van de ondergrond met probabilistische methoden stochastisch gerepresenteerd. De toepassing waarvoor geschematiseerd wordt is hierbij van belang, aangezien voor elk van de te toetsen faalmechanismen andere vereisten gelden voor de lokale schematisaties. De lokale schematisering vergt daarom niet alleen gegevens, kennis en inzicht over de grondopbouw waarvoor WTI-SOS een globaal startpunt geeft, maar ook kennis en inzicht over de effecten van die opbouw voor de toepassing.



Figuur 1.3 Voorbeeld van sondeerstaten (Boven - rood: conusweerstand, blauw: wrijvingsgetal) en WTI-SOS scenario's (Onder - bruin: veen, geel: zand, groen: klei). De sondeerstaten horen, van links naar rechts, bij respectievelijk de scenario's 1, 5 en 9. Merk op dat in de rechter sondeerstaat een kleilig interval te zien is op ongeveer 12.5 m –NAP dat niet in scenario 10 is opgenomen. Dit is gedaan omdat het interval in de omgeving ook regelmatig niet aangetroffen wordt, waardoor niet opnemen in het scenario voor piping een behoudende aanname is en het voor macrostabiliteit in dit geval niet ter zake doet, aangezien er veel maatgevender scenario's zijn.

### 1.3 De doelstelling en doelgroep van WTI-SOS

#### 1.3.1 Doelstelling

Zoals hierboven aangegeven vormt de ondergrond een significante bron van onzekerheid in het bepalen van de faalkans van een waterkering. WTI-SOS heeft de doelstelling om de kwaliteit van de schematisering van de ondergrond voor het toetsen van waterkeringen te verbeteren door relevante informatie over de opbouw van de ondergrond op systematische en eenvoudige wijze beschikbaar te stellen. WTI-SOS geeft hiermee het kader voor het vaststellen van de lokale schematisatie voor de toetsing en is opgesteld door ter zake deskundigen van de Geologische Dienst van Nederland-TNO en Deltares. De WTI-SOS grondopbouwscenario's beogen op een eenduidige wijze te voorzien in een belangrijk deel van de inbreng van ervaring en kennis over de grondopbouw die nodig is voor het schematiseren. De WTI-SOS schematisering beperkt hiermee het beroep dat gedaan moet worden op de kennis over en ervaring met grondopbouw en grondeigenschappen in een bepaald gebied. De opzet van WTI-SOS maakt het daarnaast mogelijk de onzekerheid die bestaat over de opbouw van de ondergrond probabilistisch mee te nemen tijdens het toetsen, waarmee de uiteindelijk berekende faalkans beter onderbouwd wordt. Ook wordt de kans verkleind dat risicovolle soorten grondopbouw gemist worden. Meerwaarde van het gebruik van WTI-SOS is daarmee dat de kwaliteit van de toets verbeterd. Daarnaast heeft de gebruiker het voordeel dat veel ondergrondinformatie en geologische kennis is samengevat in WTI-SOS scenario's. De gebruiker kan hierdoor efficiënt lokale schematisaties maken. De eenduidigheid van de schematisatie van de ondergrond neemt met het gebruik van WTI-SOS aanmerkelijk toe. De lokale schematisaties kunnen daarom gemakkelijk opnieuw gebruikt worden voor latere toetsen en zijn dan eenvoudig aan te passen als er bijvoorbeeld nieuwe gegevens beschikbaar komen. Hoewel opgesteld voor WTI, kan het WTI-SOS voor meerdere toepassingen gebruikt worden (Hijma en Lam, 2015).

#### 1.3.2 Doelgroep

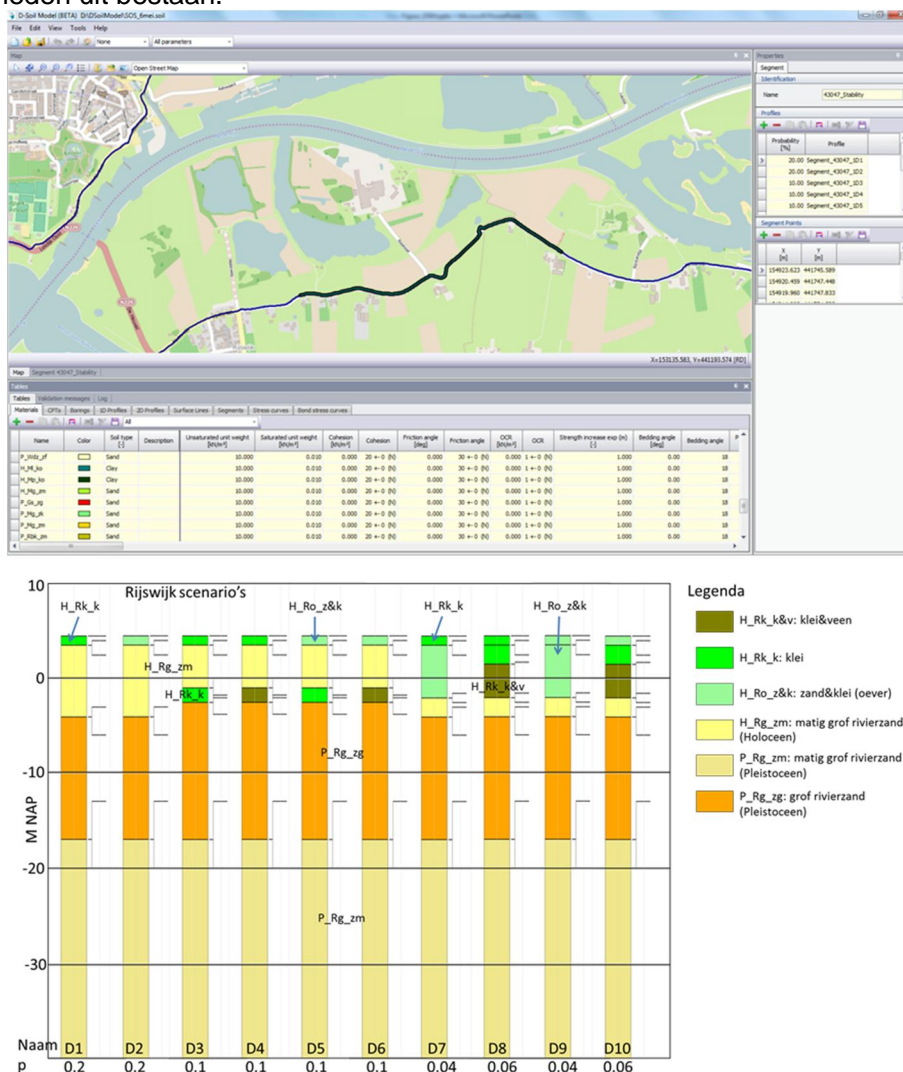
Voor het gebruik van WTI-SOS en het lokaal schematiseren is inzicht nodig in de vereisten van de toepassing. Met andere woorden: de insteek van de lokale schematisatie hangt af van de toepassing van de lokale schematisatie.

Er wordt voor het gebruik van de handleiding vanuit gegaan dat er ervaring is met het werken met grondgegevens en dat er voldoende bekendheid en ervaring is met het beoordelen van geotechnische kwesties voor het toetsen van dijken. De gebruikers worden geacht grondsoorten in sondeer- en boorstaten te kunnen herkennen en verantwoorde keuzes te kunnen maken ten aanzien van effecten van grondopbouw bij het selecteren van nader te beoordelen omstandigheden bij het komen tot het toetsoordeel. Die keuzes betreffen met name de algemene effecten van verschillen in laagopbouw en geometrie kenmerken van de waterkering (hoogte, bermen, taluds, intree en uitrede locaties en dergelijke). Dit betekent in de praktijk dat minimaal 3 jaar relevante werkervaring vereist is.

### 1.4 Inhoud van WTI-SOS

Bij het opstellen van WTI-SOS zijn, op basis van de ondergrond, de primaire keringen opgedeeld in segmenten (Figuur 1.4). In een WTI-SOS segment komen één of meerdere WTI-SOS ondergrondscenario's voor met een bepaalde kans van aantreffen. De WTI-SOS scenario's leggen de opbouw van de ondergrond vast met een opeenvolging van WTI-SOS eenheden en de diepteligging van die eenheden. De scenario's zijn opgesteld als 1D-scenario's die geldig zijn voor de binnentoe van de waterkering.

Het dijkmateriaal, eventuele zetting van de ondergrond onder de dijk en lokale verstoringen zijn niet meegenomen in de globale scenario's. Tijdens het lokaal schematiseren moeten deze zaken uiteraard wel worden beschouwd. De diepteligging wordt gegeven met een representatieve (modale, meest voorkomende) diepte en indicaties van de minimale en maximale diepteligging van de eenheden. De "minimale" en "maximale" waarden geven de dieptes aan die in ongeveer 10 % van de gevallen dat de laag wordt aangetroffen over- dan wel onderschreden wordt. In D-Soil Model worden deze waarden voor de top van de WTI-SOS eenheden gegeven. De schematisaties zijn gemaakt tot 40 m –NAP, deze diepte is voldoende voor het schematiseren voor de verschillende faalmechanismen (Figuur 1.4). Indien dieper reikende schematisaties gewenst zijn, kunnen de WTI-SOS scenario's voor de Categorie a-keringen aangevuld worden met informatie vanuit VNK2. Figuur 1.4 geeft een voorbeeld van de WTI-SOS informatie die beschikbaar is voor een bepaald segment. In Hijma en Lam (2015) wordt in detail beschreven hoe WTI-SOS is opgesteld en waar de WTI-SOS eenheden uit bestaan.



Figuur 1.4 Voorbeeld van de informatie uit WTI-SOS zoals beschikbaar in D-Soil Model. De kaart geeft de ligging aan van het WTI-SOS segment, in dit geval segment 16037. Onder de kaart staan de WTI-SOS scenario's voor dat segment, waarbij de minimale en maximale diepteligging van de top van de eenheden wordt aangegeven met streepjes (dit is een compilatie van screenshots uit D-Soil Model). Elk scenario wordt genummerd (D1-D<sub>n</sub>) en de kans van aantreffen (p) wordt getoond. Voor dit voorbeeld zijn de namen van de eenheden toegevoegd aan het plaatje. Dit voorbeeld is ook gebruikt in Hoofdstuk 6.

Bij het opstellen van WTI-SOS is gebruik gemaakt van het dijkringenbestand 4.0. Voor elke dijkkring zijn de primaire waterkeringen opgedeeld in WTI-SOS segmenten. Deze zijn onderscheiden op basis van de opbouw van de ondergrond. Er is destijds voor gekozen om op overgangen tussen verschillende categorieën primaire kering (a-b-c) altijd een WTI-SOS segmentgrens te leggen. Inmiddels bestaat er een nieuwe indeling van de primaire waterkering en zijn de dijkringen opgedeeld in 238 normtrajecten (dit is inclusief de duinen). De grenzen van de normtrajecten vallen uiteraard nooit samen met de segmentgrenzen van de WTI-SOS segmenten. Er is overwogen om de WTI-SOS segmenten aan te passen aan de nieuwe trajectindeling. De normtrajectsgrenzen echter zijn administratieve grenzen en hebben geen enkele relatie tot de ondergrond. De grenzen van de WTI-SOS segmenten hebben wel een directe relatie met de ondergrond. Vanuit de inhoud geredeneerd is het daarom niet nodig om de WTI-SOS segmenten aan te passen. Deze aanpassing zou overigens meer betekenen dan alleen het opknippen van het segment, maar binnen de twee nieuwe segmenten moeten ook de ondergrondscenario's en met name de kansen van aantreffen opnieuw geanalyseerd worden. Ook vanuit praktische overwegingen is het niet nodig om de WTI-SOS segmentsgrenzen te laten corresponderen met normtrajectsgrenzen. De lengte van de normtrajecten is namelijk gemiddeld 14 km, ongeveer 6 maal langer dan een gemiddeld WTI-SOS segment. De dijkstrekkingen die tijdens WTI 2017 getoetst gaan worden, zullen vele malen kleiner zijn dan de normtrajecten. Het vaststellen van de te toetsen dijkstrekkingen zal plaatsvinden tijdens het lokaal schematiseren in D-Soil Model en RingToets tijdens WTI 2017. Omdat in deze stap allerlei nieuwe grenzen getrokken gaan worden, heeft het geen zin om nu de WTI-SOS segmenten aan te passen aan de nieuwe normtrajecten.

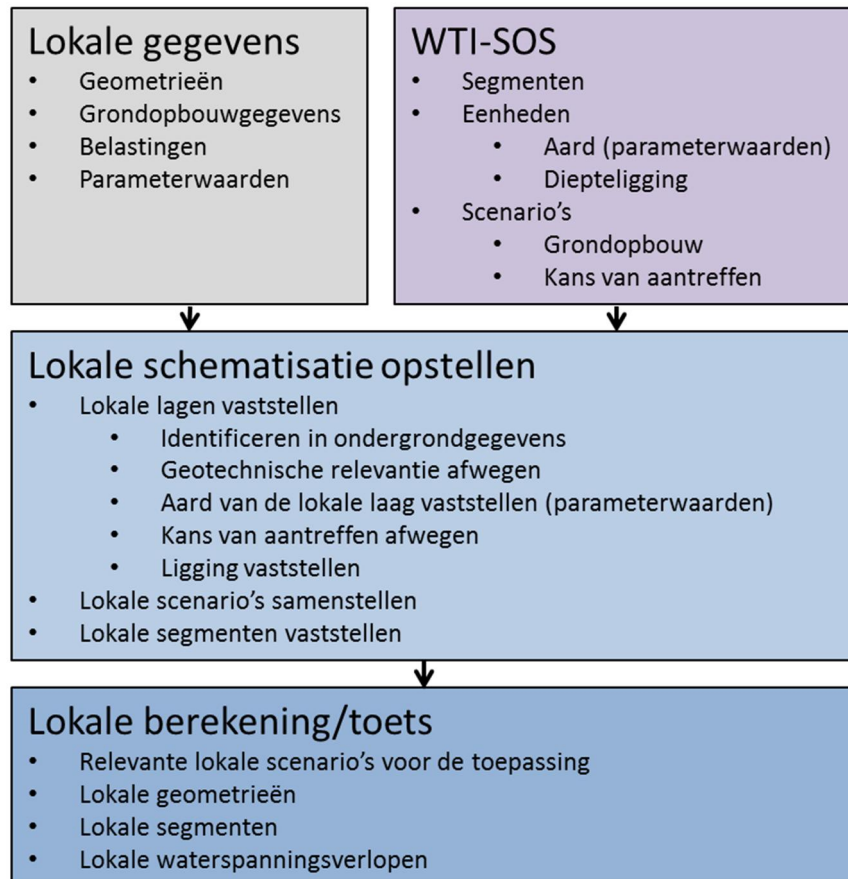
### 1.5 WTI-SOS en lokaal schematiseren

De informatie van WTI-SOS en de voorhanden grondgegevens vormen de basis voor het lokaal schematiseren van de ondergrond voor gebruik bij het toetsen. De werkwijze is gericht op het vaststellen van de lokaal relevant geachte grondlagen met de bijbehorende diepteintervallen en van de waarden voor de verschillende grondparameters voor die lagen (zie Figuur 1.5). De lagen en de mogelijke grondopbouwscenario's worden vastgesteld al naar hun relevantie voor de geotechnische toepassing en het toetsen. De detaillering van WTI-SOS kan betrekking hebben op:

- Onderverdelen van WTI-SOS eenheden in lokale lagen.
- Specificeren van het diepte-interval van de lagen.
- Specificatie van het stuk van de waterkering waar bepaalde lokale lagen kunnen worden aangetroffen.
- Vaststellen lokale grondopbouwscenario's.
- Vaststellen van de grondeigenschappen van de lokale lagen.

Bij het opstellen van een lokale schematisatie voor het toetsen moet een stappenplan doorlopen worden dat in hoofdstuk 2 is samengevat. Voor het toetsen wordt voor de verschillende faalmechanismen de grondopbouw in termen van lokale lagen vastgesteld met een uitspraak over de betekenis van die laagopbouw voor de veiligheid van de waterkering. Tijdens het toetsen kunnen alle lokale scenario's getoetst worden, maar bijvoorbeeld ook maar 1 maatgevend geacht scenario of een deel van de lokale scenario's. Voor elk van deze scenario's kan dan de faalkans uitgerekend worden (Jongejan en Klerk, 2015). Indien met maar 1 lokaal grondopbouwscenario getoetst gaat worden, een deterministische toets, moet er een voor de doelstelling representatieve grondopbouw vastgesteld kunnen worden. De WTI-SOS scenario's dienen daarbij dan om efficiënt de daarvoor relevante typen grondopbouw vast te kunnen stellen en eigenschappen aan lagen toe te kunnen wijzen. In de praktijk komt het er op neer dat van de mogelijke scenario's er één maatgevend wordt

genoemd en dat met dat scenario gerekend gaat worden. Indien stochastisch getoetst gaat worden structureren de WTI-SOS scenario's het opstellen van lokale grondopbouwscenario's en het toewijzen van grondeigenschappen en helpen bij het beoordelen van de onzekerheden.



*Figuur 1.5 De componenten die gebruikt worden bij het schematiseren van de ondergrond. Met ondergrondgegevens en met de informatie van WTI-SOS kunnen lokale grondopbouwscenario's worden opgesteld die in berekeningen en overige evaluaties kunnen worden gebruikt voor het toetsen.*

De bijdragen van WTI-SOS aan het lokaal schematiseren kunnen samenvattend onderscheiden worden in:

- Algemene karakterisering van de grond voor een dijkstrekking, zonder de ondergrondgegevens te hoeven analyseren (bijvoorbeeld: “veel veen”, of “er kunnen zandbanen voorkomen op 3 m -NAP”, of “er is grote variatie in dikte kleipakketten”, of “het basis zandpakket begint op 20 - 25 m –NAP”).
- Een eerste algemene schematisering van de grondopbouw in scenario's waarmee dan gevoeligheden kwantitatief nagegaan kunnen worden voor een gebied, meest in combinatie met het karakteriseren van de grond (bijvoorbeeld vragen als: “heeft de WTI-SOS laag van 2.5 m dikte op 8 m diepte waarin vaak sublagen met een geschatte geringe sterkte voorkomen mogelijk nog invloed op de stabiliteit”, of, “kan de kleilaag die bij maaiveld op veen voorkomt misschien opbarsten voorkomen als die 1.0 m dik zou zijn”).
- Leidraad bij het indelen in lokaal gedefinieerde lagen van de ondergrond met waarnemingen (sondeer- en boorstaten) om een consistente indeling van de ondergrond te verkrijgen voor onder andere het schatten van kansen van aantreffen van lagen of van een bepaalde grondopbouw.



- Leidraad bij het indelen in lokale lagen van de ondergrond met waarnemingen (sondeeren en boorstaten) om een consistente indeling te verkrijgen voor de laagkarakteristieken ten behoeve van het toekennen van parameterwaarden.

## 1.6 Afbakening handleiding

Het toetsen van dijken wordt uitgevoerd om volgens een uniforme methodiek de veiligheid van waterkeringen in relatie tot de vereiste veiligheid vast te stellen. Los van de ondergrond, moeten ook andere aspecten die voor het toetsen van belang zijn geschematiseerd of vastgesteld worden, bijvoorbeeld de hydrologische condities, de dijkgeometrie, de dijkbekleding, de opbouw van de dijk en stijghoogtes. Deze handleiding is echter volledig gericht op de opbouw van de ondergrond en gaat niet of nauwelijks in op de andere aspecten. In hoofdstuk 6 wordt enkele aspecten kort aangestipt als deze een relatie hebben met de opbouw van de ondergrond. De andere aspecten worden uitgebreid behandeld in de betreffende schematiseringshandleidingen voor piping (2015), macrostabiliteit (2015) en zettingsvloeiing (2015).

## 1.7 Opzet van de handleiding

De handleiding beschrijft het lokaal schematiseren van de ondergrond voor het toetsen met gebruik van de WTI-SOS. De handleiding betreft een onderwerp waarvoor weinig tot geen bronnen in de gepubliceerde literatuur bestaan, behoudens algemene opmerkingen over de noodzaak er voldoende aandacht aan te besteden, de noodzaak "voldoende" gegevens te verzamelen en opmerkingen over het toepassen van statistische en visualisatie technieken. Een deel van de elementen die met schematiseren te maken hebben is opgenomen in bestaande technische rapporten (zie onder andere TRGS, 2012) en betreffen onderdelen van het schematiseren die aan de orde zijn als er al een schematisatie van de ondergrond is, of algemene aanwijzingen over informatie die voor schematisaties gebruikt kunnen worden. De zaken die de opbouw van de ondergrond en het indelen ervan op basis van vaak summere gegevens betreffen, zijn niet in die technische rapporten opgenomen behoudens de algemene opmerkingen. Om in dit hiaat te voorzien worden er in deze handleiding regelmatig aspecten belicht die meer het karakter van een "handboek" hebben dan van een handleiding voor gebruik bij het toetsen. In de handleiding komen ook verschillende afwegingen voor het schematiseren van de opbouw van de ondergrond aan de orde die weinig gedefinieerd zijn. Mede gezien deze afwegingen, kan de handleiding niet als "kookboek" functioneren, maar vormt het wel een essentiële leidraad voor het schematiseren van de ondergrond voor het toetsen van dijken.

In hoofdstuk 2 wordt een samenvatting gegeven van de stappen die gevolgd moeten worden bij het toetsen. Hoofdstuk 3 geeft een overzicht van de werkzaamheden die bij deze stappen horen, wat daarvoor benodigd is en wat de resultaten ervan zijn. Hoofdstuk 4 gaat dieper in op enkele aspecten van het lokaal schematiseren, met name het aanpassen van segmentgrenzen en het aanpassen van scenario's. Hoofdstuk 5 beschrijft de relatie tussen de hoeveelheid grondonderzoek en de zekerheid waarmee de aan- of afwezigheid van bepaalde eenheden bekend kan zijn. Het geeft handvatten waarmee bepaald kan worden of er extra grondonderzoek gewenst is. In hoofdstuk 6 worden enkele concrete voorbeelden van het lokaal schematiseren gegeven en worden enkele afwegingen gegeven bij het opstellen van lokale schematisaties voor de verschillende faalmechanismen. Dit hoofdstuk vormt een brug naar de schematiseringshandleidingen voor de verschillende faalmechanismen.



## 2 Stappen bij het lokaal schematiseren van de ondergrond

Voor het toetsen van de ondergrond met WTI 2107 zal gebruik gemaakt worden van lokale schematisaties van de ondergrond. In dit hoofdstuk wordt het stappenplan samengevat dat gevolgd moet worden om vanuit WTI-SOS de lokale schematisaties efficiënt op te stellen. Er is een vijftal stappen te onderscheiden die, afhankelijk van de toepassing, in meer of minder detail uitgevoerd kunnen worden (Figuur 3.1). Het is niet ongewoon dat er één of meerdere cycli van de stappen 3 tot en met 5 doorlopen worden om effecten van grondopbouw en overige omstandigheden te kunnen beoordelen. In deze handleiding wordt met name ingegaan op de stappen 3 en 4 en wordt kort ingegaan op implicaties van de geotechnische beschouwingen in stap 5 en de relatie van deze stap tot de verschillende schematiseringshandleidingen. Dit hoofdstuk geeft een kort overzicht van deze vijf stappen, in hoofdstuk 3 worden deze stappen uitgebreid beschreven. In hoofdstuk 6 worden enkele concrete voorbeelden gegeven.

### 2.1 STAP 1: Verzamelen gegevens

Dit betreft met name grondonderzoek, gegevens over de dijkstrekking, AHN of andere LIDAR gegevens en WTI-SOS. Eventueel omvat dit ook geologische kaarten, GeoTop en dergelijke informatie, maar het WTI-SOS vat het grootste deel van deze geologische informatie al samen en correct gebruik van deze geologische informatie vereist de nodige ervaring. Een overzicht van de gebruikte data bij het opstellen van WTI-SOS staat in Hijma en Lam (2015). Tijdens het lokaal schematiseren zijn ook data over en inzichten in andere aspecten dan de ondergrond noodzakelijk. Deze staan beschreven in de schematiseringshandleidingen voor de verschillende faalmechanismen. Ondergrondgegevens (boringen en sonderingen) van beheerders die voor 2015 al beschikbaar waren in DINOloket zijn reeds gebruikt bij het opstellen van WTI-SOS. Veel waterschappen beheren echter een archief van ondergrondgegevens (papieren rapporten, ingescande sonderingen) dat niet in DINOloket beschikbaar is. Deze gegevens kunnen veel toegevoegde waarde hebben bij het opstellen van een lokale schematisatie. Dit geldt ook voor gegevens die vanaf 2015 verzameld zijn en derhalve niet via DINOloket beschikbaar waren tijdens het opstellen van WTI-SOS.

### 2.2 STAP 2: Ordenen gegevens

Dit kan onder andere door de volgende stappen te doorlopen:

1. Weergeven van het kaartaanzicht van de te onderzoeken dijkstrekking (in GIS of op papier), bij voorkeur in relatie tot de omgeving (via Google Earth of AHN).
2. Weergeven boor- en sondeerstaten van de strekking op een lengteprofiel (beeldscherm (D-Soil Model, iMOD) of papier).
3. Eventueel weergeven van geologische kaarten, boringen en dergelijke informatie in GIS en van diepteprofielen, op papier of digitaal.

### 2.3 STAP 3: Eerste analyse van de grondopbouw met WTI-SOS

Deze analyse dient voor een algemene beoordeling van de karakteristieken van de ondergrond in de strekking. De te volgen stappen zijn:

1. Vaststellen van de ligging van de te onderzoeken strekking t.o.v. WTI-SOS segmenten.
2. Vaststellen van de WTI-SOS scenario's en van de WTI-SOS eenheden.
3. Vaststellen hoe de WTI-SOS eenheden eruit zien in de ondergrondgegevens.
4. Vaststellen van de hoogte- en diepteligging van de WTI-SOS eenheden voor de locatie.

5. Vaststellen of er WTI-SOS scenario's zijn die zodanig zettingsgevoelig zijn dat er 2D dwarsprofielen voor gemaakt moeten worden.
6. Vaststellen of er een systematisch verschil is tussen binnen- en buitendijkse maaiveldhoogten.
7. Vaststellen en aangeven waar een systematisch verschil in maaiveldligging relevant is in verband met de aard van de grondopbouw.
8. Vaststellen van de noodzaak van een 2D profiel in verband met relevante verschillen in binnen- en buitendijkse opbouw.
9. Eventueel een eerste kwantitatieve analyse van de effecten van de ondergrondopbouw op de dijkveiligheid.
10. Vastleggen van de bevindingen.

#### **2.4 STAP 4: Nadere detaillering van de WTI-SOS scenario's**

Deze stappen zijn bedoeld voor het vaststellen van grondopbouwen voor geotechnische analyses. Hierbij wordt op basis van lokaal grondonderzoek de ondergrondopbouw verder gedetailleerd:

1. Vaststellen of WTI-SOS scenario's niet voorkomen in de ondergrondgegevens teneinde de noodzaak voor aanvullende informatie na te gaan.
2. Onderscheiden en identificeren van lokale lagen. Eventueel toekennen van grondeigenschappen aan de lokale lagen.
3. Vaststellen waar de grondopbouw verandert in de beschouwde strekking.
4. Toekennen van parameterwaarden aan lokale lagen.
5. Vaststellen of het beschikbare grondonderzoek voldoende is om met voldoende zekerheid de scenario's voor elk van de faalmechanismen vast te stellen (zie ook hoofdstuk 5). Indien extra gegevens worden verzameld kunnen stappen 1 tot en met 3 herhaald worden.
6. Lokale laagindeling en grondopbouwscenario's vaststellen voor het lokale segment
7. Mogelijk een kwantitatieve analyse van de effecten grondopbouw op de dijkveiligheid om zo vast te stellen of de grondopbouw in één of meer scenario's mogelijk voor een mechanisme kritieke lagen of laagdieptes bevat.
8. Eventueel een 2D profiel opstellen in verband met compactie van grond onder de dijk
9. Eventueel een 2D profiel opstellen in verband met verschillen in grondopbouwscenario's in het dwarsprofiel van de dijk.
10. Vastleggen van bevindingen.

#### **2.5 STAP 5: Vaststellen te toetsen scenario's**

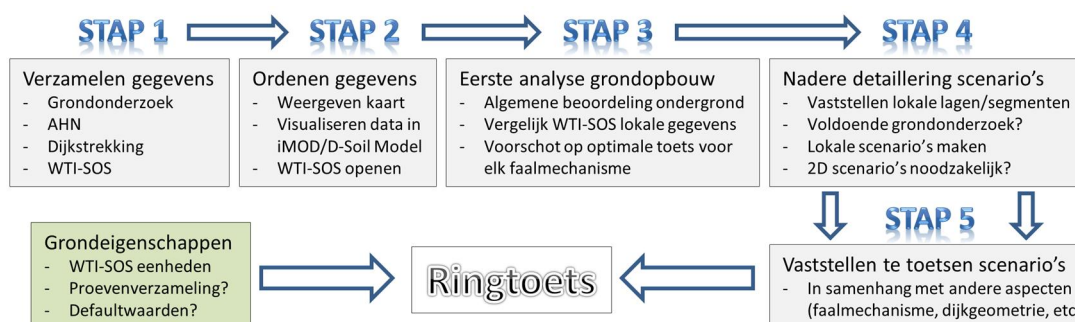
In deze stap wordt vastgesteld welke scenario's verder geëvalueerd worden binnen Ringtoets. Dit kan een enkel of meerdere scenario's betreffen. Tijdens deze stap kan ook alsnog besloten worden dat aanvullend grondonderzoek nodig is. Na het beschikbaar komen van de grondgegevens moet stap 4 dan (deels) opnieuw doorlopen worden.

### 3 Nadere beschrijving van de te volgen stappen

#### 3.1 Algemeen

In dit hoofdstuk worden de werkzaamheden uit het stappenplan van Hoofdstuk 2 nader beschreven (Figuur 3.1). Het geeft een overzicht van de aspecten die bij het schematiseren van de ondergrond voor het toetsen van dijken aan de orde komen en geeft aan welke elementen voldoende vastgelegd moeten worden om de kwaliteit van een schematisering van een dijkstrekking te kunnen borgen. Er wordt vanuit gegaan dat stappen 1 en 2, het verzamelen en ordenen van de informatie, niet nader toegelicht hoeft te worden. Delen van stap 2 zullen wel in de handleiding van het in ontwikkeling zijnde programma D-Soil Model beschreven worden. Het is belangrijk bij Stap 1 zoveel mogelijk grondonderzoek te verzamelen. Het wordt sterk aanbevolen eventueel grondonderzoek dat alleen op papier beschikbaar is te digitaliseren en aan de DINOloket-database toe te voegen. De onderscheiden stappen die gevolgd moeten worden bij het lokaal schematiseren doen geen recht aan de omstandigheid dat zeker een aantal van deze elementen in de praktijk vaak in één handeling of gedachtengang samenvallen. Veel van de stappen worden in de huidige toetspraktijk ook al uitgevoerd, maar worden meestal niet als zodanig benoemd en herkend. Specifieke uitbreidingen in het kader van WTI 2017 hebben betrekking op:

- Het meer eenduidig vaststellen van de aard van lagen voor onder andere toewijzen van parameterwaarden.
- Consistentie in het opnemen van lagen in de schematisering.
- Expliciete beschouwing van kansen van aantreffen van grondopbouwscenario's.



Figuur 3.1 Overzicht van de vijf stappen die doorlopen moeten worden bij het lokaal schematiseren van de ondergrond. De "Grondeigenschappen" box voegt de benodigde grondeigenschappen toe die behoren bij de WTI-SOS eenheden. Dit kunnen default waarden zijn of lokaal vastgestelde waarden indien er voldoende informatie beschikbaar is (zie ook paragraaf 4.4).

Het schematiseren zal worden ondersteund door D-Soil Model, eventueel met ondersteuning van visualisatie software zoals het Deltares softwarepakket iMOD of GIS-programma's. Hoofdstuk 4 gaat verder in op een aantal belangrijke aspecten, zoals het opknippen van segmenten en het aanpassen van kansen van aantreffen. In hoofdstuk 6 zijn enkele concrete voorbeelden uitgewerkt.

### 3.2 STAP 3: Eerste analyse grondopbouw met WTI-SOS

De eerste analyse dient voor een algemene beoordeling van de karakteristieken van de ondergrond teneinde het toetsen te. Karakteristieken van de ondergrond worden in deze stap op basis van de WTI-SOS scenario's vastgesteld en beoordeeld:

1. Vaststellen van de ligging van de te onderzoeken strekking t.o.v. WTI-SOS segmenten  
De strekking of locatie kan één of meerdere WTI-SOS segmenten omvatten. Hierbij moet bedacht worden dat de WTI-SOS segmenten gelden tot ongeveer 100 m voorbij de opgegeven segmentgrens in verband met de gangbare datadichtheid van waarnemingen. In sommige gevallen, nabij WTI-SOS segmentgrenzen, moet daarom ook de informatie over aangrenzende WTI-SOS segmenten worden beschouwd.
2. Vaststellen van de WTI-SOS scenario's en van de WTI-SOS eenheden  
De WTI-SOS scenario's van de te beschouwen WTI-SOS segmenten moeten bekeken worden. De algemene opbouw van de ondergrond en de variatie daarin wordt hiermee vastgesteld (bijvoorbeeld: er kunnen meerdere meters veen beneden 4 m -NAP, voorkomen, of het is mogelijk dat zand binnen 2 m van de slootbodembodem komt). De WTI-SOS scenario's en segmenten kunnen in D-Soil Model weergegeven worden.
3. Vaststellen hoe de WTI-SOS eenheden eruit zien in de ondergrondgegevens  
Het herkennen van de eenheden in het beschikbare grondonderzoek ondersteunt de analyse van de grondopbouw voor de lokale schematisering. Het gaat hierbij om patronen in sondeerstaten en laagbeschrijvingen in boorstaten. Een leidraad hierbij vormen de opbouw van de scenario's en de beschrijvingen van de eenheden in Hijma en Lam (2015). Karakteristieken van de eenheden als eventuele gelaagdheid en eventuele variaties langs de dijkstrekking kunnen bij de nadere analyse ingezet worden (paragraaf 3.3). In eerste instantie wordt de herkenning uitgevoerd aan de hand van een selectie uit de ondergrondgegevens (meer dan ongeveer 5 per km dijk. Boor- en sondeerstaten tot enkele honderden meters uit de dijk kunnen daarbij gebruikt worden. De gebruiker maakt zich de WTI-SOS eenheden op de locatie eigen met inbegrip van de aanwezige variaties erin. Voor het identificeren van lagen is een weergave van de boor- en sondeerstaten in een profiel langs de dijk, zoals met D-Soil Model of iMod (Figuur 3.2) of als (pdf-) plot handig.
4. Vaststellen van de hoogte- diepteligging van de WTI-SOS eenheden voor de locatie  
De geleverde WTI-SOS informatie bestaat onder andere uit de minimale, maximale en modale diepteligging van de bovenkanten van de eenheden. In deze stap moet in de ondergrondgegevens vastgesteld worden welke diepteliggingen in het onderzoeksgebied voorkomen. Dit is nodig om de invloed van de diepteligging van eenheden ten opzichte van de dijk en maaiveld vast te stellen en de invloed ervan te kunnen beoordelen. Een conclusie kan zijn dat bepaalde eenheden niet verder in beschouwing genomen hoeven te worden in verband met een te diepe ligging of dat detaillering van de diepteligging van bepaalde lagen nodig is in verband met verwachte gevoeligheid van het betreffende faalmechanisme.
5. Vaststellen of er WTI-SOS scenario's zijn die zodanig zettingsgevoelig zijn dat er 2D dwarsprofielen voor gemaakt moet worden.  
De mogelijke zetting kan worden bepaald op basis van lokaal grondonderzoek, op basis van een zettingsberekening, of in eerste instantie op basis van ervaring (Figuur 3.3). D-Soil Model ondersteunt het maken van 2D-profielen.

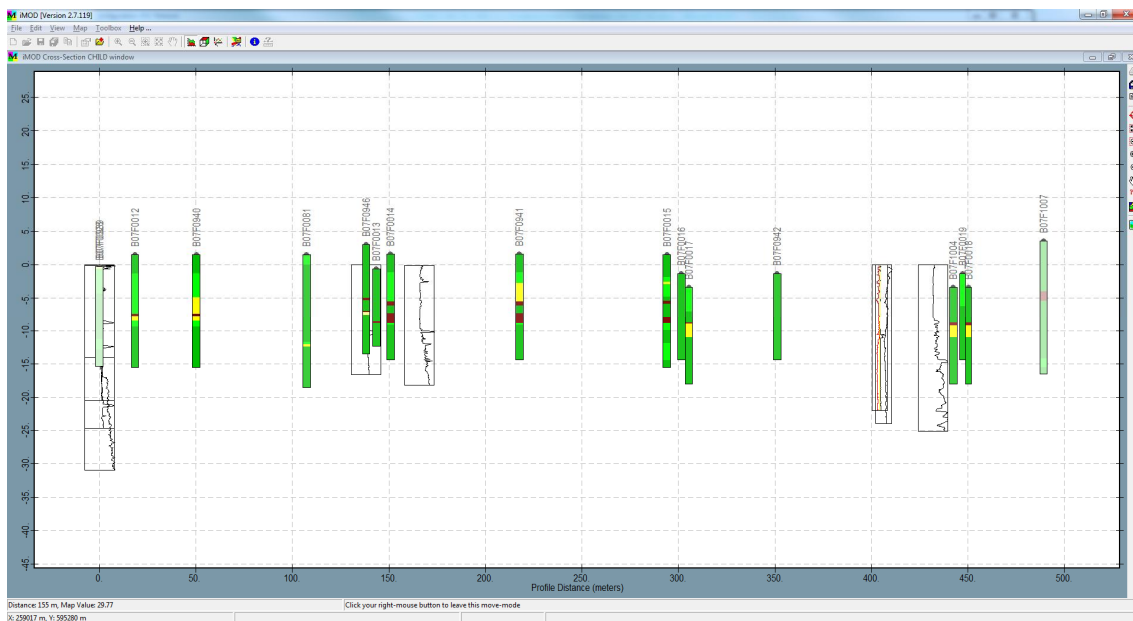
6. Vaststellen of er systematisch verschil is tussen binnen- buitendijkse maaiveldhoogten  
 Dit kan op basis van het AHN of andere hoogtegegevens. De maaiveldhoogte van de WTI-SOS scenario's vormen de gemiddelde hoogte van maaiveld aan de binnentoe van de dijk. Hierbij moet ook de aard van de ondergrond voor het hoger gelegen maaiveld vastgesteld worden, bijvoorbeeld of deze bestaat uit:
- Veel aangebrachte grond (met boorstaten vaststellen of het kleiige grond of zand betreft).
  - Natuurlijk opgeslibde grond, bijvoorbeeld uiterwaarden met zandige of sterk siltige klei (zie eventueel ook Cohen et al., 2014).
  - Aan- of afwezigheid van dikkere pakketten niet-vergaan of afgegraven veen.
7. Vaststellen en aangeven waar een systematisch verschil in maaiveldligging relevant is  
 Waar deze relevant is voor het faalmechanisme moeten bijbehorende aanpassingen gemaakt worden, bijvoorbeeld:
- Ophogen met grondlaag van de betreffende grondsoort op de WTI-SOS scenario's die voor het binnendijkse "vrije veld" zijn opgesteld.
  - Ophogen met alternatieve grondsoort, afhankelijk van lokaal grondonderzoek en overige bevindingen.
  - Verlagen maaiveld in de WTI-SOS.
8. Vaststellen van de noodzaak van een 2D profiel in verband met relevante verschillen in binnen- en buitendijkse opbouw  
 Op basis van stappen 6 en 7, en eventueel op basis van relevante verschillen in binnen- en buitendijkse boor- en sondeerstaten, kan blijken dat een combinatie van twee (of zelf meer) verschillende scenario's voor binnen en buitenzijde van de dijk tot een verhoging van de faalkans zal leiden. In zulke gevallen moet een 2D-profiel opgesteld worden bij de nadere detaillering van de scenario's (Stap 4).
9. Eventueel een eerste kwantitatieve analyse van de effecten van de ondergrondopbouw op de dijkveiligheid  
 Deze stap kan eventueel overgeslagen worden en pas uitgevoerd worden in stap 4. Deze stap zou uitgevoerd kunnen worden door de globale WTI-SOS scenario's door te rekenen in RingToets of, mocht dit lastig zijn, eventueel in losstaande software voor de verschillende faalmechanismen. Deze stap kan nader inzicht geven of bepaalde scenario's relevant zijn voor de toets en waar eventueel de nadruk op zou moeten liggen bij het detailleren. Indien sommige segmenten evident veilig zijn voor een bepaald faalmechanisme, kan overwogen worden de WTI-SOS scenario's niet verder te detailleren. Deze analyse berust op ervaring, aangevuld met inzichten uit de schematiseringshandleidingen. De stap dient eventueel voor:
- Nagaan van gevoeligheden van faalmechanismen voor de schematisatie om eventuele noodzaak van nadere detaillering te beoordelen.
  - Nagaan van gevoeligheden van faalmechanismen voor indicatieve waarden voor geotechnische parameters van de WTI-SOS eenheden in de WTI-SOS scenario's.
  - Nagaan welke scenario's en geselecteerde geometrie van dijk en omgeving van belang zijn voor de faalkans en variatie daarin voor specifieke faalmechanismen .
  - Analyse van uitkomsten en evaluatie van betekenis ervan voor het toetsen. Mogelijk volstaat die eerste analyse voor een voldoende oordeel voor de toets. Zo'n beoordeling is mogelijk als er is uitgegaan van conservatief gekozen waarden voor diepteliggingen en geotechnische parameters voor de WTI-SOS eenheden en van conservatief gekozen aannamen voor overige omstandigheden,

(bijvoorbeeld leklengte, of maatgevend profiel). Mogelijk wordt ook duidelijk dat het segment in geen geval een voldoende oordeel zou kunnen krijgen.

#### 10. Vastleggen van bevindingen

De volgende zaken moeten worden vastgelegd in een te kiezen medium:

- Welke WTI-SOS segmenten beschouwd moeten worden.
- WTI-SOS scenario's die van toepassing zijn.
- Afwijkende diepteliggingen van WTI-SOS eenheden ten opzichte van de WTI-SOS scenario's.
- Aangeven of er zettingsgevoelige scenario's zijn waarvoor 2D-schematisaties nodig zijn.
- Aangeven of er relevante verschillen in maaiveldhoogte binnen- en buitendijks en waardoor deze verschillen worden veroorzaakt.
- Gedane aanpassingen op basis van maaiveldverschillen.
- Aangeven of 2D-schematisaties nodig zijn in verband met verschillen tussen binnen- en buitendijkse grondopbouw.
- Resultaten van een eventuele eerste kwantitatieve analyse en de betekenis daarvan voor de toets.



Figuur 3.2 Voorbeeld uit iMOD van een verticaal langsprofiel met sondeer-en boorstaten in een opgegeven zone rond de waterkering. De breedte van de zone rond de dijk en de wijze van weergave kunnen interactief aangepast worden. In de sondeerstaten kunnen alle meetgegevens in de GEF-file, inclusief wrijvingsgetal, geplotted worden. Details van individuele sondeer-en boorstaten kunnen rechtstreeks geraadpleegd worden in detail-vensters in iMOD.

### 3.3 STAP 4: Nadere detaillering van de WTI-SOS scenario's

In stap 4 worden de WTI-SOS scenario's nader gedetailleerd en worden lokale schematisaties opgesteld. De verschillende elementen van deze detaillering worden hieronder opgesomd en uitgewerkt. Deze stappen moeten voor elk faalmechanisme apart doorlopen worden.



### 1. Vaststellen of WTI-SOS scenario's niet voorkomen

Als onderbouwd kan worden dat WTI-SOS scenario's die niet in de ondergrondgegevens aangetroffen zijn inderdaad niet voor zullen komen, hoeven deze scenario's niet verder beschouwd te worden. De kans van aantreffen kan dan op 0% worden gezet. Het niet voorkomen van WTI-SOS scenario's is mogelijk, omdat (i) tijdens het opstellen van WTI-SOS ook scenario's zijn opgenomen die niet zichtbaar waren in de geraadpleegde waarnemingen, maar op basis van inzicht zijn toegevoegd of dat (ii) het WTI-SOS scenario niet aanwezig is in de te toetsen strekking die onderdeel is van een langer WTI-SOS segment. In het geval dat niet met voldoende zekerheid kan worden uitgesloten dat die (relevante) scenario's niet aangetroffen worden, dienen deze uiteraard wel in de beschouwing opgenomen te worden. Hierbij moet afgewogen worden of verdichten van het boringen- en sonderingennet nodig is (zie Hoofdstuk 5), omdat het ontbreken van WTI-SOS scenario's in de ondergrondgegevens het gevolg kan zijn van een onvoldoende dicht waarnemingennet.

### 2. Onderscheiden en identificeren van lokale lagen

De lokale lagen dienen relevant voor het toetsen te zijn, met andere woorden, het toevoegen van lokale lagen is alleen nodig als dit tot een significant ander toetsresultaat leidt. Dit is niet altijd op voorhand af te wegen, waarbij ervaring een rol speelt. Bij twijfel kan een apart scenario toegevoegd waarin een lokaal onderscheiden laag al dan niet aanwezig is en kan na een kwantitatieve afweging vastgesteld worden of de detaillering voor het toetsen relevant is. Het identificeren van de lokale lagen kan met lokaal beschikbaar grondonderzoek. De eenheid H\_Rk\_ko (organische rivierkomklei) kan bijvoorbeeld bestaan uit meer en minder organische lagen of relevante veenlagen en onderscheid tussen deze lagen kan voor het toetsen relevant zijn. Het is vaak efficiënt om het onderscheiden van de lokale lagen voor grotere aantallen waarnemingen in twee stappen uit te voeren, te weten:

- In een (willekeurige) selectie boor- en sondeerstaten (5-10 per km) de lokale lagen identificeren met de bijbehorende WTI-SOS eenheden.
- Alle boor- en sondeerstaten nagaan op het voorkomen van de in stap 1 onderscheiden lagen en eventueel completeren met andere relevante lagen.

### 3. Toekennen van parameterwaarden aan lokale lagen

Bij toekennen van grondeigenschappen aan de lokale lagen vormt de WTI-SOS eenheid waarin deze laag wordt aangebracht het referentiekader voor toewijzing van eigenschappen. De waarden kunnen betrokken worden uit lokale of regionale proevenverzamelingen of uit de NEN 9997 tabel 2.b (zie ook paragraaf 4.4.). Voor de eenduidigheid bij het toewijzen van waarden voor geotechnische parameters moet worden vastgesteld en vastgelegd tot welke WTI-SOS eenheden de geïdentificeerde lokale lagen horen. NB. parameterwaarden van de grond onder dijk zullen vaak afwijken van de waarden naast de dijk.

### 4. Vaststellen waar de grondopbouw verandert in de beschouwde strekking

Het kan nodig zijn het WTI-SOS segment op te knippen om de ondergrond voldoende te karakteriseren voor het toetsen. Bij het knippen moeten de nieuwe segmenten, de lokale segmenten, een unieke identificatie toegekend krijgen. Op een kaart, in GIS of een lengteprofiel, moet aangegeven worden waar de strekkingen van de lokale segmenten liggen. Het opknippen kan bijvoorbeeld op basis van:

- Het onderscheiden van lokale lagen in delen van het WTI-SOS segment.
- significant geachte veranderingen van de dikte van lokale lagen of WTI-SOS eenheden.

- Significant geachte veranderingen van kans van aantreffen van lokale lagen of van grondopbouwscenario's. Het is hierbij van belang de relatieve aantallen en onderlinge afstanden van boor- en sondeerlocaties te beschouwen in samenhang met de verwachte effecten van de verandering voor de faalkans.

5. Vaststellen of het beschikbare grondonderzoek voldoende is om met voldoende zekerheid de scenario's vast te stellen (zie ook hoofdstuk 5).

Schatten van eventueel benodigd aanvullend grondonderzoek voor:

- Het aantonen van de mogelijke aanwezigheid of het uitsluiten van lokale lagen.
- Eventuele nadere lokalisatie van de lokale lagen die kritiek zijn voor falen ten behoeve van optimalisatie van de indeling in lokale segmenten voor de toets.

6. Lokale laagindeling en scenario's vaststellen voor het lokale segment.

Na het identificeren van lokale lagen en het eventueel maken van lokale segmenten, kunnen de lokale lagen en scenario's vastgesteld worden (zie ook hoofdstuk 4). Hierbij zijn de volgende aspecten van belang:

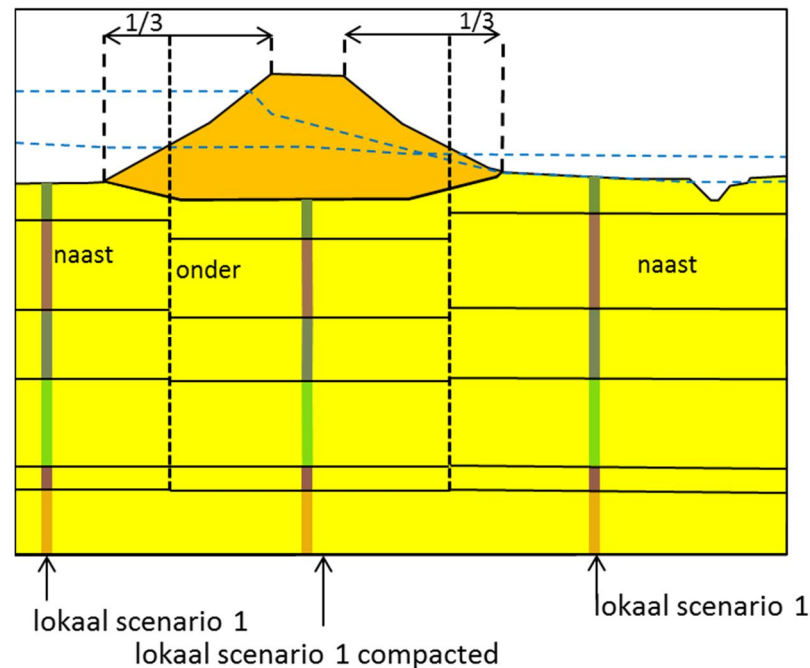
- Er moet vastgesteld worden of de lokale lagen in meerdere, direct naast elkaar gelegen waarnemingen in de strekking van de dijk voorkomen en zo een aaneengesloten laag vormen of dat er gaten in de laag zitten met effect voor de toepassing (zie bijvoorbeeld in Figuur 4.1)
- vaststellen van de aan te houden diepteligging van boven- en ondergrens van alle lokale lagen voor de uit te voeren toets.
- Geef voor elk van de onderscheiden lagen een indicatie van de kans dat deze in een willekeurig in de strekking geplaatste sondering aangetroffen wordt. Hiermee kan de kans van het aantreffen van scenario's met die laag worden bepaald (zie hoofdstuk 4 voor het vaststellen van onderverdelingen en de kansen).
- Er moet een tabel opgesteld worden met specificaties van de relevante lokale scenario's met een verwijzing naar toepassing (piping, macrostabiliteit etc.) en toepassingsbereik voor het toetsen (zeker veilig, maatgevend, gemiddeld etc.) en de kans van aantreffen van elk van de scenario's moet worden vastgesteld.

7. Eventueel een kwantitatieve analyse van effecten van ondergrondopbouw op de dijkveiligheid

Dit kan een eerste kwantitatieve analyse zijn of anders een vervolg op de eerste kwantitatieve analyse in Stap 3.

8. Eventueel een 2D profiel opstellen in verband met compactie van grond onder de dijk

Dit kan nodig zijn omdat de grondopbouw in één of meer scenario's sterk samendrukbare lagen bevat waardoor een aanpassing van de grondopbouw in het dwarsprofiel onder de dijk nodig is (2D-effect). Bepaal de zetting van de onderkant van de dijk en de betreffende lagen op basis van de waarnemingen, dan wel inzicht, of lokale berekening (hiervoor is een spreadsheet beschikbaar met default parameterwaarden. Stel een 2D schematisatie op voor de dijk (zie bijvoorbeeld Figuur 3.3) voor de betreffende scenario's met dikke sterk samendrukbare lagen.



Figuur 3.3 Geschematiseerd dwarsprofiel van een dijk waarin de geometrie is aangepast voor compactie van veen en slappe kleilagen als gevolg van het gewicht van de dijk. De 2D geometrie kan worden opgesteld op basis van benaderende zettingsberekening, waarneming in sondeer- en boorstaten, of uit ervaring bij nabijgelegen dwarsprofielen met eenzelfde dijk- en grondopbouw.

#### 9. Eventueel een 2D profiel opstellen in verband met verschillen in grondopbouwscenario's

Dit is bijvoorbeeld nodig als de mogelijkheid bestaat of bekend is dat twee of meer scenario's naast elkaar onder de dijk of aan weerszijden van de dijk (2D-effect) de veiligheidsfactor negatief zal beïnvloeden ten opzichte van elk van die individuele scenario's. Stel indien nodig een 2D schematisatie in dwarsprofiel op voor de dijk en directe omgeving. Eventueel worden meerdere 2D scenario's voor de 2D aanpassingen vastgesteld. Voor het vaststellen van de kans dat twee scenario's naast elkaar worden aangetroffen onder de dijk zijn geen voldoende eenduidige richtlijnen te geven, anders dan dat die kans kleiner zal zijn dan die voor elk van de afzonderlijke scenario's.

#### 10. Vastleggen van bevindingen

De volgende zaken moeten worden vastgelegd in een te kiezen medium:

- Welke WTI-SOS scenario's niet voorkomen in de te toetsen strekking en een korte onderbouwing waarop deze beslissing is gebaseerd.
- Welke lokale lagen geïdentificeerd zijn en binnen welke WTI-SOS eenheid de lokale lagen vallen.
- De ligging van de lokale segmenten, inclusief een unieke identificatie
- Noodzaak van eventueel aanvullend grondonderzoek voor een voldoende betrouwbare toets met optimaal resultaat en de aard en hoeveelheid van dat eventuele grondonderzoek.
- De lokale scenario's met inbegrip van de eventuele 2D-profielen.
- Resultaten van een eventuele kwantitatieve analyse en van de betekenis daarvan voor de toets.

## 3.4 STAP 5: Vaststellen te toetsen scenario's

Deze stap wordt in deze handleiding kort aangestipt, hier en in hoofdstuk 6, maar wordt in meer detail besproken in de verschillende schematiseringshandleidingen. De selectie van de te toetsen lokale scenario's moet namelijk in samenhang met de andere componenten voor het toetsen worden gemaakt (dijkgeometrie, waterstanden en dergelijke). Het is ook mogelijk dat afwegingen tijdens deze stap er toe leiden dat aanvullend grondonderzoek alsnog gewenst is om bijvoorbeeld lokale, ongunstige lagen, nog verder begrenzen. In de praktijk zal hiertoe waarschijnlijk pas besloten worden na het uitvoeren van een eerste toets. Er moet dan wel bedacht worden of aanvullend grondonderzoek ook het gewenste resultaat zal hebben of dat verdere begrenzing eigenlijk niet mogelijk is (zie ook afwegingen in Hoofdstuk 5). Indien aanvullend grondonderzoek wordt gedaan en de gegevens beschikbaar komen, moeten stappen 4 en 5 dan (deels) opnieuw doorlopen worden. De afwegingen bij het vaststellen van de te toetsen scenario's moeten worden gedocumenteerd.

## 4 Aandachtspunten bij het lokaal schematiseren

### 4.1 Algemeen

Informatie uit lokaal grondonderzoek zal vaak aanleiding zijn om een WTI-SOS schematisering nader te differentiëren voor het toetsen, zowel de aan te treffen scenario's, de kans van aantreffen van scenario's en de segmentgrenzen. De differentiatie dient om het resultaat van het toetsen zodanig te detailleren en toepassings specifiek te maken voor een dijkstrekking dat er voldoende basis is voor verantwoorde beslissingen. Dit hoofdstuk gaat in op enkele belangrijke aspecten van het lokaal schematiseren. Eerst wordt een voorbeeld gegeven van het aanpassen van segmentgrenzen. Daarna wordt ingegaan op het nader detailleren van WTI-SOS scenario's en eventuele gevolgen voor de kansenverdeling van de scenario's. Vervolgens wordt aangegeven hoe parameterwaarden voor grondeigenschappen aan de WTI-SOS eenheden toegekend kunnen worden. Tenslotte worden enkele voorbeelden gegevens van situaties die in de praktijk regelmatig voorkomen, maar waar niet altijd rekening mee gehouden wordt. De voorbeelden in dit hoofdstuk zijn kunstmatig. In hoofdstuk 6 zijn enkele voorbeelden uitgewerkt met "echte" gegevens, waarbij vrijwel alle aspecten van het lokaal schematiseren aan bod komen.

### 4.2 Aanpassen WTI-SOS segmentgrenzen

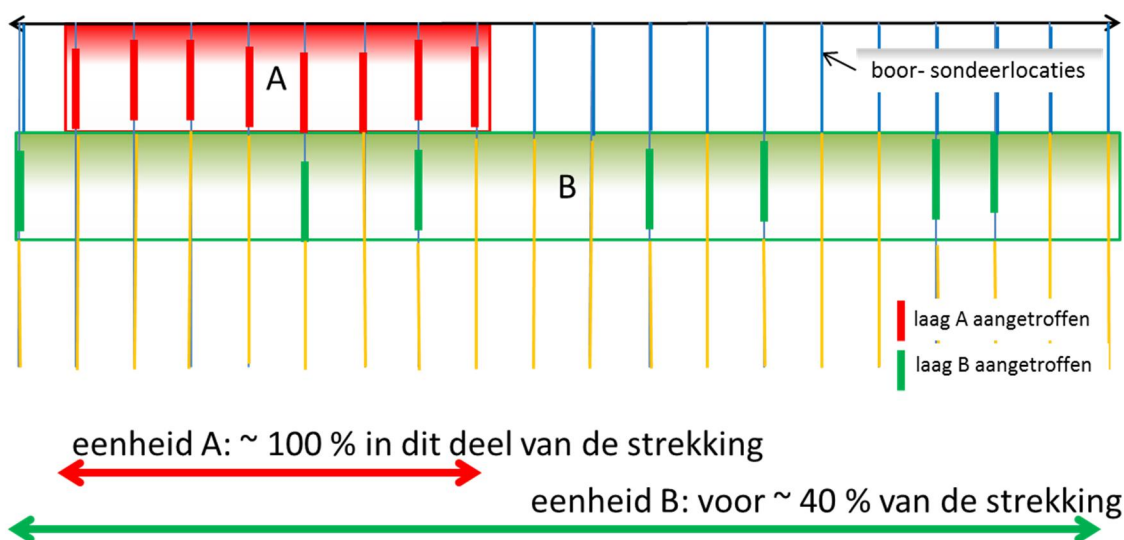
Tijdens het lokaal schematiseren kan blijken dat het gewenst is de WTI-SOS segmenten aan te passen. Er kunnen hier voor verschillende redenen bestaan, onder andere:

- Dat uit lokale ondergrondgegevens blijkt dat een WTI-SOS eenheid, bijvoorbeeld een zandpakket, over een afstand van 500 m in het WTI-SOS segment niet voorkomt of in een ander deel juist aaneengesloten (Figuur 4.1).
- Een systematische verandering van de diepteligging van de boven-, onderkant of dikte van een laag. In een deel van het WTI-SOS segment is een veenlaag bijvoorbeeld tussen de 2 en 3 m dik en in een ander deel tussen de 3 en 4 m dik.
- Verschil in frequentie van het aantreffen van eenheden over een bepaalde afstand. In een deel van het segment wordt bijvoorbeeld een zandpakket op 60% van de meetlocaties aangetroffen en in een ander deel in 10%.

Figuur 4.1 geeft een voorbeeld van een eenheid A die in een deel van WTI-SOS segment in alle waarnemingen aangetroffen is en in een ander deel in geen enkele waarneming. In veel gevallen zal het relevant zijn om hiervoor lokale segmenten vast te stellen en te begrenzen. Voor de lokale segmenten dient dan de kans voor de lokale scenario's aangepast te worden. In het segment waar de laag aaneengesloten voorkomt is de kans van aantreffen dan 100% of bijna 100%. In het andere ontstane segment wordt de kans van aantreffen wellicht heel klein of zelfs 0. In de meeste gevallen zal de keuze voor 0% ten opzichte van bijvoorbeeld 2% niet relevant zijn voor de totale faalkans, tenzij het een sterkt negatief scenario betreft. Als het nieuwe lokale segment waarin eenheid A overal aangetroffen is klein is ten opzichte van de lengte van het oorspronkelijk WTI-SOS segment, dan verandert de kans op eenheid A in het nieuwe lokale segment waarin eenheid A niet is aangetroffen niet of nagenoeg niet. Het is ook mogelijk dat een enkele boor-sondeerstaat wijst op een zeer ongunstige omstandigheid op die locatie, terwijl die in een voldoende dicht grondonderzoek elders niet wordt aangetroffen. In zo'n geval wordt de kans op de ongunstige omstandigheid in de directe omgeving van de waarneming 100%. Afhankelijk van de waarnemingen kan voorshands worden uitgegaan van een lokaal segment van 25 m aan weerszijden van de waarneming. Nader grondonderzoek kan uitsluitsel geven over detail van de ligging van de strekking, maar

voor toetsen is zulk detail vaak niet nodig. In paragraaf 4.3 en hoofdstuk 6 wordt nader ingegaan op het aanpassen van de kansen van aantreffen.

Bij het vaststellen van de lokale segmentgrenzen moet rekening gehouden worden met de onzekerheid die bestaat over de locatie van de grens. Indien de grens alleen op basis van puntwaarnemingen bepaald wordt, is deze onzekerheid in ieder geval de afstand tot de waarnemingen aan weerszijden van de grens. Met name bij gevallen waar verschillende segmenten tot een aanmerkelijk verschil in toetsoordeel leiden kan die onzekerheid van belang zijn. In zulke gevallen kan het relevant zijn om lokaal de afstand tussen meetlocaties te verkleinen. Hiermee kan de omvang van een eventueel goed of niet goed te keuren strekking worden gepreciseerd. In veel gevallen zal het echter volstaan te weten dat er met een bepaalde grondopbouw rekening gehouden moet worden. Opgemerkt wordt dat de keuze om te schematiseren met scenario's voor een belangrijk deel op deze overweging berust.



Figuur 4.1 In een WTI-SOS segment wordt in de (aanvullende) waarnemingen eenheid A in een gedeelte van het WTI-SOS segment overall aangetroffen en in het andere deel nergens. Dit kan de aanleiding zijn om het WTI-SOS segment op te knippen in twee lokale segmenten.

#### 4.3 Aanpassen WTI-SOS scenario's en scenario kansen

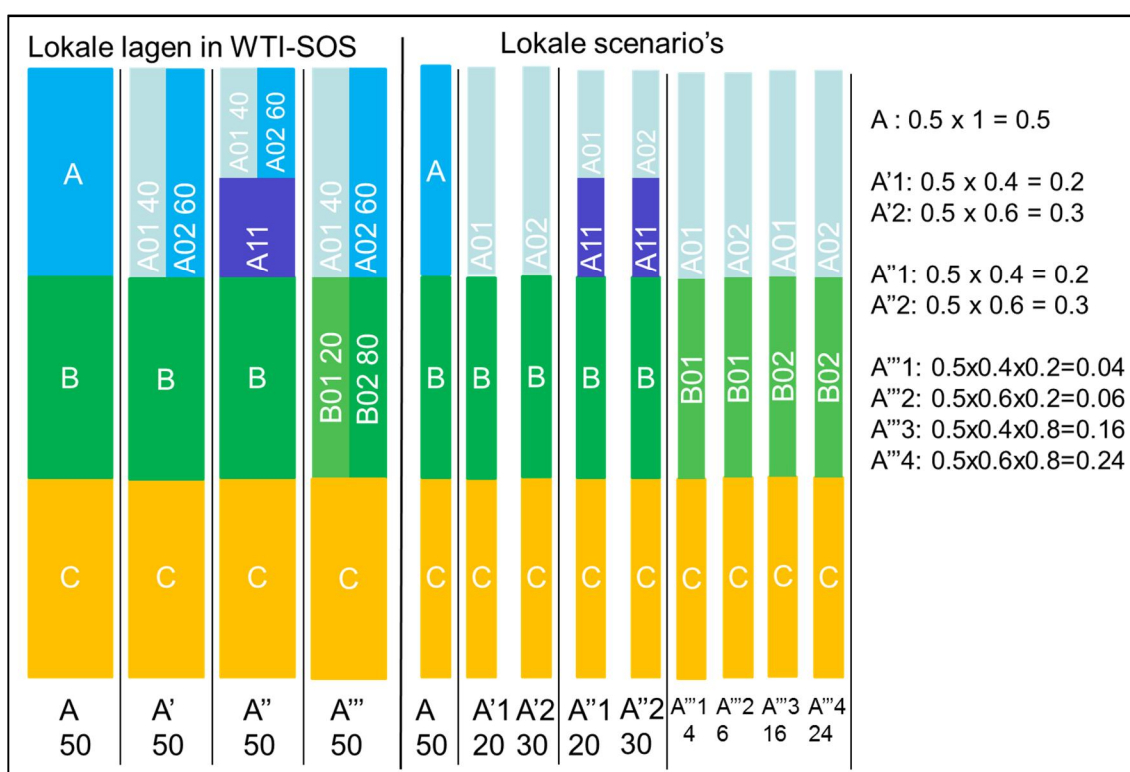
In WTI-SOS is aan alle scenario's een kans van aantreffen toegekend voor een bepaald segment. De kans per scenario is uitgerekend door de kansen van aantreffen van de individuele eenheden in een scenario te vermenigvuldigen (zie Hijma en Lam, 2015, voor een gedetailleerde uitleg van de kansenbepaling). Het vaststellen van de kans van aantreffen van een WTI-SOS eenheid berust op:

- Relatieve frequentie van aantreffen van de eenheid in sondeer- boorstaten.
- Geschatte relatieve lengte van de stukken dijk waaronder de eenheid voorkomt.
- Relatieve frequentie van aantreffen van de eenheid in vergelijkbare gebieden elders.
- Karakteristieken van de afmetingen van de eenheid.
- Kennis van de systematiek in de opbouw van de ondergrond

Het toekennen van de kans is gebaseerd op een indeling in globale klassen. Deze klassen zijn ingedeeld in termen van "zeer geringe kans" tot overall "aanwezig", waarvoor indicatieve getalswaarden zijn vastgesteld. Tevens is voor het aangeven van zeer weinig voorkomende eenheden de relevantie van die eenheden met betrekking tot de toepassing (invloed op faalmechanismen) beschouwd, teneinde het aantal scenario's niet te groot te laten zijn.

De mogelijkheid van het aantreffen van een dunne deklaag op een zandeenheid is bijvoorbeeld belangrijke informatie bij het toetsen voor piping.

Indien deze dunne deklaag een kans van aantreffen heeft van minder dan 5% dan wordt deze toch opgenomen in WTI-SOS. Echter, als een eenheid bijvoorbeeld vrijwel altijd een dikte heeft van 6 m, maar in minder dan 5% van de gevallen een dikte van 7 m, dan kan het zijn dat dit geen relevant verschil is. Is dit laatste het geval, dan wordt het onderscheid verwaarloosd en wordt er geen apart scenario opgesteld, maar wordt deze variatie opgenomen in de toegekende minimale en maximale diepteliggingen.



*Figuur 4.2 Voorbeeld van WTI-SOS eenheden, A, B en C in WTI-SOS scenario A. Een onderverdeling in lokale lagen zou als volgt kunnen zijn: WTI-SOS scenario A heeft in een WTI-SOS segment een kans van aantreffen van 50%. Uit lokale informatie blijkt dat eenheid A kan bestaan uit de lokale laag A01 of A02 (scenario A'). De kans van aantreffen van A01 en A02 in het WTI-SOS segment is bijvoorbeeld 40% respectievelijk 60% van de 50% van eenheid A. De afgeleide lokale scenario's A'1 en A'2 krijgen dan kansen van 20% respectievelijk 30% (zie berekening rechts). In een ander voorbeeld, het lokale scenario A'', bestaat eenheid A uit 2 boven elkaar gelegen lagen, waarvan de bovenste kan bestaan uit lagen A01 of A02. De onderliggende laag heet A11. Dit leidt tot de lokale scenario's A''1 en A''2. In het laatste voorbeeld, het lokale scenario A''', zijn eenheden A en B allebei opgesplitst. Dit leidt tot vier lokale scenario's met de afgeleide kansen van aantreffen.*

De toegekende kansen van aantreffen aan de WTI-SOS scenario's zijn een gefundeerd uitgangspunt om de kansen van aantreffen van de lokale scenario's op te baseren. De aanvullende gegevens kunnen aanleiding zijn om kansen bij te stellen. Figuren 4.2 en 4.3 zijn voorbeelden van het aanpassen van de kans van aantreffen in het geval dat een WTI-SOS eenheid op basis van ondergrondgegevens opgedeeld kan worden in 2 (of meer) lokale lagen, en voor het geval dat een WTI-SOS onderscheid in scenario's voor een toepassing niet relevant is.

Figuur 4.2 is een voorbeeld van een eenheid die uit meerdere onderscheidbare lagen bestaat die elke relevant zijn voor de toepassing.

Dit kan bijvoorbeeld een getijdenafzetting zijn waarvoor met voldoende lokaal grondonderzoek een relevant onderscheid tussen individuele kleiige en zandige lagen gemaakt kan worden voor bijvoorbeeld het nader beoordelen van de kans van optreden van piping of zettingsvloeiingen in een segment. Als een WTI-SOS scenario lokaal in meerdere lokale scenario's uiteenvalt, wordt de kans van het aantreffen van het WTI-SOS scenario verdeeld over die lokale scenario's. In het bijschrift bij de figuur wordt de herverdeling van de kans van aantreffen over de onderscheiden lokale lagen toegelicht. In het geval dat uit lokaal grondonderzoek blijkt dat een WTI-SOS eenheid uit een stapeling van meerdere lokale lagen bestaat, kan de laagindeling daarop worden aangepast. De kansen van aantreffen van die lokale scenario's zijn in dat geval dezelfde als die van het oorspronkelijke WTI-SOS scenario.



Figuur 4.3 Voorbeeld van het samenvoegen van een indeling om het aantal te beschouwen scenario's te optimaliseren, i.e. te beperken. In dit voorbeeld wordt het onderscheid in scenario's door de lagen B01 en B02 niet relevant beschouwd en teniet gedaan. De kansen van WTI-SOS scenario's bedragen respectievelijk 4%, 36%, 6% en 54% voor de scenario's A1-A4. De combinatie van de scenario's A1 en A3, LA1 in de figuur, heeft dan een kans van aantreffen van 10% en de combinatie van A2 en A4, LA2 in de figuur, een kans van 90%.

Figuur 4.3 geeft een voorbeeld van het samenvoegen van scenario's teneinde het aantal te beschouwen scenario's voor een toepassing te beperken. Hierbij wordt opgemerkt dat de WTI-SOS scenario's voor een segment zijn opgesteld om voor alle faalmechanismen de ondergrond van het segment te karakteriseren en bevatten daarom voor individuele faalmechanismen soms te veel informatie over het segment.



Scenario's die slechts verschillen in het aanwezig zijn van eenheden die voor dat faalmechanisme niet relevant zijn, kunnen dan eenvoudig worden samengevoegd.

Bijvoorbeeld het aanwezig zijn van een kleilaag in de wat diepere ondergrond kan voor het beoordelen van het optreden van piping relevant zijn, maar speelt waarschijnlijk geen rol voor de macrostabiliteit. De scenario's waarin de kleilaag wel en niet aanwezig is kunnen dan worden samengevoegd voor de beoordeling van macrostabiliteit en de kans van aantreffen van het nieuwe scenario's is de som van de kansen van de oorspronkelijke scenario's.

#### 4.4 Parameterwaarden voor grondeigenschappen

De WTI-SOS eenheden vormen de kapstok voor de te hanteren grondeigenschappen die op basis van metingen aan grond uit die eenheden moeten worden vastgesteld. Meetgegevens van parameters van monsters uit grond van een WTI-SOS eenheid kunnen worden samengenomen om de parameterwaarde voor de eigenschappen van de eenheid te karakteriseren. De bekende bronnen voor grondparameterwaarden zijn:

- Defaultwaarden (NEN tabel 2.b).
- Lokale bepalingen op monsters.
- Gebiedseigen proevenverzamelingen.
- Expert opinion met afwegingen in verband met de toepassing.

De WTI-SOS eenheden omvatten vaak meerdere soorten grond (bijvoorbeeld fijn zand, kleilig zand en zandige klei). Monsters van die soorten grond kunnen per WTI-SOS eenheid worden samengenomen om de eigenschappen van de grondsoort in die bepaalde WTI-SOS eenheid vast te leggen. Zoals hierboven beschreven kunnen WTI-SOS eenheden opgesplitst worden in relevante lokale lagen. Deze lokale lagen hebben vaak afwijkende grondeigenschappen ten opzichte van de WTI-SOS eenheid waarvan ze afgeleid zijn. Voor de eenduidigheid bij het toewijzen van waarden voor geotechnische parameters moet worden vastgelegd bij welke WTI-SOS eenheden de geïdentificeerde lokale lagen horen. Het aantal metingen dat nodig is om de parameterwaarden vast te stellen voor lokale lagen en WTI-SOS eenheden hangt af van de aangetroffen variatie in de gegroepeerde metingen. De bestaande methodiek (TRGS, 2012) zal daarvoor worden aangehouden. De WTI-SOS eenheden zijn zodanig ingedeeld dat het sterk wordt afgeraden om op het eerste gezicht vergelijkbare soorten grond uit verschillende WTI-SOS eenheden samen te nemen voor karakterisering. Humeuze klei uit het rivierengebied (H\_Rk\_ko) kan significant andere eigenschappen hebben dan humeuze klei uit een getijdenafzetting (H\_Mp\_ko).

Bestaande lokale of regionale proevenverzamelingen kunnen gekoppeld worden aan de WTI-SOS eenheden. Als een reeds bestaande proevenverzameling lagen uit meerdere WTI-SOS eenheden betreft (bijvoorbeeld een veenlaag), kan worden nagegaan of de verzameling onderverdeeld kan worden, dan wel dat de parameterwaarden uit de proevenverzameling voor al de lagen in de WTI-SOS eenheden van toepassing zijn. Zie ook de schematiseringshandleidingen voor de verschillende faalmechanismen.

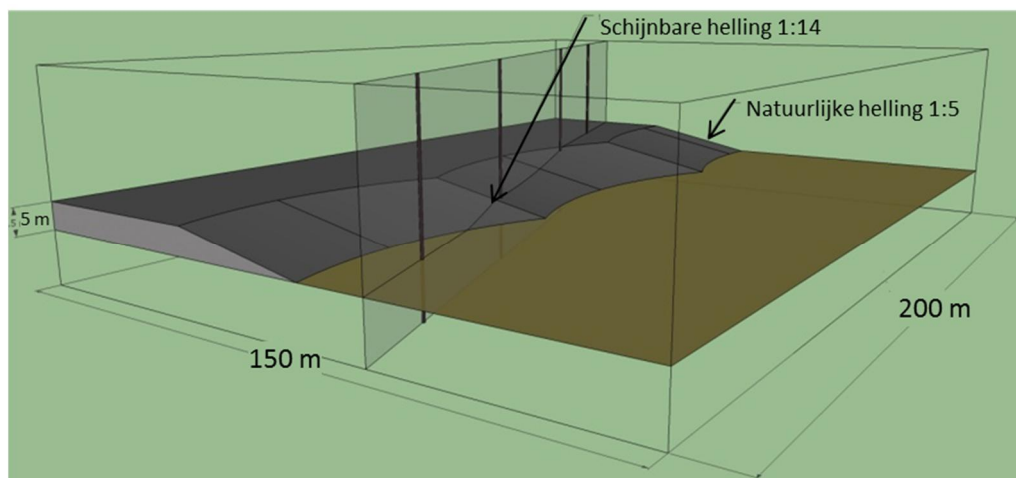
#### 4.5 Opmerkingen over horizontale begrenzingen van lagen en laagdiktes

In veel gevallen zal de kans van aantreffen van WTI-SOS eenheden of lokale lagen gebaseerd zijn op de relatieve frequentie van aantreffen in waarnemingen bij en in de omgeving van de dijk (zie ook Hijma en Lam, 2015). De kansen van aantreffen zijn echter ook deels gebaseerd op inzicht in de systematiek in de opbouw van de ondergrond. Bij het opstellen van de WTI-SOS scenario's is dit inzicht regelmatig bepalend geweest voor het vaststellen van de kansen van aantreffen en het vaststellen van segmentgrenzen. Hieronder worden enkele voorbeelden gegeven van omstandigheden die in de praktijk regelmatig voorkomen en die voor het beoordelen van kansen van aantreffen aan de hand van

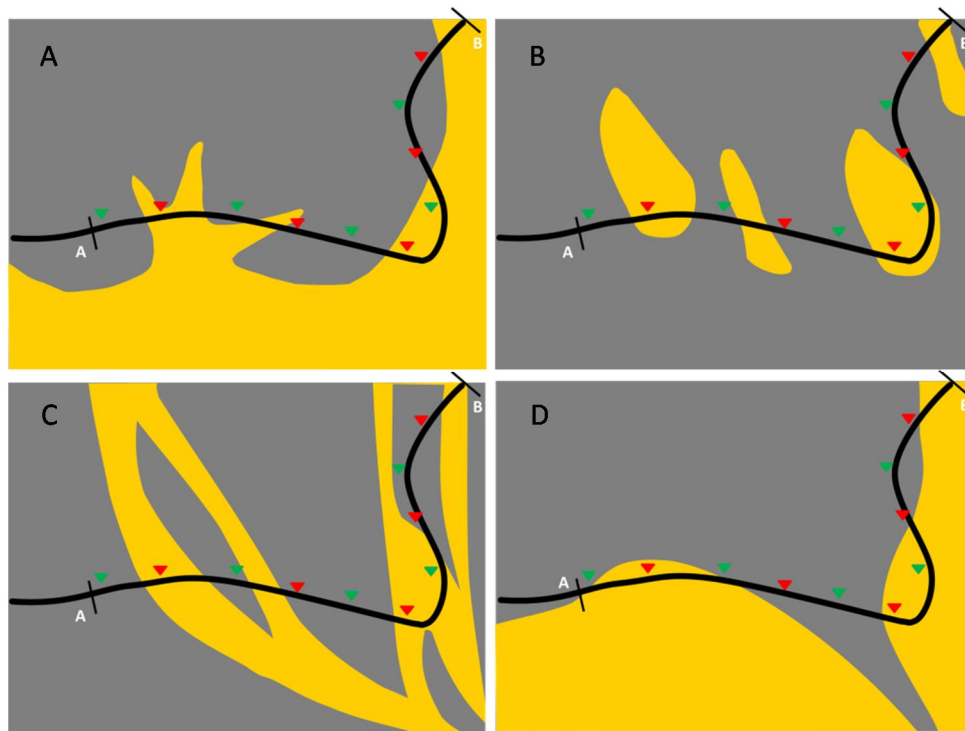
frequentie van aantreffen in waarnemingen van belang kunnen zijn in het kader van het toetsen van een dijkstrekking.

De configuratie van de begrenzing van lagen kan implicaties hebben voor met name faalmechanismen die een grotere breedte rond de dijk betreffen, zoals opdrijven en piping. De figuren in deze paragraaf illustreren dat interpoleren tussen waarnemingen direct langs de dijk lang niet altijd een goede schatting geeft van de ligging van de begrenzing van een bepaalde laag bij een dijk. Bij het opstellen van het WTI-SOS is rekening gehouden met de aard van de ligging van de grenzen. Voor het lokaal schematiseren is het in veel gevallen ook noodzakelijk de mogelijke invloed van variaties in ligging van grenzen te onderkennen voor het toetsen.

In Figuur 4.4 is geschetst dat de gemiddelde of maximale dikte van een laag op een locatie niet eenduidig kan worden vastgesteld met boor- en sondeerstaten die langs een lijn zijn gezet. In de meeste gevallen wordt de helling van een laagscheiding veel flauwer geschat dan in werkelijkheid het geval is, omdat een serie waarnemingen langs een lijn een laagbegrenzing nagenoeg altijd schuin aansnijdt. Er zijn zeer veel waarnemingen, boringen en sonderingen, nodig om met enige zekerheid de details van de horizontale overgang van een laag naar een andere laag te schematiseren. Slechts wanneer het nodig is deze 2D-geometrie in het detail van een dijkdoorsnede te kennen, vanwege een belangrijke invloed voor de toepassing, kan zo'n detaillering worden opgesteld op basis van uitgebreid grondonderzoek

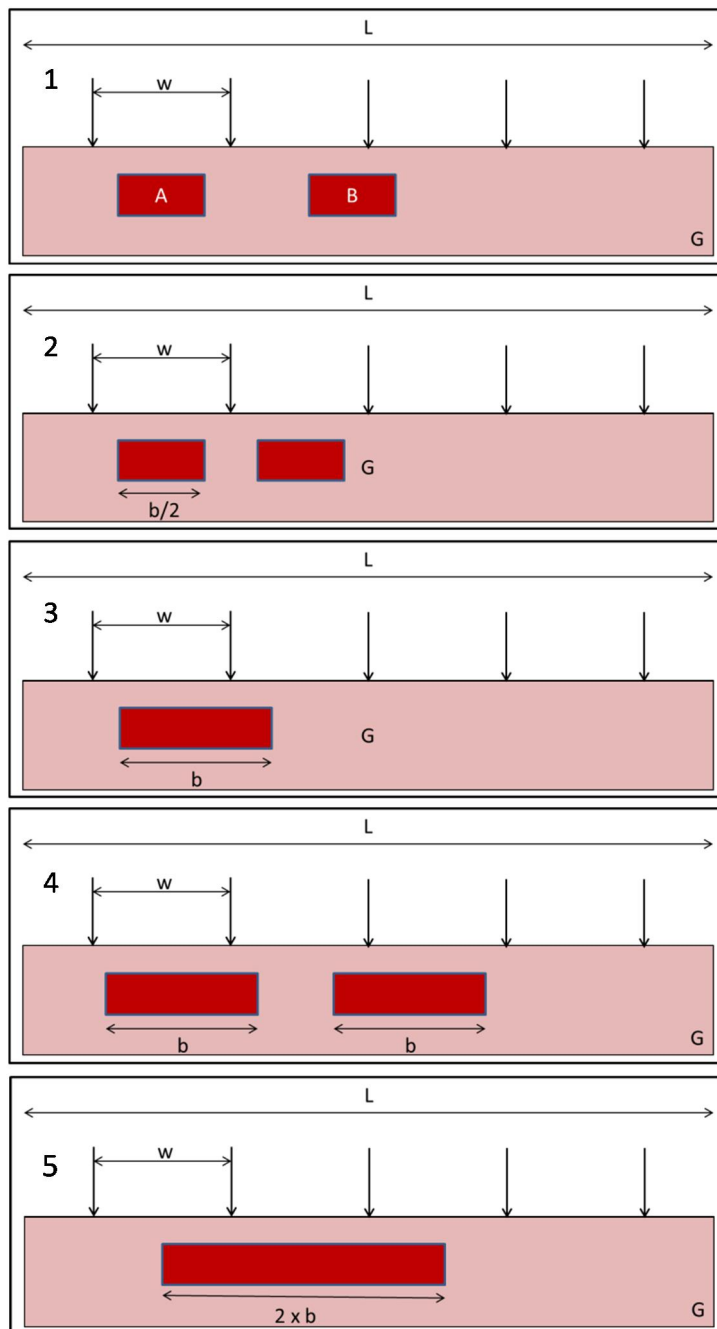


*Figuur 4.4 Schets van lagen in de ondergrond en van de laagscheidingen die boringen en sonderingen (dikke verticale lijnen in de figuur) erin tegenkomen. Geschetst is hoe de natuurlijke helling van 1:5 van de begrenzing van de grijze laag een schijnbare helling van 1:14 is in de strekking van de waarnemingen.*



*Figuur 4.5 Voorbeeld van een tiental sonderingen (groene en rode driehoeken) langs een dijkstrekking (zwarte lijn) van ongeveer 1 km, waarbij bij de rode en groene driehoeken verschillende eenheden worden aangetroffen. De sonderingen liggen ongeveer 100 m uit elkaar. Onderscheiden zijn een gele en een grijze eenheid. In al de 4 figuren beslaat de gele eenheid dezelfde stukken van het lengteprofiel. De geschetste voorkomens van de verschillende eenheden hebben naar de werkelijkheid geschetste afmetingen en vormen zoals die in de ondergrond van Nederland. Rechts in de figuur A varieert de ondergrond van de dijk omdat die over een eenheidsgrens in de ondergrond slingert net als in de figuur D. In de figuur B kruist de dijk individuele gele eenheden. In de figuur C kruist de dijk vertakkingen van een langgerekte gele eenheid. De meetlocaties rechts in de figuur C liggen vlakbij de gele eenheid over langere strekking, maar treffen die vaak niet aan in dit geval.*

Een eenheid die in boor-sondeerstaten is aangegeven kan bestaan uit meerdere kortere stukken, of uit een enkele of weinig aaneengesloten stukken. De omvang van eenheden heeft een relatie met de kans dat een eenheid wordt aangetroffen in waarnemingen (zie ook hoofdstuk 5). Aangezien eenheden en lokale lagen op veel manieren in de ondergrond kunnen voorkomen, geeft het aantreffen van een eenheid in bijvoorbeeld een serie sonderingen langs een dijk beperkte informatie over het voorkomen (Figuur 4.5) en de geometrie (Figuur 4.6) van de eenheden en lokale lagen. Die informatie kan eenvoudig worden aangevuld door ook waarnemingen buiten de lijn van de dijkstrekking te beschouwen waardoor de schematisatie een beter beeld van de ondergrond geeft.



*Figuur 4.6 Voorbeelden van afmetingen en ligging van eenheden of lagen in de ondergrond (G) in een dwarsprofiel van een segment. In de figuren is de afstand  $b$  net iets groter dan de afstand  $w$  tussen boor- en sondeerlocaties (zie ook hoofdstuk 5).*

- 1: voorkomens A en B zijn kleiner dan de onderlinge afstand tussen de meetlocaties en worden bij toeval aangetroffen (in dit geval met een kans van bij benadering 50 %);*
- 2: de eenheid wordt in dit geval niet aangetroffen in het segment;*
- 3: het voorkomen van de eenheid in de strekking is langer in het dwarsprofiel dan de onderlinge afstand tussen meetlocaties en wordt daarom altijd ergens aangetroffen;*
- 4: de 2 voorkomens worden net als bij 3 altijd aangetroffen, maar het is niet duidelijk of het een aaneengesloten laag is.*
- 5: de laag wordt in naastliggende meetlocaties aangetroffen en het betreft hier wel een aaneengesloten laag.*

## 5 Grondonderzoek

### 5.1 Algemeen

Grondonderzoek voor het toetsen van waterkeringen betreft nagenoeg uitsluitend puntwaarnemingen zoals boringen en sonderingen. Deze zeggen beperkt iets over de opbouw van de ondergrond in de ruimere omgeving (zie ook Figuur 1.2). Bij het opstellen van WTI-SOS is de ondergrond gekarakteriseerd op basis van deze waarnemingen en inzicht in de opbouw van de ondergrond. Met welk detail het nodig is de opbouw te weten tijdens het toetsen hangt samen met enerzijds de omvang van het deel van de ondergrond dat bij een faalmechanisme is betrokken en anderzijds van de afmetingen van de verschillende ondergrondeenheden. Daarnaast zijn er afwegingen (efficiëntie/kosten) over optimalisatie die grenzen stellen aan de hoeveelheid grondonderzoek dat nodig geacht wordt voor het toetsen van dijken. Met andere woorden, het is niet altijd mogelijk of wenselijk om bijvoorbeeld om de 50 m een sondering te plaatsen. In het kader van deze overwegingen wordt in het volgende een toelichting gegeven over benodigd grondonderzoek. Daarbij wordt uitgegaan van de enerzijds gangbare aannamen over faalmechanismen en de praktijk van het toetsen, en anderzijds de variatie in de ondergrond en algemene aannamen over het aantreffen van lagen in de ondergrond. De toelichting is gebaseerd op Monte Carlo simulaties die nader beschreven worden in Hijma en Lam (2015). Bij deze simulaties worden bij verschillende opbouwen van de ondergrond puntwaarnemingen met een bepaalde, regelmatige onderlinge afstand uitgevoerd. Deze afstand wordt tussen simulaties wel gevarieerd. De vragen die hierbij belangrijk waren:

- Wat is de kans dat een laag of eenheid gemist wordt in de ondergrond bij een bepaalde onderlinge afstand tussen de puntwaarnemingen en bij verschillende afmetingen van die laag of eenheid?
- Hoe goed kan de kans van aantreffen van een laag of eenheid bekend zijn bij verschillende onderlinge afstanden tussen de puntwaarnemingen?

Deze kansen hangen af van de lengte van de strekking en van de lengte een relatieve frequentie van de lagen. In de volgende paragrafen wordt ingegaan op de hoeveelheid grondonderzoek (boor- en sondeerstaten) die nodig is om met een bepaalde mate van zekerheid de ondergrond te kunnen karakteriseren.

### 5.2 Macrostabieliteit

#### 5.2.1 Relevante afmetingen van de eenheden

Het mechanisme macrostabieliteit betreft het wegschuiven van een deel van de waterkering. De lengte van de afschuivende grondmoot blijkt bij praktijkgevallen in de orde van 50 tot 100 m te liggen en de breedte is veelal een factor lager. Een zwaktezone in de ondergrond die zo'n afschuiving kan veroorzaken betreft een deel van deze afmetingen en heeft daarmee een breedte van enkele meters tot meer dan 10 m en een lengte van enige tientallen meters. In veel gevallen zal zo'n initiërende zwakke strook deel uit maken van een grotere eenheid met vergelijkbare, maar iets minder negatieve eigenschappen. De lengte van een dergelijke eenheid kan op basis van deze overwegingen geschat worden op tenminste enige tientallen meters en is waarschijnlijk voor Nederlandse dijken meestal meer dan 50 m (zie ook Hijma en Lam, 2015). Hieronder worden voor verschillende meetlocatieafstanden de bevindingen van de Monte Carlo simulatie beschreven.

## 5.2.2 Meetlocatieafstanden van 200 m

- Als er relatief veel laagvoorkomens van 50 m lengte in een strekking zijn, dan worden die voldoende vaak aangetroffen om een indruk van de grondgesteldheid te krijgen voor verkennend onderzoek.
- De kans is aanzienlijk dat laagvoorkomens van 50 m lengte die niet vaak langs een strekking aanwezig zijn gemist worden en een meetafstand van 200 m is onvoldoende om met enige zekerheid het voorkomen van zulke laagvoorkomens uit te sluiten.
- Indien de laagvoorkomens van 50 m lang de ruimtelijke variatie binnen een langere eenheid betreffen, bijvoorbeeld een wat minder stevige laag in een organische klei, dan worden de effecten van deze zwaktezone in veel gevallen met de aannamen voor het vaststellen van rekenwaarden en de invloed van het lengte-effect verdisconteerd.

## 5.2.3 Meetlocatieafstanden van 100 m

- Het aanwezig zijn van laagvoorkomens van 50 m lengte in een strekking wordt in meer dan 95 % van de gevallen onderkend en er wordt een gedetailleerde indruk van de ondergrond mee gevormd.
- Indien de laagvoorkomens van 50 m lang de ruimtelijke variatie binnen een langere eenheid betreffen, bijvoorbeeld een wat minder stevige laag in een organische klei, dan worden de effecten van deze zwaktezone in veel gevallen met de aannamen voor het vaststellen van rekenwaarden en de invloed van het lengte-effect verdisconteerd.
- Laagvoorkomens van 50 m lengte van lagen die afwijken van de omgeving kunnen niet uitgesloten worden, bijvoorbeeld het voorkomen van klei in veen of van zandpakketten in klei.
- Ongeveer de helft van alle laagvoorkomens van 50 m lengte zal worden aangetroffen.

## 5.2.4 Meetlocatieafstanden van 50 m

- Alle laagvoorkomens van 50 m lengte worden aangetroffen.

## 5.2.5 Samenvattend

Ten aanzien van het toetsen voor macrostabiliteit kan op grond van de voorwaarde dat voorkomens van lagen met kritieke eigenschappen over een lengte van 50 m van belang zijn worden gesteld dat:

- Meetlocatieafstanden van 200 m geven een indruk van de grondopbouw in algemene zin en de ruimtelijke variatie is slechts verdisconteerd in zeer globaal gedefinieerde en gekarakteriseerde lagen (zeer grote spreiding in grondeigenschappen).
- Meetlocatieafstanden van 100 m geven een gedetailleerde indruk van de grondopbouw langs een dijkstrekking, maar die afstand tussen boringen en sonderingen is niet voldoende om alle voorkomens van lagen in de strekking die kritiek zijn voor het toetsen vast te kunnen stellen, of met grote zekerheid de aanwezigheid van lagen te kunnen bevestigen of uit te sluiten. In veel gevallen zal deze afstand voldoende inzicht geven.
- Met meetlocatieafstanden van 50 m worden alle voor macrostabiliteit relevante laagvoorkomens in een strekking aangetroffen onder aanname dat de laag herkend wordt in boor- en sondeerstaten.
- Indien een zeer gedetailleerde karakterisering gewenst is, is een meetlocatieafstand van 50 m langs de dijk voldoende.
- Voor invloeden op de lokale stijghoogte wordt verwezen naar de opmerkingen in hoofdstuk 6.

### 5.3 Relevante afmetingen van lagen voor het faalmechanisme piping

Het mechanisme piping wordt meestal gekoppeld aan de ontwikkeling van “pipes”, tunneltjes, in zand direct onder een afsluitende laag. De breedte van zich ontwikkelende “pipes” is zeer gering (zeer veel smaller dan 1 m). De afmetingen voor de relevante ruimtelijke variatie van de specifieke doorlatendheid, die de ontwikkeling van de “pipes” mede bepaalt, betreffen enige meters tot niet meer dan enige tientallen meters. Ook de maat voor de korrelgrootte (D70) varieert aanmerkelijk binnen 10-tallen meters afstand. Er bestaat momenteel niet voldoende inzicht in de effecten van lokale variaties op de ontwikkeling van “pipes”, om effecten van lokale variatie in opbouw van zandpakketten vast te stellen. Er dient daarom rekening mee gehouden te worden dat het voorkomen van lagen van fijner zand en doorlatende pakketten met breedtes van 25 m en kleiner relevant zijn. Bij de zandpakketten in kust- en getijdengebieden (eenheden met H\_Mg in WTI-SOS) betreft de variatie vooral de hoeveelheid fijn materiaal die bijgemengd is (meer of minder kleine kleilaagjes in relatief uniform zand). In zandpakketten in het rivierengebied (eenheden met H\_Rg) gaat het om relatief grote ruimtelijke variatie in korrelgrootteverdeling en pakking over korte afstanden ( $10^{-1}$  m –  $10^1$  m) en in de aard van de gelaagdheid. Een relatieve uitzondering wordt gevormd door de zogenaamde dekzanden (eenheid P\_Wdz\_zf). Dat zijn zandpakketten met een relatief zeer uniforme korrelgrootteverdeling die in grotere gebieden in Nederland voorkomen, een dikte van één tot enige meters hebben en vaak direct onder de Holocene afzettingen zijn gelegen. De breedte van al deze zandpakketten bedraagt meestal minimaal enkele honderden meters. De variatie in dikte bedraagt voor een zandpakket, behoudens dekzand, vaak vele meters binnen enige tientallen meters afstand. In sommige gebieden in Nederland, onder andere het Benedenrivierengebied en in gebieden met door klei gedomineerd getijdenafzettingen in Noord-, West- en Zuidwest-Nederland komen ook smallere zandpakketten voor die voor piping relevant kunnen zijn.

Hieronder worden voor verschillende meetlocatieafstanden de bevindingen van de Monte Carlo simulatie beschreven. Hierbij is er van uitgegaan dat eenheden met een lengte van 25 m nog relevant zijn (zie ook Hijma en Lam, 2015).

#### 5.3.1 Meetlocatieafstanden van 200 m

Gezien de omvang van de meeste zandpakketten die voor piping van belang kunnen zijn, kan in veel gebieden met een meetlocatieafstand van 200 m met voldoende zekerheid vastgesteld worden of er een zandpakket in de ondergrond aanwezig is. Dit geldt niet voor situaties waar de dijkstrekking parallel ligt aan de horizontale begrenzing van een zandlichaam. Deze begrenzing kan erg abrupt zijn en het is daarom noodzakelijk na te gaan of de dijk op een dergelijke begrenzing ligt. Waar dat het geval is en voor de hierboven genoemde deelgebieden met zandbanen smaller dan 200 m is een meetafstand van 200 m heel vaak niet voldoende om met zekerheid de aanwezigheid van zandpakketten die onder de gehele dijk liggen uit te kunnen sluiten (zie Hijma en Lam, 2015). Immers, het gaat niet om variatie binnen een laag, die door middel van gebruik van rekenwaarden en lengte-effect zal worden ondervangen. Opgemerkt wordt dat er over aanwezigheid van smalle zandpakketten in landelijk gebied met de bovenkant minder dan 2 - 5 m -mv gemakkelijk aanvullende informatie verkregen kan worden met bijvoorbeeld het AHN of elektromagnetische metingen. Relevante variatie over afstanden van 25 m kan niet goed worden aangetoond.

#### 5.3.2 Meetlocatieafstanden van 100 m

Met een meetlocatieafstand van 100 m worden de meeste relevante zandpakketten in de ondergrond van een dijkstrekking aangetroffen. Ook hier is het noodzakelijk na te gaan of het dijklichaam mogelijk boven een horizontale begrenzing van een zandpakket is gelegen om het optreden opbarsten, piping en heave te kunnen beoordelen. De kans dat relevante pakketten korter dan 25 m gemist worden is kleiner dan 10%

### 5.3.3 Meetlocatieafstanden van 50 m

Met een meetlocatieafstand van 50 m worden alle voor opbarsten, heave en piping relevante zandpakketten vastgesteld. Ook bij deze meetlocatie afstand blijft het nodig na te gaan of de binnenteen van de dijk of berm mogelijk is gelegen boven de horizontale begrenzing van een groter zandlichaam in verband met het mogelijke vormen van “pipes” onder de dijk door.

### 5.3.4 Samenvattend

De ruimtelijke variatie binnen zandpakketten, behoudens de genoemde dekzanden, is groot over relatief korte afstanden. Met een meetlocatieafstand van 50 m kan een deel van die ruimtelijke variatie in kaart gebracht worden, namelijk de grootschalige onderdelen van de zandpakketten. De spreiding in dikte en horizontale omvang van die onderdelen is in de meeste gevallen groot en vaak kan er ook met 50 m afstand tussen meetlocaties geen voldoende beeld van die onderdelen gevormd worden. Tenslotte is de variatie in korrelgrootte binnen die onderdelen zelf dermate groot dat deze nooit met sonderingen gevat kan worden. Deze variatie heeft echter een belangrijk effect op de ontwikkeling van ‘pipes’. Op basis van kennis van het afzettingsmilieu van het zandpakket is het wel mogelijk om deze variatie zodanig te omschrijven in termen van de te verwachten range in korrelgrootte en afstanden waarover de korrelgrootte varieert dat hier rekening mee gehouden zou kunnen worden. Ten aanzien van het toetsen voor opbarsten, heave en piping kan dus worden gesteld dat:

- Meetlocatieafstanden van 200 m geven een indruk van de grondopbouw in algemene zin en van het voorkomen van zandpakketten met een grotere omvang.
- Meetlocatieafstanden van 100 m geven een gedetailleerde indruk van het mogelijk voorkomen van relevante zandpakketten langs een dijkstrekking.
- Met meetlocatieafstanden van 50 m worden alle mogelijk relevante zandpakketten in de ondergrond in een strekking aangetroffen en kan de grootschalige opbouw van zandpakketten worden vastgesteld.
- De interne variatie van grondeigenschappen binnen de grootschalige onderdelen is groot en met een meetlocatieafstand van 25 m kan deze variatie nog niet voldoende gevat worden. Indien het dus gewenst is om naast elkaar liggende zandpakketten te begrenzen, is een zeer dicht net van waarnemingen nodig, in de meeste gevallen minder dan 25 m onderlinge afstand langs de dijk.
- De ligging van een dijklichaam boven een horizontale begrenzing van een zandpakket is van belang voor het toetsen voor piping en heave. Vastgesteld moet worden of de binnenteen van de dijk of de berm mogelijk gelegen is binnen zo'n begrenzing. Indien dat het geval is kan met een meetlocatie afstand van minder dan 25 m het toetsresultaat geoptimaliseerd worden voor zulke strekkingen.

De soms relatief geringe breedte van zandpakketten maakt dat het vaststellen van de mogelijke aanwezigheid ervan relatief dicht opeengelegde boor- en sondeerlocaties vergt. In de praktijk zal niet altijd voor een dergelijke dicht meetnet gekozen worden en is het nodig de WTI-SOS scenario's voor de segmenten te volgen. Om het grondonderzoek te optimaliseren moet de systematiek van de voorkomens van de betreffende zandpakketten in de ondergrond leidend zijn en zouden ook gegevens over het voorkomen van zandbanen in de ruimere omgeving gebruikt moeten worden.



## 6 Voorbeelden van het opstellen van lokale schematisaties

### 6.1 Algemeen

In de voorgaande hoofdstukken is ingegaan op de te volgen stappen bij het lokaal schematiseren en zijn enkele belangrijke aspecten hierbij nader toegelicht met verschillende hypothetische voorbeelden. Hieronder worden voor de faalmechanismen piping en macrostabiliteit enkele praktijkvoorbeelden uitgewerkt. De lokale schematisaties in de voorbeelden worden in de bijbehorende schematiseringshandleidingen verder uitgewerkt voor het toetsen. Omdat de schematisering voor geohydrologische aspecten en voor het gewicht van een afdeklaag vaak nodig is over een grotere afstand tot de dijk, wordt eerst ingegaan op hoe hier mee om te gaan. Aansluitend worden de voorbeelden voor piping en macrostabiliteit besproken.

#### 6.1.1 Schematisering voor geohydrologie

De geohydrologie is van belang voor het vaststellen van stijghoogten en stroming in de ondergrond. Met name het voorkomen van lagen met een relatief hogere doorlatendheid, zandlagen, vergen aandacht bij het schematiseren van de ondergrond. Zandvoorkomens hebben vaak een grote variatie in opbouw en ook zijn het voorkomen, de dikte en de begrenzing ervan vaak grillig. Het WTI-SOS en lokaal grondonderzoek betreffen slechts de directe omgeving van een dijkstrekking, terwijl de geohydrologische omstandigheden ook door de ondergrond verder van de dijk beïnvloed kunnen worden. Als er volgens WTI-SOS en lokaal grondonderzoek zandpakketten bij de dijk voorkomen is het daarom soms nodig ook de ondergrond in de omgeving van een dijk na te gaan, bijvoorbeeld als de berging van het zandlichaam van belang is om de stijghoogte bij de binnenteeën na te kunnen gaan. Dit kan met de in DINOloket beschikbare boor- en sondeerstaten of met aanvullende lokale gegevens. Met die gegevens kunnen aanwijzingen verkregen worden over de vorm van het zandpakket. Het zandpakket van een WTI-SOS eenheid kan bijvoorbeeld over grotere afstanden naast de dijk aanwezig zijn, een uitloper zijn van een groter zandpakket in de omgeving van de dijk of een kleine, geïsoleerde zandopduiking betreffen (zie ook Figuur 4.5). Dit kan uiteraard alleen vastgesteld worden als de datadichtheid in DINOloket voldoende is. Het is ook van belang te weten of zandlagen bij de binnenteeën van de dijk in verbinding kunnen staan met het buitenwater. Dit is niet altijd eenvoudig vast te stellen, regelmatig ontbreken buitendijks voldoende ondergrondgegevens en moeten aannames gedaan worden. Een zandlaag van 0.75 m dik bij de binnenteeën kan bijvoorbeeld de rand vormen van een dikker zandpakket dat buitendijks en onder de dijk ligt. Maar zo'n zandvoorkomen kan ook een representant zijn van zandlagen die in bepaalde WTI-SOS eenheden voorkomen en die vanwege hun geringe omvang zelden een continue verbinding met het buitenwater hebben. Om de omstandigheden dan te kunnen vaststellen moet er aanvullende informatie over het buitendijkse gebied ingewonnen worden middels DINO (-loket), terreingegevens of eventueel aanvullend grondonderzoek.

In het algemeen dient de aanwezigheid en diepteligging van watervoerende pakketten (zandlagen) zodanig gekozen te worden in de te toetsen scenario's dat de mogelijk ongunstige omstandigheden worden gerepresenteerd. Zoals in hoofdstuk 5 uiteengezet is grondonderzoek met onderlinge afstanden van minder dan 100 m nodig om voor delen van WTI-SOS segmenten scenario's te kunnen uitsluiten met watervoerende pakketten op een kritiek geachte diepte. Is de onderlinge afstand tussen de boor- en sondeerlocaties meer dan 100 m en geven de WTI-SOS scenario's aan dat er zandeenheden kunnen voorkomen, dan dienen die WTI-SOS scenario's wel meegenomen te worden tijdens het toetsen. Dit is nodig omdat de zandpakketten relatief smalle watervoerende lagen kunnen vormen,

veel smaller dan 200 m, vooral in het benedenrivierengebied en gebieden met getijdenafzettingen. Daarnaast kunnen zandlichamen van rivierzanden lokaal grote dikteverschillen vertonen, waarbij relatief dunne zandlichamen vaak een beperkte verbreiding kennen. Langs (voormalige) kusten kunnen relatief dunne zandlichamen daarentegen juist over honderden meters aaneengesloten voorkomen (WTI-SOS eenheid H\_Mp\_zf of, als de dijk over voormalige strandjes is aangelegd, WTI-SOS eenheid H\_Ova\_zf). Opgemerkt wordt dat uitbreiding van een buitendijks zandpakket tot voorbij de binnenteen of berm kan worden uitgesloten als de onderlinge afstand tussen boor- en sondeerlocaties voldoende klein is. In de praktijk moeten die onderlinge afstand dan meestal minder dan 50 m zijn.

Inzijging en lekkage door een afdeklaag hebben eveneens invloed op stijghoogteverschillen. De bepaling van inzijging, effectief intredepunt en van verlies van stijghoogte door lekkage door de afdeklaag, houden verband met de dikte van de afdeklaag en zijn van invloed op de bepaling van de kwelweglengte. Een dunne afdeklaag zal veelal samenhangen met een grotere inzijging en grotere lekkage vanwege de grotere kans op beperkingen van de effectiviteit van de afdeklaag voor het afdichten van de watervoerende lagen. De kans op grondopbouwscenario's met een dunne deklaag dient dan in samenhang met de specificatie van inzijgen, lekkage, en daarmee voor de kwelweglengte beschouwd te worden. Opgemerkt wordt dat de grond boven grondwaterniveau door bodemvorming een vaak relatief hoge doorlatendheid krijgt die voor kleideklagen vaak veel meer dan  $10^{-5}$  m/s zal bedragen.

#### 6.1.2 Gewicht van de grondkolom op een watervoerend pakket

In de meeste gevallen geven de scenario's van het WTI-SOS voldoende informatie over de dikte en de aard van afdekklagen die in de ruimere omgeving van de dijk aangetroffen kunnen worden. De kans van aantreffen van de verschillende diktes en samenstellingen in de scenario's in de ruimere omgeving kan echter verschillen van de kans die in het WTI-SOS wordt gegeven voor de directe omgeving van de dijk. Dijken zijn vaak aangelegd op de wat stevigere typen ondergrond in een landschap. Dit leidt ertoe dat afdekklagen met een geringe volumieke massa op enige afstand van de dijk vaker voorkomen dan in de directe omgeving van de dijk. Als de afdeklaag meer dan enige meters dik is, kan verschil in grondsoort van de individuele lagen erin van belang zijn voor verschillen in gewicht van de deklaag. Het kan dan nodig zijn deze individuele lagen in lokale scenario's op te nemen in plaats van een totale dikte van de afdeklaag met een gemiddelde volumieke massa. In gebieden met een door veen gedomineerde bovenlaag is een kleilaag in of op het veen vaak bepalend voor het effectieve gewicht van de grondkolom. Het is dan van belang voor met name opdrijven en opbarsten om een goede karakterisering van het voorkomen en de dikte van de kleilaag (of kleilagen) te specificeren in de lokale scenario's voor het lokale segment.

In buitendijkse gebieden in het rivierengebied (uiterwaarden) en plaatselijk langs de kust (kwelders) kan door opslibbing ophoging plaatsgevonden hebben ten opzichte van het binnendijkse maaiveld. De opslibbing bestaat veelal uit kleiige grond en kan meer dan 1 meter dik zijn. De buitendijkse ophogingen zijn niet gespecificeerd in WTI-SOS en moeten uit lokaal onderzoek worden afgeleid, bijvoorbeeld met behulp van grondgegevens, het AHN of literatuur (bijvoorbeeld Cohen et al., 2014).

In het geval van opgebrachte grond moet nagegaan worden of de grond voornamelijk kleiig is of vooral uit zand bestaat. Dit kan voor zowel het gewicht van de laag als voor de geohydrologie van belang kan zijn. Opgebrachte grond boven grondwaterpeil is lastig te karakteriseren aan de hand van sondeerstaten, omdat de wrijvingsgetallen ervan vaak hoog zijn. In zulke gevallen kunnen handboorstaten en eventueel historische bronnen waar nodig uitsluitel bieden.

## 6.2 Lokale schematisatie voor piping

In deze paragraaf wordt voor een locatie bij Rijswijk (Gelderland) een voorbeeld van het lokaal schematiseren van de grondopbouw voor het toetsen op piping uitgewerkt. De waarden voor de  $d_{70}$  en de specifieke doorlatendheid worden in de betreffende handleiding (Schematiseringshandleiding piping, 2015) op basis van de WTI-SOS eenheden ingedeeld.

### 6.2.1 Voorbeeld: Rijswijk

Locatie Rijswijk ligt aan de zuidoever van de Lek, ten oosten van het dorp Rijswijk (Figuur 6.1).



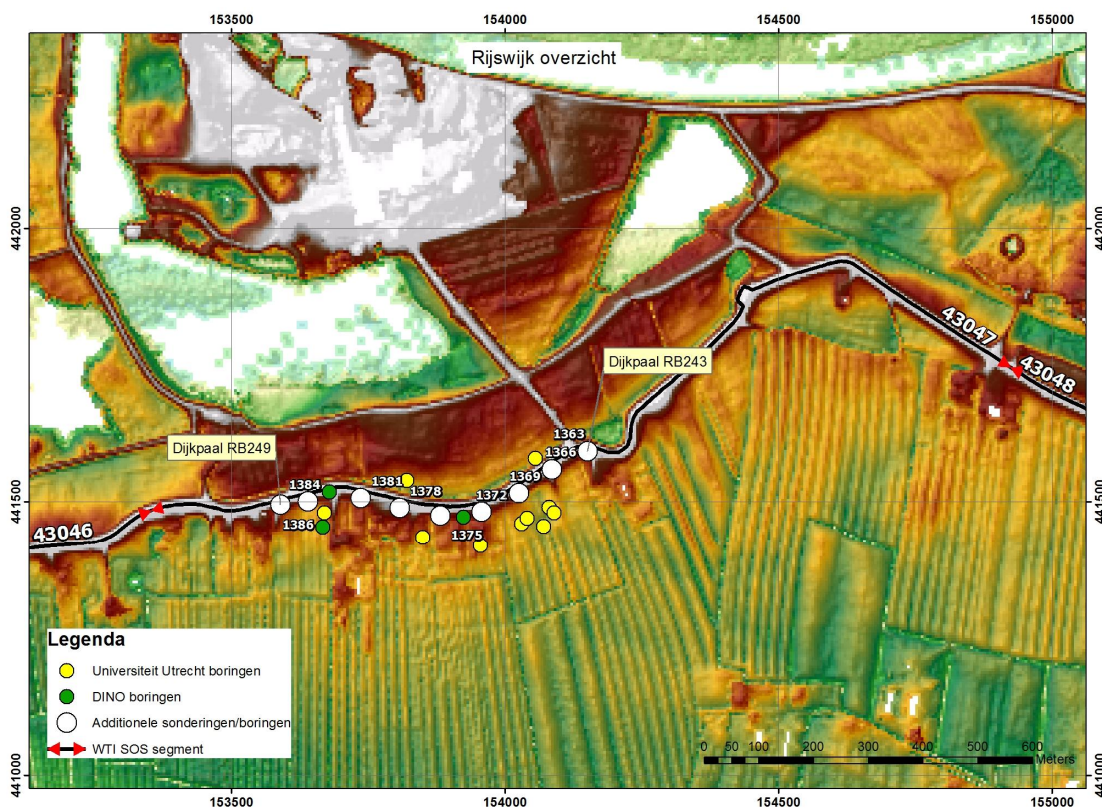
Figuur 6.1 Locatie Rijswijk. De west- en oostgrens van de locatie zijn aangegeven.



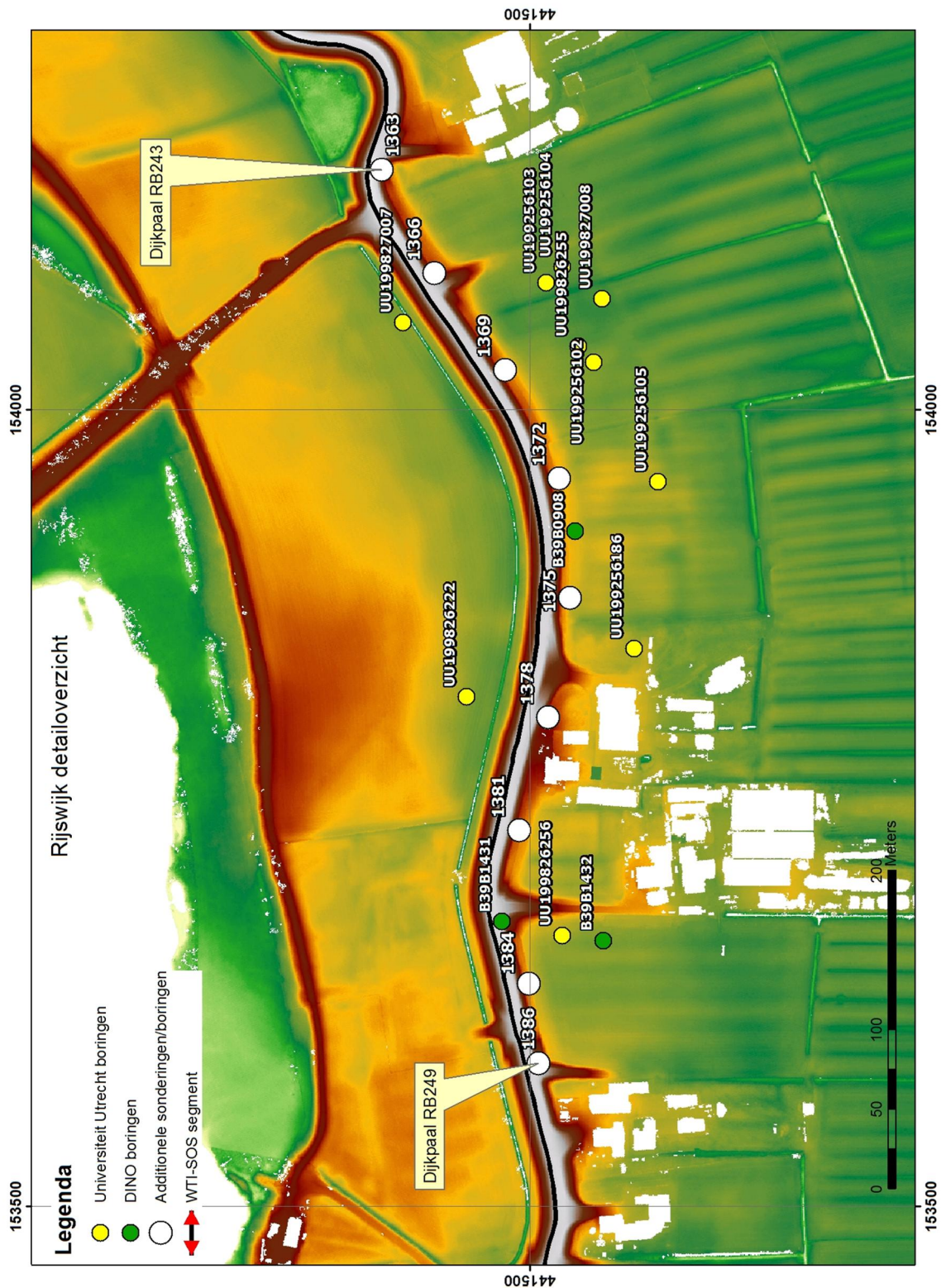
Figuur 6.2 Streetview-beeld richting het westen. Binnendijks is er relatief veel bebouwing, buitendijks liggen akkers en grasland en is een ondiepe sloot net zichtbaar (zie ook Figuur 6.4).

## 6.2.1.1 Stappen 1 en 2: verzamelen en ordenen van de gegevens

De locatie ligt tussen de dijkpalen RB249 en RB243 en is 600 m lang. Het maaiveld bij zowel de binnen- als buitenteen van de dijk ligt op ongeveer 4.5 m NAP. Aan de binnenzijde van de dijk ligt relatief veel bebouwing met daartussen gras- en akkerland (Figuur 6.1). Buitendijks liggen vooral akkers en grasland en ligt er een ondiepe sloot op korte afstand van de teen van de dijk (Figuur 6.2). De locatie valt binnen het WTI-SOS segment 43047 dat 1850 m lang is (Figuur 6.3). In aanvulling op de reeds beschikbare boringen zijn aanvullende sonderingen uitgevoerd met een onderlinge afstand van gemiddeld 75 m (Dijkstra, 2013; Figuren 6.4-6.6). Binnen WTI-SOS zijn voor het gehele WTI-SOS segment 10 scenario's opgesteld (Figuur 6.7).

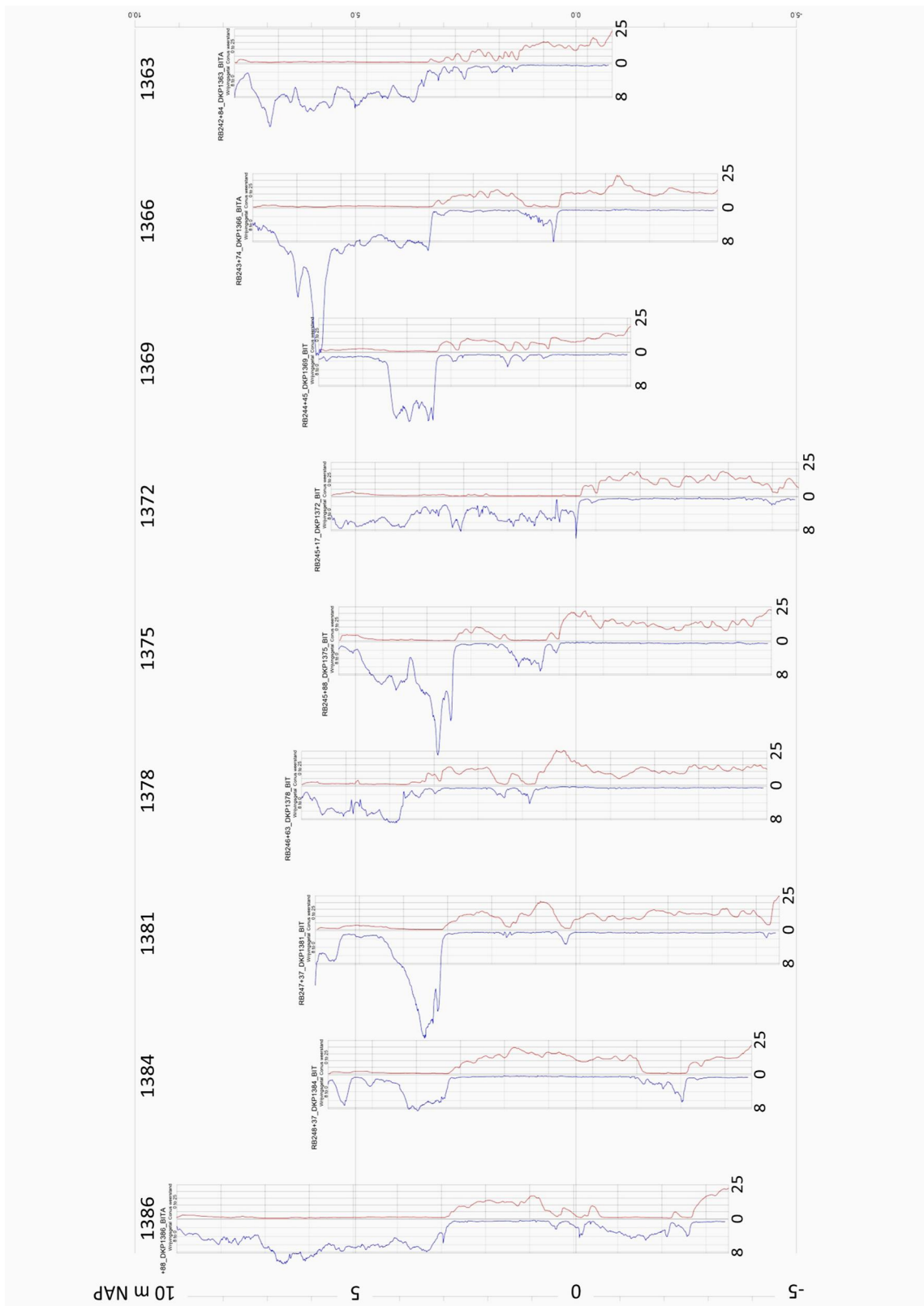


Figuur 6.3 Overzicht van de ligging van de te toetsen strekking en het WTI-SOS segment 43047 waarbinnen de strekking valt.

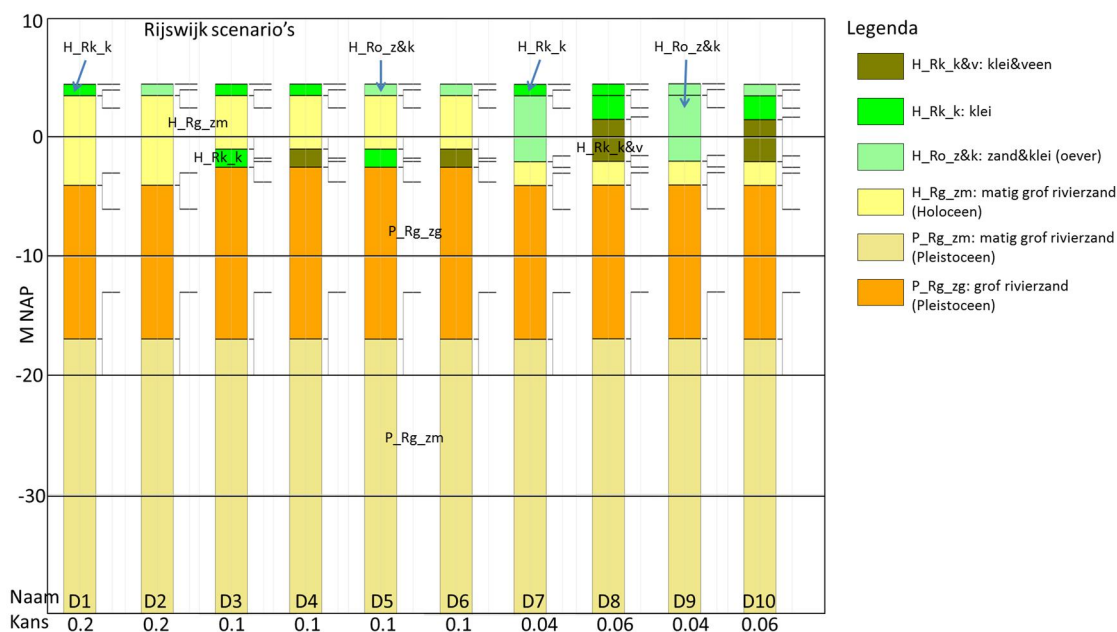


Figuur 6.4 Detailkaart van de te toetsen strekking met de ligging van de boringen en sonderingen.





Figuur 6.6 Overzicht van de voor dit voorbeeld gebruikte aanvullende sonderingen. De blauwe lijn geeft het wrijvingsgetal aan, de rode lijn de conusweerstand. De ligging van de sonderingen is aangegeven in Figuur 6.4.



Figuur 6.7 De WTI-SOS scenario's voor segment 43047. De details staan in Tabel 6.1 met onder andere de bandbreedte van de diepte waarbinnen de laagscheidingen meestal aangetroffen worden.

### 6.2.1.2 Stap 3: Eerste analyse grondopbouw

Relevante informatie volgt vooral uit de sonderingen, aangezien de diepte van de meeste boringen beperkt is. Een deel van de sonderingen is gezet op de kruin en een deel elders op de dijk (op- en afritten en andere niet structurele grondaanvulling bij de binnenteen). De hoge wrijvingsgetallen van de sonderingen tot een diepte van ongeveer 3 m NAP zijn het gevolg van de ligging boven het grondwaterniveau.

Een eerste analyse van de boringen en sonderingen laat zien dat de ondergrond bestaat uit een afwisseling van klei- en zandlagen op een dikke ononderbroken zandlaag (Figuur 6.8). Onder de relatief dunne kleideklaag wordt meestal direct zand aangetroffen, maar soms is de kleilaag meters dik (sondering 1372) of komen er afwisselingen van zand- en kleilagen voor (sondering 1363). Tussen ruwweg 2 tot 3 m –NAP wordt soms een pakket klei of een afwisseling van zand en klei aangetroffen. Dit pakket kan erg dun zijn. De verschillen tussen naastliggende sondeerstaten en de informatie van de boorstaten wijst er op dat er geen strekkingen van meer dan 50 – 100 m lengte in het segment zijn die systematisch voldoende afwijken van de rest van het segment. Het segment wordt daarom niet opgeknipt in meerdere lokale segmenten en de strekking betreft daarom een enkel lokaal segment. Het lokale segment van dit voorbeeld wordt hier 43047-001 genoemd (voorlopige aanduiding in afwachting van formats daarvoor in WTI-2017).



Tabel 6.1 De WTI-SOS scenario's in tabelvorm met de bijbehorende diepteliggings van de top van de WTI-SOS eenheden.

Scenario	Eenheid	Modale top (m NAP)	Minimale diepteligging top (m NAP)	Maximale diepteligging Top (m NAP)
Segment_43047_1D1	H_Rk_k	4.5	4.5	4.5
	H_Rg_zm	3.5	4	2.5
	P_Rg_zg	-4	-3	-6
	P_Rg_zm	-17	-13	-20
Segment_43047_1D2	H_Ro_z&k	4.5	4.5	4.5
	H_Rg_zm	3.5	4	2.5
	P_Rg_zg	-4	-3	-6
	P_Rg_zm	-17	-13	-20
Segment_43047_1D3	H_Rk_k	4.5	4.5	4.5
	H_Rg_zm	3.5	4	2.5
	H_Rk_k	-1	0	-2
	P_Rg_zg	-2.5	-1.75	-3.75
Segment_43047_1D4	P_Rg_zm	-17	-13	-20
	H_Rk_k	4.5	4.5	4.5
	H_Rg_zm	3.5	4	2.5
	H_Rk_k&v	-1	0	-2
Segment_43047_1D5	P_Rg_zg	-2.5	-1.75	-3.75
	P_Rg_zm	-17	-13	-20
	H_Ro_z&k	4.5	4.5	4.5
	H_Rg_zm	3.5	4	2.5
Segment_43047_1D6	H_Rk_k	-1	0	-2
	P_Rg_zg	-2.5	-1.75	-3.75
	P_Rg_zm	-17	-13	-20
	H_Ro_z&k	4.5	4.5	4.5
Segment_43047_1D7	H_Rg_zm	3.5	4	2.5
	H_Rk_k&v	-1	0	-2
	P_Rg_zg	-2.5	-1.75	-3.75
	P_Rg_zm	-17	-13	-20
Segment_43047_1D8	H_Rk_k	4.5	4.5	4.5
	H_Ro_z&k	3.5	4	2.5
	H_Rg_zm	-2	-1.5	-2.5
	P_Rg_zg	-4	-3	-6
Segment_43047_1D9	P_Rg_zm	-17	-13	-20
	H_Rk_k	3.5	4	2.5
	H_Rk_k&v	1.5	1.75	-2.5
	H_Rg_zm	-2	-1.5	-2.5
Segment_43047_1D10	P_Rg_zg	-4	-3	-6
	P_Rg_zm	-17	-13	-20
	H_Ro_z&k	4.5	4.5	4.5
	H_Rk_k	3.5	4	2.5

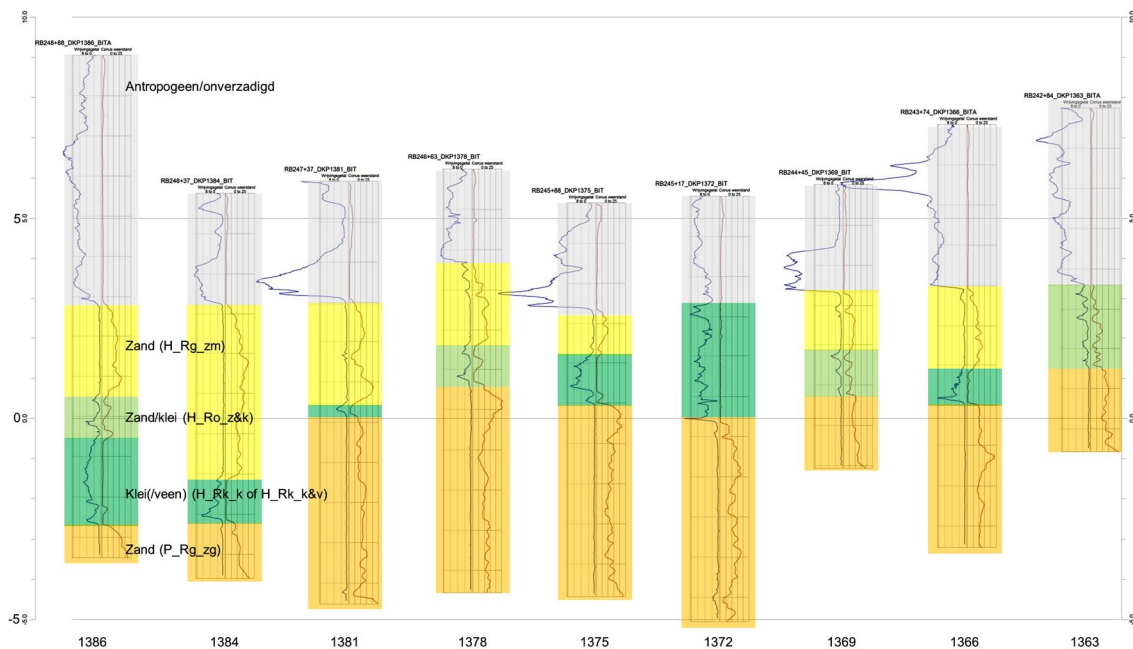
Vergelijking van de boor- en sondeerstaten met de WTI-SOS scenario's laat zien dat alle genoemde WTI-SOS eenheden in de te toetsen strekking voorkomen. Er zijn geen sondeer- en boorstaten die wijzen op een andere grondopbouw dan in de WTI-SOS scenario's is weergegeven. De WTI-SOS scenario's geven daarom een voldoende beschrijving van de globale opbouw van de ondergrond in het lokale segment (zie Tabel 6.1 en Figuur 6.8). Opgemerkt kan worden dat er in de sonderingen geen aanvullende informatie beschikbaar is over de zandlagen beneden de 5 m –NAP.

Voor het toetsen op piping wordt daarom waar nodig uitgegaan van de informatie in de WTI-SOS scenario's beneden die diepte. De sondeerstaten geven ook geen eenduidige informatie over de dikte en samenstelling van de bovenste kleiige laag in WTI-SOS (Eenheden H\_Rk\_k dan wel H\_Rk\_z&k). Vanwege de geringe dikte van die kleiige laag bij het grondoppervlak worden de eigenschappen ervan voornamelijk bepaald door bodemvorming en dergelijke (Kruse, 2010) en de samenstelling ervan heeft daar weinig invloed op. Het verschil tussen de WTI-SOS scenario's D1 en D2, D3 en D5, D4 en D6, D7 en D9 en tussen D8 en D10 speelt daarom geen rol (kansen van aantreffen kunnen worden samengevoegd).

Op basis van de eerste analyse komen voor het toetsen op piping een aantal aspecten naar voren die in de verdere analyse de aandacht vergen:

- De dikte en de eigenschappen van de deklaag.
- De aan/afwezigheid van een watervoerende zandlaag met een basis op ca. 1 m NAP.
- De aan/afwezigheid van een afsluitende laag tussen een ondiepe en de diepere zandlaag in het diepte-interval van 2 - 3 m –NAP.
- Of er in WTI-SOS eenheid H\_Ro\_z&k voor piping relevante watervoerende zandlagen verwacht moeten worden.

Waarden voor de  $d_{70}$  en specifieke doorlatendheid zijn voor de betreffende WTI-SOS eenheden in het WTI-SOS segment gegeven in de Schematiseringshandleiding piping (2015). Er is verder geen systematisch relevant hoogteverschil tussen het binnendijkse en buitendijkse maaiveld. Zetting van de dijk blijkt niet uit de diepteligging van lagen in de gegevens. Dit is in overeenstemming met de grondopbouw die voornamelijk uit zandlagen bestaat. Vanwege de dikkere lagen van organische klei zijn scenario's D8 en D10 mogelijk wel zettingsgevoelig, maar dat is voor dit pipingvoorbeeld niet verder uitgezocht, omdat het geen effect heeft op de ligging van de bovenkant van het zandpakket.



Figuur 6.8 Indeling van de aanvullende sonderingen met behulp van de WTI-SOS eenheden. De sonderingen 1384, 1378, 1375, 1369 en 1366 behoren tot een van WTI-SOS scenario's D3, D4, D5, of D6. De zeer geringe dikte van de kleilaag op ca. 0 m NAP in sondering 1381 doet vermoeden dat WTI-SOS scenario D1 of D2 van toepassing zal zijn in het segment. De sonderingen 1386 en 1372 behoren tot de WTI-SOS scenario's D8 of D10 en de sondering 1363 tot WTI-SOS scenario D7 of D9 (NB let op de minimum en maximumhoogte die voor de WTI-SOS scenario's zijn opgegeven in Tabel 6.1).

### 6.2.1.3 Stap 4: Nadere detaillering scenario's

Voor het toetsen van het optreden van piping kunnen de WTI-SOS scenario's samengevat worden in lokale scenario's voor piping, waarin dan ook de dieptes van de lokale lagen worden vastgesteld. Voor de lokale scenario's kan de kans van aantreffen worden vastgesteld op basis van de WTI-SOS informatie en het lokale grondonderzoek. Hieronder wordt eerst ingegaan op het wel of niet onderscheiden van lokale lagen binnen de WTI-SOS eenheden en het wel of niet nader verdelen van het segment alvorens de lokale scenario's worden opgesteld. Afhankelijk van een eerste boordeling van de kans op piping, kan overwogen worden nader grondonderzoek uit te laten voeren om bijvoorbeeld scenario's die ongunstig of juist gunstiger scores (WTI-SOS scenario's D7 tot en met D10) beter te begrenzen (zie hiervoor ook Hoofdstuk 5).

#### Nadere onderscheiding van lokale lagen binnen WTI-SOS eenheden

In de sondeerstaten zijn eenheden herkend die goed overeenkomen met de WTI-SOS eenheden. De sondeerstaten geven geen aanleiding tot een nadere onderverdeling in lagen, ook al geeft bijvoorbeeld de beschrijving van de WTI-SOS eenheid H\_Ro\_z&k aan dat deze bestaat uit een afwisseling van klei- en zandlagen. De sondeerstaten laten echter geen aanwijzingen zien dat er onderscheidbare lagen van relevante dikte in deze eenheid voorkomen. De beschrijving van de eenheid geeft ook al aan dat de kans van het aantreffen van een over vele tientallen meters continue doorlopende zandlaag van meer dan 0.5 m dikte zeer gering is.

#### Nadere verdeling in lokale segmenten

Zoals hiervoor aangegeven zijn er geen aanwijzingen dat er meerdere lokale segmenten in de strekking onderscheiden moeten worden.

#### Nader onderscheid in lokale scenario's

Zoals hiervoor is vastgesteld kunnen op basis van de aanvullende gegevens geen WTI-SOS scenario's van het WTI-SOS segment uitgesloten worden. Ook geven de sondeerstaten geen aanleiding tot het toevoegen van lokale lagen. Het is daarom niet nodig aanvullende lokale scenario's op te stellen. Wel kunnen er WTI-SOS scenario's samengevoegd worden en moeten de diepteligging van de relevante eenheden en de kansen van aantreffen vastgesteld worden. Hieronder worden op basis van de WTI-SOS scenario's en de aanvullende gegevens de te onderscheiden, relevante eenheden in de lokale scenario's benoemd (Zie ook Tabel 6.2 en Figuur 6.9). Het eerste relevante onderscheid is een relatief dunne of relatief dikke deklaag. Gezien de invloed van het gewicht van de toplaag op de kans op opbarsten, wordt binnen de lokale scenario's gevarieerd met 2 diktes voor de relatief dunne toplaag (1 en 1.5 m, zie ook Figuur 6.9). De basis van het zandpakket onder de deklaag ligt in de sondeerstaten op respectievelijk ongeveer +1 m en -2 m NAP of op grote diepte. Samenvattend moeten de lokale scenario's de volgende aspecten omvatten:

- Een dunne deklaag, ca. 1 m dik.
- Een iets dikkere deklaag, ca. 1.5 m dik.
- een relatief dikke deklaag, ca. 3.7 m dik, bestaande uit zandige klei dan wel deels uit veen en klei.
- Een zandpakket met een basis op ongeveer ca. 1 m NAP.
- Een zandpakket met basis op ca. -2 m NAP.
- Een zandpakket met een basis op grote diepte (waarvoor hier 40 m -NAP wordt aangehouden op basis van WTI-SOS).

De relatief dunne deklaag bestaat uit H\_Rk\_k of H\_Ro\_z&k, met bij de relatief dikke variant daaronder H\_Ro\_z&k of H\_Rk\_k&v. Afhankelijk van de verschillen in materiaaleigenschappen (volumieke massa) tussen H\_Rk\_k/H\_Ro\_z&k en H\_Ro\_z&k/H\_Rk\_k&v zal het noodzakelijk zijn deze verschillen als lokale scenario's te laten gelden voor het toetsen. Voor nu wordt aangenomen dat de verschillen in materiaaleigenschappen niet relevant zijn en worden de WTI-SOS eenheden samengenomen.

De kansen van aantreffen van de deklagen van verschillende diktes worden bepaald op basis van de toegekende kansen aan de WTI-SOS scenario's en de additionele sondeerstaten. De relatief dikke deklaag komt voor in de WTI-SOS scenario's D7 tot en met D10. Het aanvullende onderzoek toont deze opbouw in 2 van de 9 sondeerstaten. Aangezien dit goed overeenkomt met de gesommeerde kansen van aantreffen van de betreffende scenario's, is het niet noodzakelijk de kans op een dikke aanleg aan te passen. Er wordt daarom aan het lokale scenario met een dikke deklaag een kans van 20% toegekend (de som van kansen voor scenario's D7 tot en met D10, zie Figuur 6.7). Het aantreffen van een dunne deklaag, 1 of 1.5 m dik, wordt daarmee 80%. Er zijn geen aanwijzingen in het lokale grondonderzoek dat één van de 2 dunne afdeklagen vaker wordt aangetroffen dan de andere.

De basis van het eerste zandpakket onder een dunne deklaag kan liggen op circa 1 m NAP, 2 m –NAP of 40 m –NAP. De meeste sonderingen hebben de basis van de eerste zandlaag op ongeveer 1 m NAP liggen en de kans hierop wordt geschat of 60% voor het lokale segment. Dit is hoger dan de 40% die voor het hele WTI-SOS segment is geschat (optelsom D3 t/m D6). De aanpassing is gebaseerd op de lokale grondgegevens. De kans op een dunne deklaag met daaronder een zandpakket tot 2 m –NAP wordt op basis van het lokale grondonderzoek geschat op 10 % (sondering 1384). De kans op zand doorlopend tot 40 m –NAP onder een dunne deklaag van 1 of 1.5 m wordt daarmee ook 10%, aangezien de totale kans op een dunne deklaag 80% is.

De totale kans op een relatief dikke deklaag is 20% (zie hierboven). Ook onder de relatief dikke deklaag kan de basis van het zand op 2 m –NAP liggen, maar aangezien dit scenario niet is aangetroffen in de sonderingen wordt de kans hierop klein geschat, bijvoorbeeld 5%. De kans op een dikke deklaag met daaronder een zeer dik zandpakket wordt daarmee 20-5=15%.

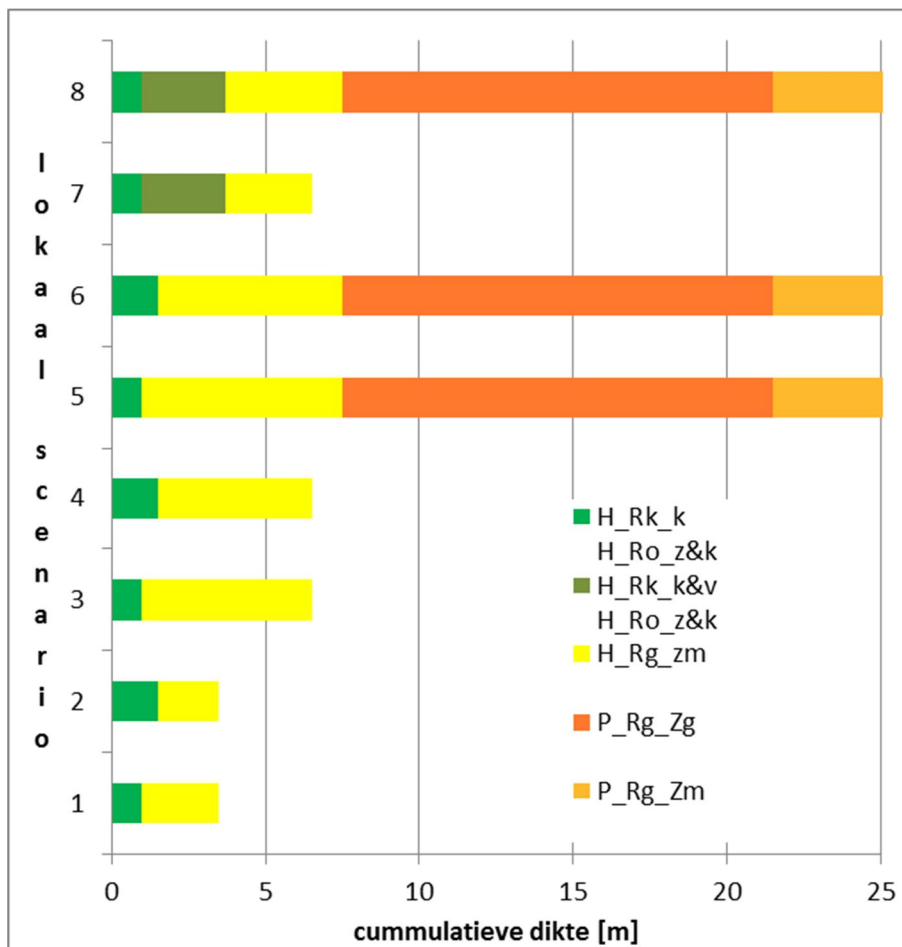
Dit leidt tot de volgende lokaal onderscheiden scenario's (samengevat in Tabel 6.4):

- Een deklaag van 1 of 1.5 m dikte op zand tot 1 m NAP met kans van aantreffen van elk de helft van 60 %, zijnde elk 30 % (scenario's L1 en L2 in Tabel 6.4).
- Een deklaag van 1 of 1.5 m dikte op zand tot 2 m –NAP met kans van aantreffen van elk de helft van 10 %, zijnde elk 5 % (scenario's L3 en L4 in Tabel 6.4).
- Een deklaag van 1 of 1.5 m dikte op zand tot 40 m –NAP met kans van aantreffen van elk de helft van 10 %, zijnde elk 5 % (scenario's L5 en L6 in Tabel 6.4).
- Een deklaag van 3.7 m dikte op zand tot 2 m –NAP met kans van aantreffen van 5 % (scenario L7 in Tabel 6.4).
- Een deklaag van 3.7 m dikte op zand tot 40 m –NAP met kans van aantreffen van 15 %, zijnde het merendeel van de 20 % kans van aantreffen van de dikke deklaag (scenario L8 in Tabel 6.4).

Scenario's L1-L4 zijn afgeleid van scenario's D3-D6, L5 en L6 van scenario's D1-D2 en scenario's L7 en L8 van scenario's D7-D10.

Tabel 6.2 Lokale scenario's voor toetsen van optreden van piping, zoals vastgesteld voor segment 43047-001.  
Piping type: d = deklaag, w = watervoerende laag. Meerdere opeenvolgende watervoerende WTI-SOS eenheden kunnen gezamenlijk de watervoerende laag vormen. De diktes voor de diepere zandeenheden zijn afgeleid van de modale diktes uit de WTI-SOS scenario's.

lokale scenario's							
segment 43047-001							
lokaal scenario	kans	laagopbouw					
L1	0.3	WTI_SOS eenheden	H_Rk_k, H_Ro_z&k	H_Rg_zm			
		Dikte [m]	1	2.5			
		piping type	d	w			
L2	0.3	WTI_SOS eenheden	H_Rk_k, H_Ro_z&k	H_Rg_zm			
		Dikte [m]	1.5	2			
		piping type	d	w			
L3	0.05	WTI_SOS eenheden	H_Rk_k, H_Ro_z&k	H_Rg_zm			
		Dikte [m]	1	5.5			
		piping type	d	w			
L4	0.05	WTI_SOS eenheden	H_Rk_k, H_Rro_z&k	H_Rg_zm			
		Dikte [m]	1.5	5			
		piping type	d	W			
L5	0.05	WTI_SOS eenheden	H_Rk_k, H_Ro_z&k	H_Rg_zm	P_Rg_zg	P_Rg_zm	
		Dikte [m]	1	6.5	14	23	
		piping type	d	w	w	w	
L6	0.05	WTI_SOS eenheden	H_Rk_k, H_Ro_z&k	H_Rg_zm	P_Rg_zg	P_Rg_zm	
		Dikte [m]	1.5	6	14	23	
		piping type	d	w	w	w	
L7	0.05	WTI_SOS eenheden	H_Rk_k, H_Ro_z&k	H_Rk_k&v, H_Ro_z&k	H_Rg_zm		
		Dikte [m]	1	2.7	2.8		
		piping type	d	d	w		
L8	0.15	WTI_SOS eenheden	H_Rk_k, H_Ro_z&k	H_Rk_k&v, H_Ro_z&k	H_Rg_zm	P_Rg_zg	P_Rg_zm
		Dikte [m]	1	2.7	3.8	14	23
		piping type	d	d	w	w	w



Figuur 6.9 Lokale scenario's (L1-L8) voor locatie Rijswijk. Scenario's L1-L4 zijn afgeleid van scenario's D3-D6, L5 en L6 van scenario's D1-D2 en scenario's L7 en L8 van scenario's D7-D10.

#### 6.2.1.4 Stap 5: vaststellen te toetsen scenario's

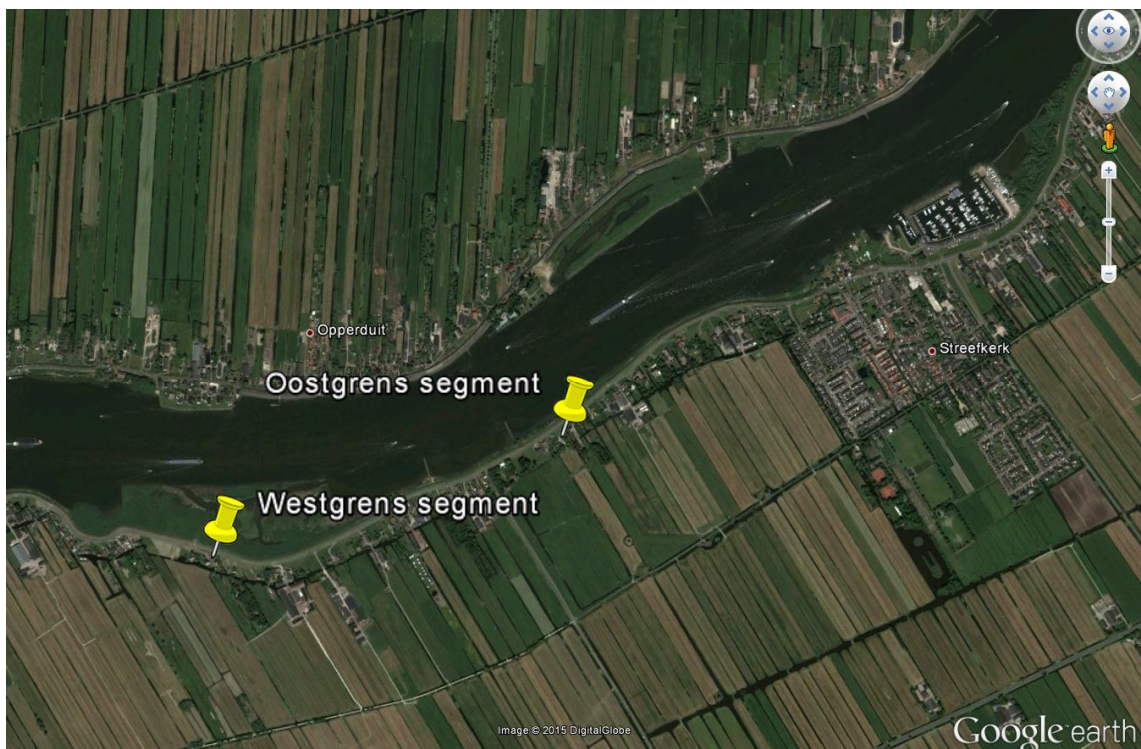
In stap 4 zijn de relevante lokale scenario's vastgesteld en deze zullen getoetst kunnen worden in Ringtoets. De grondparameters bij de verschillende WTI-SOS eenheden van de lokale grondlagen kunnen bepaald worden met behulp van de Schematiseringshandleiding piping (2015). Afhankelijk van de resultaten in Ringtoets kan het wenselijk zijn om aanvullend grondonderzoek uit te laten voeren om meer zekerheid te verkrijgen over bijvoorbeeld het voorkomen van bepaalde lagen en het begrenzen van het voorkomen van maatgevende scenario's, zoals de lokale scenario's L7 en L8 met een dikke deklaag. Na de uitvoering van het eventuele grondonderzoek moeten de stappen 1-5 weer doorlopen worden.

### 6.3 Lokale schematisatie voor macrostabiliteit

Hieronder wordt voor een locatie bij Streefkerk een voorbeeld van het lokaal schematiseren ten behoeve van het toetsen op macrostabiliteit uitgewerkt.

#### 6.3.1 Voorbeeld: Streefkerk

Locatie Streefkerk ligt aan de zuidoever van de Lek, ten westen van het dorp Streefkerk (Figuur 6.10). Er zijn sonderingen beschikbaar met een onderlinge afstand van gemiddeld 100 m.



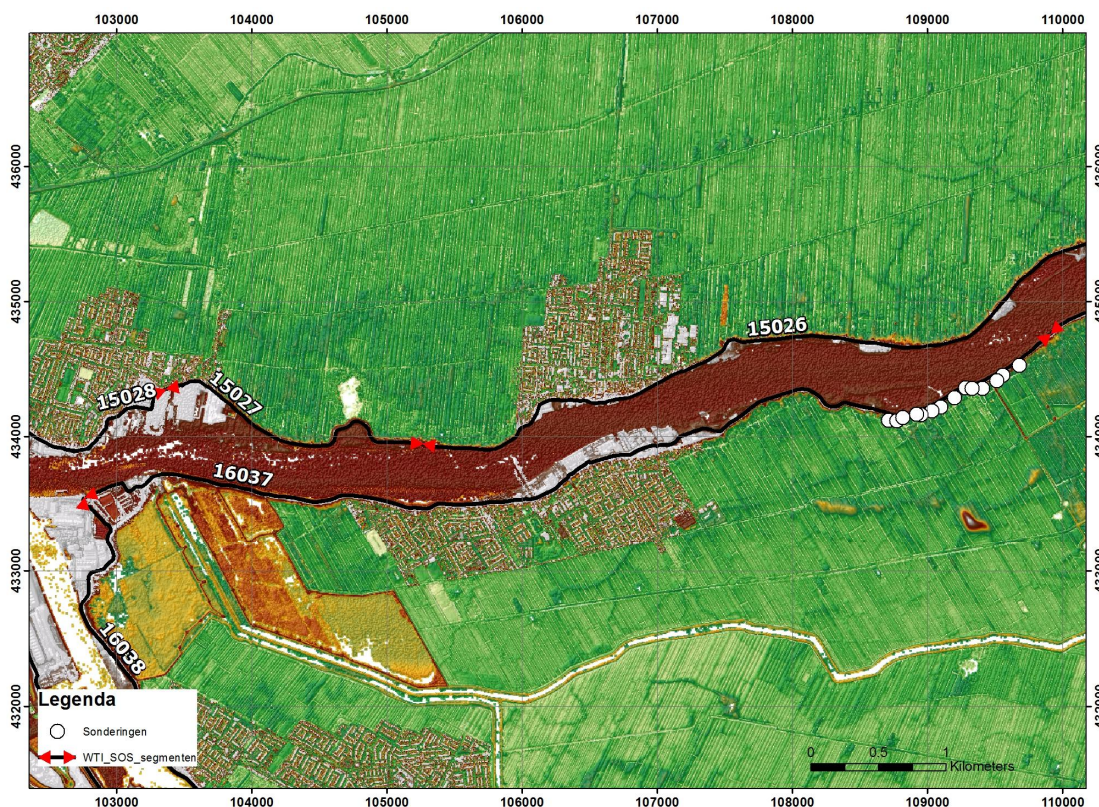
Figuur 6.10 Locatie Streefkerk. De west- en oostgrens van de locatie zijn aangegeven.

##### 6.3.1.1 Stappen 1 en 2: verzamelen en ordenen van de gegevens

De te toetsen strekking is ongeveer 1100 m lang. Aan de binnenzijde van de dijk is er regelmatig bebouwing met op- en afritten met daartussen vooral grasland (Figuur 6.10). Afgezien van het westelijk deel van de strekking, waar een natuurgebied voor de dijk ligt, vormt de dijk een schaarlijk zonder uiterwaarden (Figuren 6.10 en 6.11). De strekking valt binnen het WTI-SOS segment 16037 dat bijna 7800 m lang is (Figuur 6.12). Voor de strekking zijn ongeveer 10 boringen beschikbaar in DINOloket en uit DINOloket zijn voor dit voorbeeld 13 sonderingen gebruikt (Figuren 6.13-6.15). Aanvullend zijn enkele boringen en sonderingen beschikbaar in een kleine raai dwars op de dijk (Figuren 6.13, 6.17-6.18). WTI-SOS geeft voor het segment 9 scenario's (Figuur 6.16 en Tabel 6.3).



Figuur 6.11 Streetview-beeld richting het oosten. Binnendijs is er veel bebouwing tegen en op de dijk, buitendijs is ter plaatse geen uiterwaard aanwezig.

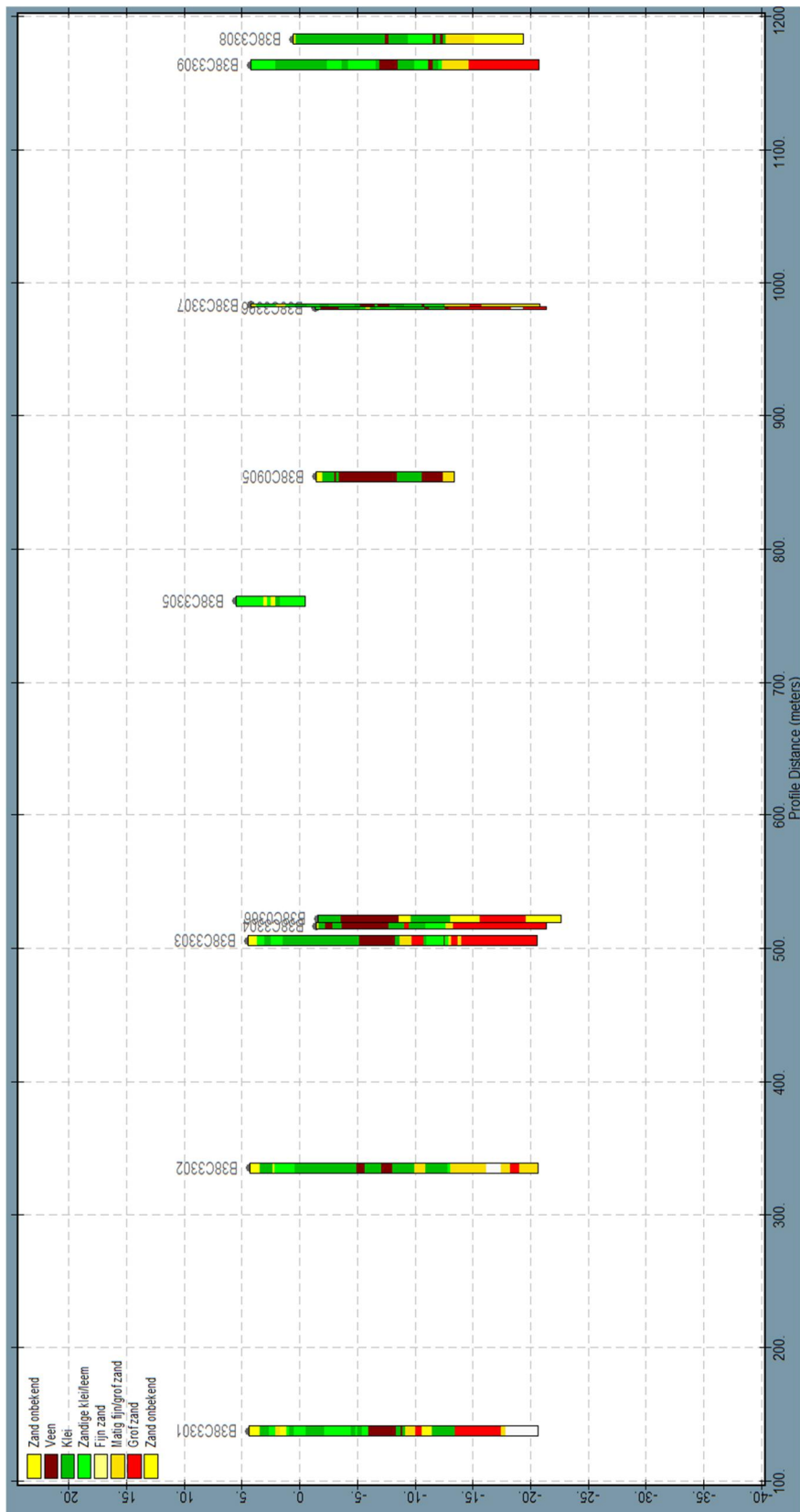


Figuur 6.12 Overzicht van de ligging van de te toetsen strekking en het WTI-SOS segment 16037 waarbinnen de strekking valt. De strekking is herkenbaar aan de witte stippen die sondeerlocaties aanduiden.

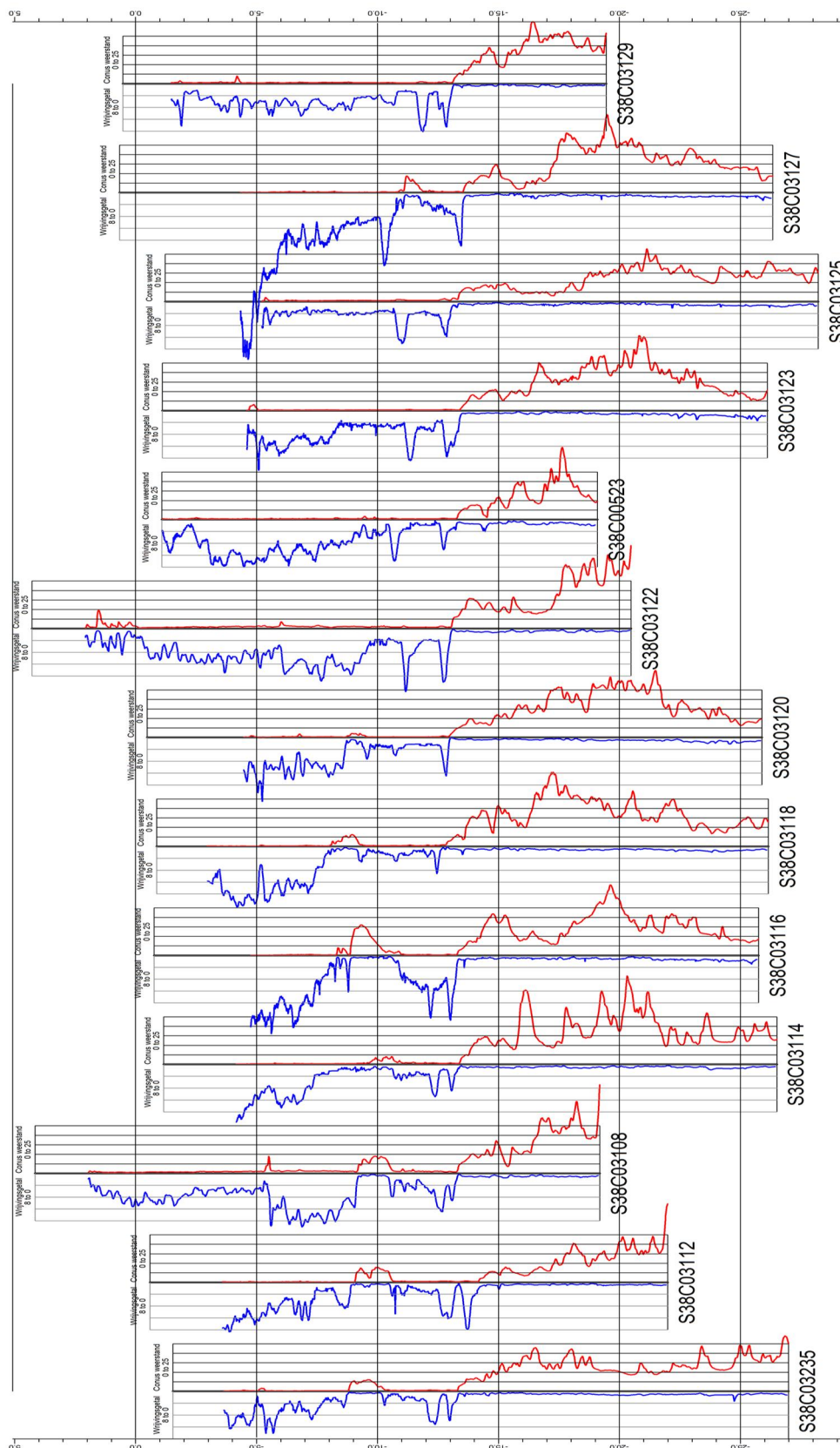




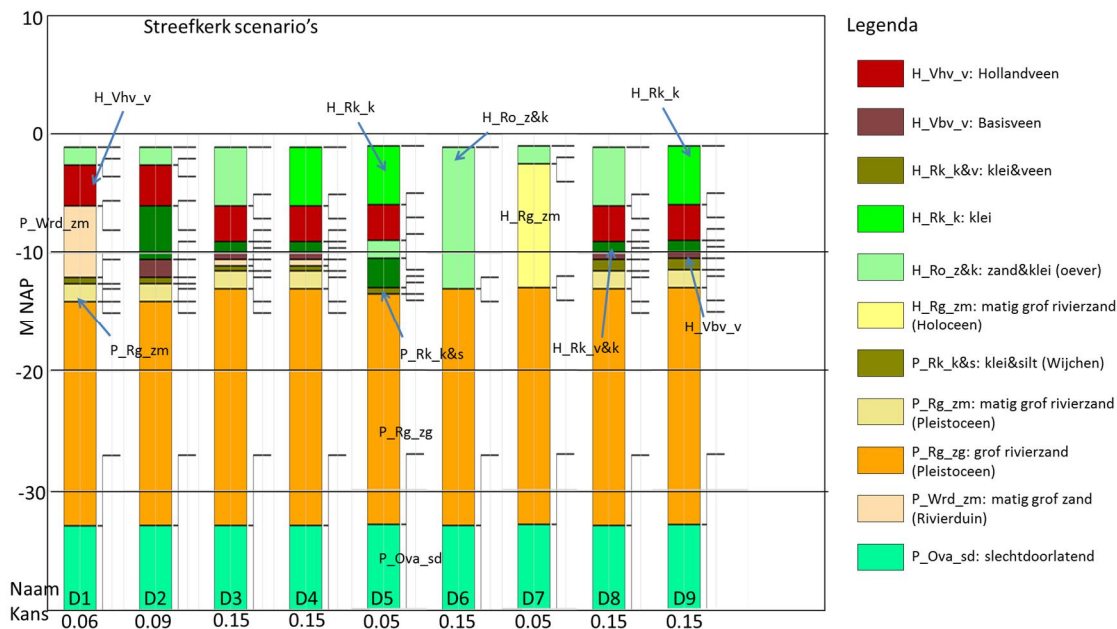
Figuur 6.13 Detailkaart van de te toetsen strekking met de ligging van de boringen en sonderingen.



Figuur 6.14 Beschikbare boringen in DINOloket: een afwisseling van klei- en veenlagen op een zandige ondergrond (verticale as de NAP hoogte). De ligging van de boringen is zichtbaar in Figuur 6.13.



Figuur 6.15 Overzicht van de gebruikte aanvullende sonderingen. De blauwe lijn geeft het wrijvingsgetal aan, de rode lijn de conusweerstand. De ligging van de sonderingen is zichtbaar in Figuur 6.13.



Figuur 6.16 WTI-SOS scenario's voor WTI-SOS segment 16037 (afgeleid van D-Soil Model output).

### 6.3.1.2 Stap 3: Eerste analyse grondopbouw

Een eerste analyse van de boringen en sonderingen laat zien dat de ondergrond bestaat uit een afwisseling van (organische) klei- en veenlagen op een ononderbroken zandlaag beneden ongeveer 13 m -NAP. Het maaiveld in het gebied ligt rond 1 m -NAP. De meeste sonderingen beginnen op een diepte van 4 m -NAP en geven dus geen informatie over de bovenste 3 meter. De informatie voor dat diepte-interval dient uit aanvullend grondonderzoek te volgen of kan uit de WTI-SOS scenario's afgeleid worden.

Hoge wrijvingsgetallen die op veen en op een hoog gehalte aan organisch materiaal duiden komen vooral voor tussen ongeveer 4 en 8 à 9 m -NAP en in verschillende lagen beneden 10 -m NAP. Uit de boringen volgt dat de dikte van de veenlagen sterk wisselend is en minder dan een meter kan zijn, maar ook meerdere meters. In de sonderingen fluctueren de wrijvingsgetallen voor deze veenlaag tussen de 5 en 9% (Figuur 6.15). In het westelijke deel van de strekking komt rond 10 m -NAP een zandlaag voor, deze wordt zowel in de boringen als in de sonderingen aangetroffen.

Een vergelijking met de WTI-SOS scenario's (Figuur 6.16) laat zien dat alle sondeer- en boorstaten passen bij de WTI-SOS scenario's. Niet alle WTI-SOS scenario's zijn echter aangetroffen: scenario's D1, D3, D4, D6 en D7 komen in de boor- en sondeerstaten niet voor. De wel aanwezige WTI-SOS scenario's geven aan dat de opbouw bestaat uit een kleilaag of een zand/kleilaag met daaronder veen- en organische kleilagen tot aan de top van het onderliggende zand. De zand-kleilaag die aangetroffen wordt in WTI-SOS scenario D5 betreft de WTI-SOS eenheid H\_Ro\_z&k. Uit het lokale grondonderzoek blijkt dat deze eenheid in de strekking voornamelijk uit een dunne laag zand bestaat. Er is geen aanvullende informatie over de ondoorlatende laag beneden 30 m -NAP beschikbaar. Deze informatie wordt in het kader van dit voorbeeld aangaande macrostabiliteit niet benodigd geacht.

Op basis van deze eerste analyse komt een aantal aspecten naar voren waar in de verdere analyse aandacht aan besteed moet worden:

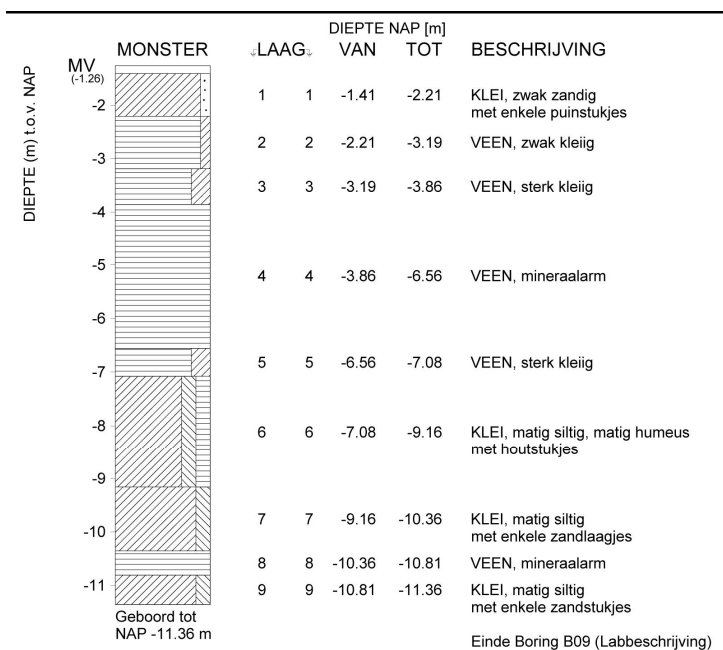
- De dikte van de bovenste klei en zand-kleilaag.
- Eigenschappen van de organische lagen: bestaan ze voornamelijk uit organische klei of uit veen.
- In hoeverre heeft de zandlaag rond 10 m -NAP invloed op de faalkans.
- Kunnen de WTI-SOS scenario's die niet in de lokale gegevens aangetroffen worden ook daadwerkelijk uitgesloten worden.

In het oostelijk deel van het lokale segment is de dijk een schaaldijk en is er dus geen buitendijks maaiveld. In het westelijk deel van het lokale segment ligt buitendijks een natuurgebied met een hoger gelegen maaiveld. De buitendijkse ophogingen zijn niet gespecificeerd in WTI-SOS en moeten uit lokaal onderzoek worden afgeleid, bijvoorbeeld met behulp van grondgegevens, het AHN of literatuur (bijvoorbeeld Cohen et al., 2014). In dit voorbeeld zijn geen lokale scenario's opgesteld met buitendijks een hoger maaiveld, indien gewenst kan dit eenvoudig in een 2D-scenario opgenomen worden. Het opstellen van 2D-scenario's zal ook nodig zijn om de zetting onder de dijk van de slappe organische lagen mee te nemen. Dit is voor dit voorbeeld niet gedaan.

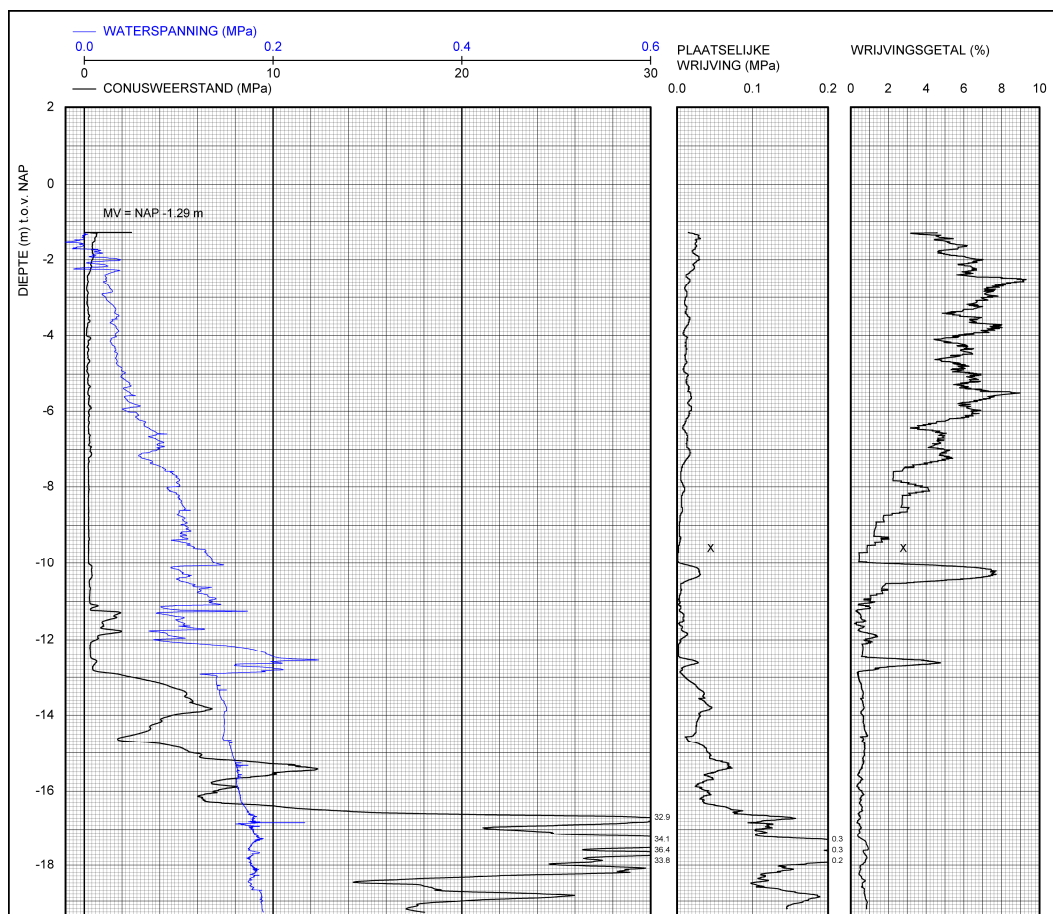
In het voorbeeld zijn de verschillen in eigenschappen van de klei en organische klei en veenlagen weliswaar relevant, maar de lagen zijn lastig met voldoende zekerheid van elkaar te onderscheiden in de waarnemingen en lijken over korte afstand aanmerkelijk in dikte en aard te variëren. De ligging van laagscheidingen in de scenario's bepaalt voor een deel de met berekeningen vastgestelde bezwijkvlakken. Een betrekkelijk geringe verandering in de ligging van een laagscheiding zal in sommige gevallen significante invloed hebben op de faalkans. Dit laatste is met name het geval als het bezwijkvlak is gelegen bij een laagscheiding met een groot contrast in sterkte-eigenschappen. De lagen van klei, organische klei en veen vertonen mogelijk zulke verschillen, maar de waarnemingen en de WTI-SOS eenheden geven geen of niet voldoende uitsluitsel over de variatie in diepteligging of in aard voor het lokale segment. Het effect van de diepteligging van laagscheidingen en van de aard van de lokale lagen dient voor het voorbeeldsegment daarom aan de hand van een gevoeligheidsstudie nagegaan te worden. De lokale schematisatie geeft enige, op de waarnemingen en de WTI-SOS scenario's gebaseerde, voorbeelden voor een dergelijke gevoeligheidsanalyse. Indien de faalkans gevoelig blijkt voor de laagopbouw kunnen op basis van de voorbeelden aanvullende scenario's met variaties in dikte en laagvolgorde opgesteld worden. Met deze gevoeligheidsstudie kan nagegaan worden of het uitvoeren van aanvullend grondonderzoek nodig kan zijn. Een dergelijke gevoeligheidsstudie is voor dit voorbeeld niet uitgevoerd.

Tabel 6.3 De WTI-SOS scenario's in tabelvorm met de bijbehorende diepteliggings van de top van de WTI-SOS eenheden.

Scenario	Eenheid	Modale top (m NAP)	Minimale diepteligging top (m NAP)	Maximale diepteligging top (m NAP)
Segment_16037_1D1	H_Ro_z&k	-1.00	-1.00	-1.00
	H_Vhv_v	-2.50	-2.00	-3.50
	P_Wrd_zm	-6.00	-5.50	-8.00
	P_Rk_k&s	-12.00	-10.00	-12.50
	P_Rg_zm	-12.50	-10.50	-14.00
	P_Rg_zg	-14.00	-13.00	-15.00
Segment_16037_1D2	P_Ova_sd	-33.00	-27.00	-40.00
	H_Ro_z&k	-1.00	-1.00	-1.00
	H_Vhv_v	-2.50	-2.00	-3.50
	H_Rk_ko	-6.00	-5.50	-8.00
	H_Vbv_v	-10.50	-9.00	-12.00
	P_Rk_k&s	-12.00	-10.00	-12.50
Segment_16037_1D3	P_Rg_zm	-12.50	-10.50	-14.00
	P_Rg_zg	-14.00	-13.00	-15.00
	P_Ova_sd	-33.00	-27.00	-40.00
	H_Ro_z&k	-1.00	-1.00	-1.00
	H_Vhv_v	-6.00	-5.00	-7.00
	H_Rk_ko	-9.00	-8.00	-10.00
Segment_16037_1D4	H_Vbv_v	-10.00	-9.00	-10.50
	P_Wrd_zm	-10.50	-9.50	-11.50
	P_Rk_k&s	-11.00	-10.00	-12.00
	P_Rg_zm	-11.50	-10.00	-14.00
	P_Rg_zg	-13.00	-12.00	-15.00
	P_Ova_sd	-33.00	-27.00	-40.00
Segment_16037_1D5	H_Rk_k	-1.00	-1.00	-1.00
	H_Vhv_v	-6.00	-5.00	-7.00
	H_Rk_ko	-9.00	-8.00	-10.00
	H_Vbv_v	-10.00	-9.00	-10.50
	P_Wrd_zm	-10.50	-9.50	-11.50
	P_Rk_k&s	-11.00	-10.00	-12.00
Segment_16037_1D6	P_Rg_zm	-11.50	-10.00	-14.00
	H_Ro_z&k	-1.00	-1.00	-1.00
	P_Rg_zg	-13.00	-12.00	-14.00
Segment_16037_1D7	P_Ova_sd	-33.00	-27.00	-40.00
	H_Ro_z&k	-1.00	-1.00	-1.00
	H_Rg_zm	-2.50	-2.00	-4.00
Segment_16037_1D8	P_Rg_zg	-13.00	-12.00	-14.00
	H_Vhv_v	-6.00	-5.00	-7.00
	H_Rk_ko	-9.00	-8.00	-10.00
	H_Vbv_v	-10.00	-9.00	-10.50
	P_Rk_k&s	-10.50	-9.50	-11.50
	P_Rg_zm	-11.50	-10.00	-14.00
Segment_16037_1D9	P_Rg_zg	-13.00	-12.00	-15.00
	P_Ova_sd	-33.00	-27.00	-40.00
	H_Rk_k	-1.00	-1.00	-1.00
	H_Vhv_v	-6.00	-5.00	-7.00
	H_Rk_ko	-9.00	-8.00	-10.00
	H_Vbv_v	-10.00	-9.00	-10.50
Segment_16037_1D9	P_Rk_k&s	-10.50	-9.50	-11.50
	P_Rg_zm	-11.50	-10.00	-14.00
	P_Rg_zg	-13.00	-12.00	-15.00
	P_Ova_sd	-33.00	-27.00	-40.00
	H_Rk_k	-1.00	-1.00	-1.00
	H_Vhv_v	-6.00	-5.00	-7.00



Figuur 6.17 Begemann boring B09 (voor locatie zie Figuur 6.13).



Figuur 6.18 Sondring S09, deze is direct naast boring B09 gezet.

### 6.3.1.3 Stap 4: Nadere detaillering scenario's

Voor het toetsen van de macrostabiliteit kunnen de WTI-SOS scenario's samengevat worden in lokale scenario's, waarin dan ook de dieptes van de lokale lagen worden vastgesteld. Voor de lokale scenario's kan de kans van aantreffen worden vastgesteld op basis van de WTI-SOS informatie en het lokale grondonderzoek. Hieronder wordt eerst ingegaan op het wel of niet onderscheiden van lokale lagen binnen de WTI-SOS eenheden en het wel of niet nader verdelen van het segment alvorens de lokale scenario's worden opgesteld. Afhankelijk van een eerste boordeling van de faalkans door macrostabiliteit en de gevoeligheidsanalyses, kan overwogen worden nader grondonderzoek uit te laten voeren om bijvoorbeeld scenario's die ongunstig of juist gunstiger scores beter te begrenzen.

#### Nadere onderscheiding van lokale lagen binnen WTI-SOS eenheden

In de sondeerstaten zijn eenheden herkend die goed overeenkomen met de WTI-SOS eenheden. De sondeerstaten geven geen aanleiding tot een nadere onderverdeling in lagen, ook al geeft bijvoorbeeld de beschrijving van de WTI-SOS eenheid H\_Rk\_v&k aan dat deze bestaat uit een afwisseling van klei- en veenlagen. De sondeerstaten laten echter geen aanwijzingen zien dat er onderscheidbare lagen van relevante dikte in deze eenheid voorkomen. Wel zal er binnen de lokale scenario's gevarieerd worden met de dikte van de verschillende organische lagen.

#### Nadere verdeling in lokale segmenten

De verschillen tussen naastliggende sondeerstaten en de informatie van de boorstaten wijst er op dat er geen strekkingen van meer dan 50 – 100 m lengte in het segment zijn die systematisch voldoende afwijken van de rest van het segment. Het segment wordt daarom niet opgeknipt in meerdere lokale segmenten en de strekking betreft daarom een enkel lokaal segment. Het lokale segment wordt hier voorshands aangeduid met 16037-001 (voorlopige aanduiding in afwachting van formats daarvoor in WTI-2017).

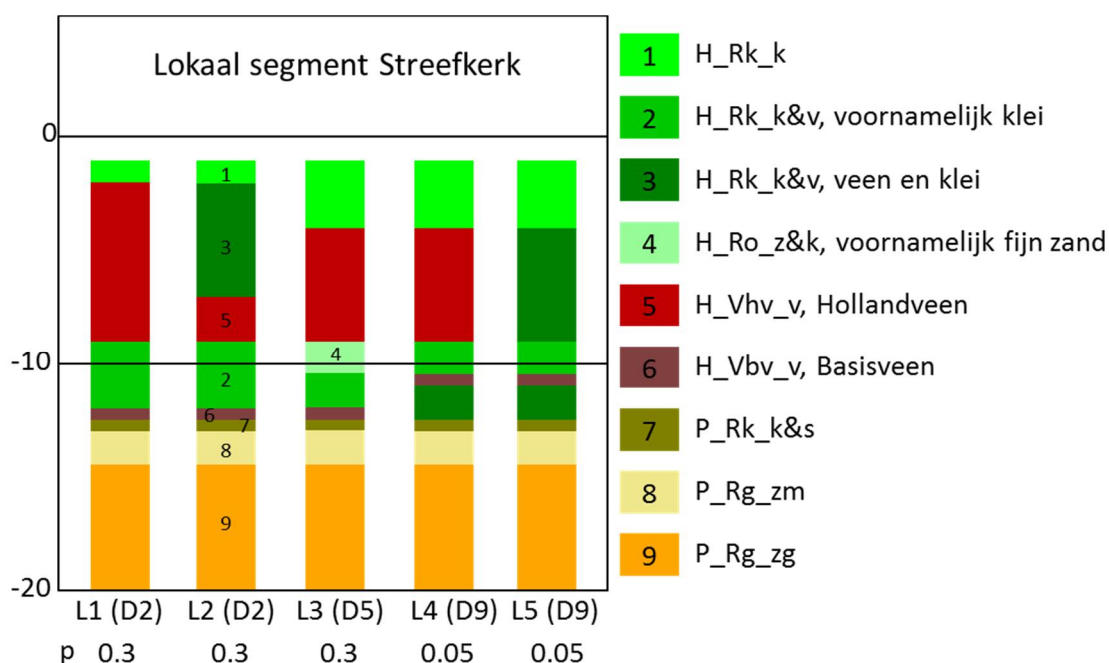
#### Nader onderscheid in lokale scenario's

Verschiedende WTI-SOS scenario's worden niet aangetroffen in de waarnemingen in het lokale segment (D1, D3, D4, D6 en D7). Dit hoeft niet te beteken dat ze niet aanwezig kunnen zijn. Met een meetlocatieafstand van 100 m kunnen relatief smalle eenheden en plaatselijke slingers in de begrenzing van een laag tot ver onder de dijk eenvoudig gemist worden (zie ook Hoofdstukken 4 en 5). Op grond van de in DINOloket beschikbare gegevens en het ontbreken van kenmerken voor ondiepe zandbanen in het AHN (zie Figuur 6.13) en Google Earth wordt uitgesloten dat WTI-SOS scenario D7 aanwezig is in de strekking. Dit scenario zou zichtbaar moeten zijn door middel van een strook met een relatief hoog maaiveld. Ook zijn er in de gegevens voor de strekking en de wijdere omgeving ervan geen aanwijzingen dat er ter plaatse grote rivierduinen aanwezig zijn, zoals de eenheid P\_Wrd\_zm. Scenario D1 kan daarom ook uitgesloten worden. Verder worden de niet aangetroffen scenario's D3, D4 en D6 op grond van een eerste beschouwing niet maatgevend geacht voor de macrostabiliteit in vergelijking met bijvoorbeeld de wel aangetroffen scenario's D2, D8 en D9. Ook scenario's D3, D4 en D6 worden daarom voor het toetsen verder buiten beschouwing gelaten. De kleine kans die er bestaat dat ze wel aanwezig zijn, zal niet van relevante invloed zijn op de totale faalkans. Hierdoor resteren de WTI-SOS scenario's D2, D5 en D8 en D9. D8 en D9 zijn beide in de grondgegevens herkenbaar en hebben een vergelijkbare opbouw van gelijkaardige lagen, slechts de bovenste laag verschilt tussen beide scenario's. D9 heeft een minder zware en minder stevige bovenlaag en zal ten opzichte van D8 daarom maatgevend zijn. De lokale schematisatie richt zich daarom op het lokaal uitwerken van scenario's D2, D5 en D9.



Gezien de wisselende dikte van de organische klei- en veenlagen en de invloed van die lagen op de uiteindelijke sterkte en de onzekerheden daarover, is het van belang om voor de lokale schematisatie deze onzekerheid te ondervangen. Er worden daarom scenario's opgesteld waarin gevarieerd wordt met de dikte van de veenlaag. Vanwege de onzekerheid daarover wordt daarvoor in de lokale schematisatie een behoudende, wat grotere dikte aangehouden (Figuur 6.19). Met deze variaties kan de onzekerheid over laagdiktes en laageigenschappen in de toetsing worden betrokken en kan de gevoeligheid voor de dikte en, daarmee ook voor eigenschappen, van betrokken lagen op de faalkans nagegaan worden. Hiertoe wordt zowel scenario D2 als D9 opgesplitst in respectievelijk de lokale scenario's L1, L2 (D2) en L4, L5 (D9). De WTI-SOS eenheid H\_Rk\_k&v tussen het Hollandveen en het Basisveen wordt in het lokale segment gedomineerd door klei en de keuze voor materiaaleigenschappen moet daarbij aansluiten.

Op basis van de boorstaten in de directe omgeving van de dijk (Figuur 6.14) wordt de kans op een opbouw als D2 op ongeveer 60% geschat voor het lokale segment in plaats van bijna 10 % voor het WTI-SOS segment. De kans van aantreffen van het scenario met een laag fijn zand onder de veen- en organische kleilaag, zoals in WTI-SOS scenario D5 (bijvoorbeeld sonderingen S38C03108, -112, -116 en -235) wordt op 30% geschat. De kans van aantreffen van dit lokale scenario is een aanpassing van de kans van 5 % voor het WTI-SOS scenario D5. De kans op een opbouw als D9 wordt in het lokale segment dan 10%. Zoals hierboven aangegeven zijn de scenario's D2 en D9 opgesplitst in respectievelijk scenario's L1, L2 en L4, L5 vanwege onzekerheid over samenstelling en relatieve diktes van de veen- en organische kleilagen. Er wordt vanuit gegaan dat de lokale scenario's L1 even vaak voorkomt als scenario L2, hetgeen ook voor lokale scenario's L4 en L5 wordt aangenomen. De kans van aantreffen van scenario's L1 en L2 wordt daarmee de helft van de 60 %, ieder 30%, van het scenario als WTI-SOS scenario D2 en van scenario's L4 en L5 elk de helft van de 10 % van het scenario als WTI-SOS scenario D9, ieder 5%.



Figuur 6.19 Lokale scenario's (L1-L5) voor locatie Streefkerk. Tussen haakjes staat het WTI-SOS scenario waarvan het lokale scenario is afgeleid.

### 6.3.2 Stap 5: vaststellen te toetsen scenario's

In stap 4 zijn de lokale scenario's voor de voorbeeldstrekking vastgesteld (zie Figuur 6.19 en Tabel 6.4). Bij het toetsen van de grondopbouw voor op macrostabiliteit dient rekening gehouden te worden met de zetting van het dijklichaam in de veen- en organische kleilagen. De lokale grondgegevens onder de kruin wijzen daar ook op. In D-Soil Model, het programma waarbinnen de lokale schematisaties gemaakt kunnen worden, kunnen 2D-scenario's opgesteld worden op basis van de hier afgeleide 1D-scenario's. Dit staat nader beschreven in de Schematiseringshandleiding macrostabiliteit (2015). Met deze handleiding kunnen ook de te gebruiken grondparameters vastgesteld worden voor de verschillende lagen/eenheden in de scenario's.

Afhankelijk van de toetsresultaten en van de genoemde gevoeligheidsstudie kan het wenselijk geacht worden aanvullend grondonderzoek uit te laten voeren om meer zekerheid te verkrijgen over de samenstelling en dikte van de bovenste laag. Mogelijk is het ook van belang om het voorkomen van het lokale scenario L3, waar een zandlaag in voorkomt die de stijghoogte ongunstig zal beïnvloeden, nader te begrenzen. Het wordt niet waarschijnlijk geacht dat de effecten van variatie in samenstelling (aard en diktes) van de veen-organische klei lagen significant beter in beeld komen met nader grondonderzoek, tenzij het onderzoek een betere wijze van bepaling van grondeigenschappen omvat. Na de uitvoering van het grondonderzoek moeten de stappen 1-5 weer doorlopen worden.

Tabel 6.4 De lokale scenario's in tabelvorm met de bijbehorende diepteliggings van de top van de eenheden. In de opmerkingenkolom wordt aangegeven wanneer bij het toekennen van de materiaaleigenschappen afgeweken moet worden van de algemene eigenschappen van de WTI-SOS eenheden.

Lokaal scenario	Eenheid	Top (m NAP)	Opmerkingen
L1 (aanpassing D2)	H_Rk_k	-1.00	Kleiiger gemaakt t.o.v. D2
	H_Vhv_v	-2.00	
	H_Rk_k&v	-9.00	Met name kleilagen
	H_Vbv_v	-12.00	
	P_Rk_k&s	-12.50	
	P_Rg_zm	-13.00	
P_Rg_zg	-14.50		
L2 (aanpassing D2)	H_Rk_k	-1.00	Kleiiger gemaakt t.o.v. D2
	H_Rk_k&v	-2.00	
	H_Vhv_v	-7.00	Met name kleilagen
	H_Rk_k&v	-9.00	
	H_Vbv_v	-12.00	
	P_Rk_k&s	-12.50	
	P_Rg_zm	-13.00	
P_Rg_zg	-14.50		
L3 (aanpassing D5)	H_Rk_k	-1.00	Met name fijn zand
	H_Vhv_v	-4.00	
	H_Ro_z&k	-9.00	Met name kleilagen
	H_Rk_k&v	-10.50	
	H_Vbv_v	-12.00	
	P_Rk_k&s	-12.50	
	P_Rg_zm	-13.00	
P_Rg_zg	-14.50		
L4 (aanpassing D9)	H_Rk_k	-1.00	Kleiiger gemaakt t.o.v. D2
	H_Vhv_v	-4.00	
	H_Rk_k&v	-9.00	Met name kleilagen
	H_Vbv_v	-10.50	
	H_Rk_k&v	-11.00	
	P_Rk_k&s	-12.50	
	P_Rg_zm	-13.00	
P_Rg_zg	-14.50		
L5 (aanpassing D9)	H_Rk_k	-1.00	Kleiiger gemaakt t.o.v. D2
	H_Rk_k&v	-4.00	
	H_Rk_k&v	-9.00	Met name kleilagen
	H_Vbv_v	-10.50	
	H_Rk_k&v	-11.00	
	P_Rk_k&s	-12.50	
P_Rg_zm	-13.00		

## 7 Literatuurlijst

TRGS, 2012. Calle, E., Technisch rapport grondmechanisch schematiseren bij dijken. Deltares rapport 1001411-010-GEO-006, met bijdragen van Fugro Ingenieursbureau BV, HKV\_Lijn in Water en Arcadis Nederland BV.

Cohen, K.M, Arnoldussen, S., Erkens, G., Van Popta, Y.T. en Taal, L.J., 2014. Archeologische verwachtingskaart uiterwaarden rivierengebied. Deltares rapport 1207078-000-BGS-0005.

Dijkstra, J., 2013. Geotechnisch onderzoek versterkingsmaatregel verticaal zanddicht geotextiel, locatie Rijswijk RB242+88 tot RB248+92 te Rijswijk. Wiertsema & Partners, projectnummer VN-58234-4.

Hijma, M.P. en Lam, K.S., 2015. Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTI-SOS) voor de primaire waterkeringen. Deltares rapport 1209432-003-GEO-006.

Jongejan, R.B. en Klerk, W.J., 2015. Functional design semiprobabilistic Assessments Ringtoets. Deltares rapport 1209431-008-ZWS-0009.

Kruse, G.A.M., 2010. Studie voor richtlijnen klei op dijktafuds in het rivierengebied. Deltaresrapport 1202512-000-GEO-0002.

Kruse, G.A.M. en Van Meurs, G., 2013. Stochastische modellering van de ondergrond. Achtergrond en opzet globale schematisering. Deltares rapportnummer 1206012-001-HYE-006 versie 3

Lam, K.S., 2014. Programma WTI 2017, onderzoek en ontwikkeling landelijk toetsinstrumentarium: Projectplan Cluster Datamanagement 2014. Deltares rapport 1209432-000-GEO-0002.

Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, 2015. Van Deen, J, Van Duinen, A. Schematiseringshandleiding macrostabiliteit. Deltares rapport 120083-008-GEO-003.

Schematiseringshandleiding piping, 2015. De Visser, M., De Bruijn, H., Förster, U., Kruse, G., Hijma, M.P., Vonhögen-Peeters, L.M., Schematiseringshandleiding WTI2017 Faalmechanisme Piping bij dijken. Deltares rapport 1220084-006-GEO-0001

Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing, 2015. Van der Ham, G.A., Schematiseringshandleiding zettingsvloeiing. Deltares rapport 1220078-007-GEO-0007.

## A Definitielijst

### **Deterministisch**

Er wordt vanuit gegaan dat het beschouwde aspect, bijvoorbeeld de grondopbouw, bekend is en er wordt geen rekening gehouden met de mogelijke variatie en de onzekerheden daarover zoals bijvoorbeeld omtrent de grondopbouw.

### **Dijkstrekking**

Dijkstrekking is een algemene term voor een stuk dijk. Dit zijn meestal geen officieel vastgelegde of genummerde stukken. Vaak worden ze gebruikt met woorden als: “de dijkstrekking van km 3.9 tot km 4.5 is onderzocht”.

### **Eenheid/Eenheden (van WTI-SOS)**

WTI-SOS verdeelt de ondergrond in eenheden, in totaal 43 (Bijlage B). Een WTI-SOS eenheid bestaat uit een grondlaag of grondlagen die relatief homogeen verdeelde eigenschappen hebben. De lithologie kan homogeen zijn, maar het is ook mogelijk dat de eenheid een homogene afwisseling bevat van verschillende lithologieën, bijvoorbeeld zand/klei afwisselingen. De eenheden zijn zo opgezet en beschreven dat ze herkend kunnen worden in boringen en sonderingen en dat ze relatief eenvoudig zijn te koppelen aan proevenverzamelingen.

### **Laag/Lagen**

Hiermee wordt een relatief homogeen pakket afzettingen in de ondergrond aangeduid, bijvoorbeeld een veenlaag of een grove zandlaag. Een WTI-SOS eenheid kan bestaan uit meerdere lagen. Een afwisseling van dunne veen- en kleilagen wordt bij WTI-SOS bijvoorbeeld met één eenheid aangegeven.

### **Lokale schematisatie**

Een lokale schematisatie is een detaillering van de WTI-SOS scenario's. Voorzien wordt dat voor elk faalmechanisme een aparte lokale schematisatie opgesteld wordt. Ook de lokale schematisaties bestaan uit scenario's. Alle, enkele of een van die scenario's wordt gebruikt in Ringtoets om de faalkans van een dijkstrekking te bepalen.

### **Schematiseringshandleiding**

Voor de faalmechanismen piping, macrostabiliteit en zettingsvloeiing zijn schematiseringshandleidingen gemaakt. In de handleidingen staat hoe tijdens het toetsen op die faalmechanismen de relevante aspecten geschematiseerd moeten worden. Een van die aspecten is de ondergrond. Voor elk van de faalmechanismen zijn voor het opstellen van lokale schematisaties van de ondergrond andere afwegingen nodig. De onderhavige WTI-SOS handleiding beschrijft hoe WTI-SOS op basis van ondergrondgegevens gedetailleerd kan worden. Daarnaast worden voor de drie faalmechanismen enkele afwegingen die te maken hebben met de ondergrondopbouw aangestipt en wordt voor een verdere uitwerking van de faalmechanismen doorverwezen naar de schematiseerhandleidingen.

### **Scenario (van WTI-SOS)**

De stapelingen van WTI-SOS eenheden die binnen segmenten kunnen voorkomen worden scenario's of WTI-SOS scenario's genoemd. Vanwege de onzekerheid over de werkelijke grondopbouw op elke locatie langs de dijk worden er meestal meerdere scenario's vastgesteld en wordt voor elk van die scenario's de kans van aantreffen gegeven.

## **Segment (van WTI-SOS)**

Bij het opstellen van WTI-SOS zijn de dijken opgedeeld in segmenten. Aan elk segment zijn scenario's van mogelijke grondopbouwen toegekend.

## **Strekking**

Zie dijkstrekking

## **WTI-SOS**

WTI-SOS staat voor WTI-Stochastische Ondergrondschematisatie. Het is product waarbij alle primaire waterkeringen, afgezien van de kustduinen, zijn opgedeeld in segmenten en waar voor elk van deze segmenten (globale) scenario's zijn opgesteld. WTI-SOS vormt het uitgangspunt voor de lokale schematisaties.